

PROCEEDING SERIES

FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SURABAYA

KONTRIBUTOR

Dosen & Mahasiswa
Fakultas Kedokteran
Universitas
Muhammadiyah Surabaya



ISSN: 2962-7656

Literature Review

Metode Belajar Anatomi yang Menyenangkan bagi Mahasiswa Kedokteran

Talitha Rahmania¹, Farrel Maulana Adinatha¹, Nurul Syafiqah¹, Anisa Nabila¹, Rengga Jaya Saputra¹, Fathur Rosi¹, Ardina Divayanti¹, Tiara Anggie Kumala¹, Hamida Alya Mukhbita¹, Tania Siti Khalilah¹, Salman Abdillah Susandi¹, Maya Rahmayanti Syamhadi²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Anatomi, Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Pembelajaran anatomi dalam pendidikan kedokteran merupakan pondasi penting dalam membentuk kompetensi klinis mahasiswa, tetapi ada tantangan seperti metode konvensional berbasis hafalan, materi kompleks, beban kognitif tinggi, serta rendahnya keterlibatan dan motivasi mahasiswa. Literatur review ini bertujuan untuk mengkaji berbagai pendekatan pembelajaran anatomi yang efektif dan menyenangkan, serta faktor-faktor yang memengaruhi kualitas proses dan hasil belajar mahasiswa. Metode yang digunakan adalah penelusuran dan analisis literatur ilmiah dari jurnal nasional dan internasional yang relevan. Dengan transformasi strategi pembelajaran yang lebih berpusat pada mahasiswa, aktif, fokus, dan senang. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan strategi pembelajaran aktif dan inovatif, seperti Active and Engaging Learning (AEL), gamifikasi, kuis interaktif, active recall, pembelajaran berbasis permainan, serta pemanfaatan teknologi visualisasi tiga dimensi (VR, AR, dan MR), dan juga metode konvensional seperti diseksi kadaver. dilaporkan mampu meningkatkan keterlibatan, kesenangan, interaktif, kreativitas, serta pemahaman konsep anatomi. Meskipun metode inovatif tersebut tidak selalu menunjukkan peningkatan nilai ujian secara konsisten dibandingkan metode konvensional, pendekatan ini terbukti efektif sebagai pelengkap pembelajaran anatomi dalam pendidikan kedokteran.

Kata Kunci : cara belajar, anatomi, mahasiswa kedokteran.

ABSTRACT

Anatomy education is a fundamental component of medical training that supports the development of clinical competence. However, anatomy learning continues to face challenges, including reliance on memorization-based teaching methods, complex and extensive content, high cognitive load, and low student engagement and motivation. This literature review aims to examine effective anatomy learning approaches and factors influencing learning processes and outcomes among medical students. Relevant national and international scientific articles were identified and critically analyzed. The findings indicate that student-centered and active learning strategies, such as Active and Engaging Learning (AEL), gamification, interactive quizzes, active recall, gamebased learning, three-dimensional visualization technologies (virtual, augmented, and mixed reality), as well as conventional methods such as cadaveric dissection, can enhance student engagement, enjoyment, interactivity, creativity, and conceptual understanding of anatomy. Although innovative approaches do not consistently

improve examination scores compared with traditional methods, they are effective as complementary strategies in anatomy education within medical curricula.

Keywords : *Learning methods; anatomy; medical students*

Correspondence : *mayasyamhadisyamhadi@um-surabaya.ac.id*

PENDAHULUAN

Anatomi adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari struktur tubuh makhluk hidup, khususnya manusia, baik secara makroskopis maupun mikroskopis. ilmu ini menjadi dasar utama dalam berbagai bidang kesehatan seperti kedokteran. Pemahaman anatomi yang baik sangat diperlukan untuk menunjang kemampuan medis yang tepat dan aman. Namun, dalam praktik mata kuliah anatomi, anatomi sering dianggap sulit oleh mahasiswa karena banyaknya istilah ilmiah yang berbahasa Anatomi adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari struktur tubuh makhluk hidup, khususnya manusia, baik secara makroskopis maupun mikroskopis. ilmu ini menjadi dasar utama dalam berbagai bidang kesehatan seperti kedokteran. Pemahaman anatomi yang baik sangat diperlukan untuk menunjang kemampuan medis yang tepat dan aman. Namun, dalam praktik mata kuliah anatomi, anatomi sering dianggap sulit oleh mahasiswa karena banyaknya istilah ilmiah yang berbahasa Latin, serta kompleksitas struktur tubuh, dan metode pembelajaran yang cenderung fokus pada kemampuan hafalan membuat mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami materi anatomy, sehingga membuat mahasiswa kurang minat dalam belajar anatomi (Chang Chan et al., 2025).

Sebaliknya, perkembangan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi memberikan peluang besar untuk meningkatkan kualitas pembelajaran anatomi. Seperti penggunaan media visual, model tiga dimensi, simulasi digital, serta metode pembelajaran interaktif dapat membantu mahasiswa untuk memahami hubungan antar struktur tubuh dengan lebih jelas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran anatomi yang lebih efektif dan inovatif agar proses belajar menjadi lebih menarik dan mampu meningkatkan kompetensi mahasiswa kesehatan (Du, Fan and Yang, 2020).

TINJAUAN LITERATUR

Tabel 1. Penelusuran Literatur (*Article Overview*)

No	Sumber (Resources)	Desain Penelitian	n	Setting	Periode	Referensi
1	Advances in Physiology Education	Eksperimental	-	Pendidikan	-	Burleson & Olimpo, 2016
2	Anatomical Sciences Education	Review / Observasional	-	Pendidikan	-	Cale & McNulty, 2025
3	Medical Teacher	Kualitatif	-	Akademik	-	Chang Chan et al., 2025
4	BMC Medical Education	Randomized Controlled Trial	-	Mahasiswa kedokteran	-	Du et al., 2020

No	Sumber (Resources)	Desain Penelitian	n	Setting	Periode	Referensi
5	Anatomical Sciences Education	Systematic Review & Meta-analysis	-	Pendidikan	-	García-Robles et al., 2024
6	MedEdPublish	Observasional	-	Pendidikan	10 tahun	Goubar et al., 2021
7	BioMed Research International	Review	-	Anatomi klinis	-	Haładaj, 2019
8	MedEdPORTAL	Eksperimental	-	Laboratorium	-	Holan et al., 2025
9	Clinical Anatomy	Review	-	Pendidikan	-	Krishnamurthy et al., 2022
10	Journal of Community Hospital Internal Medicine	Observasional	-	Pendidikan	-	Kopel et al., 2021
11	Folia Morphologica	Kualitatif	-	Akademik	-	Lazarus et al., 2019
12	BMC Medical Education	Systematic Review	-	Pendidikan	-	Minouei et al., 2024
13	Clinical Anatomy	Review	-	Klinis	-	Mori et al., 2019
14	BioMed Research International	Eksperimental	-	Pendidikan	-	Mugagga et al., 2020
15	Advances in Experimental Medicine and Biology	Systematic Review	-	Pendidikan	-	Uruthiralingam & Rea, 2020
16	BMC Medical Education	Eksperimental	-	Mahasiswa	-	Singh et al., 2019
17	Anatomical Sciences Education	Observasional	-	Pendidikan	-	Stiver et al., 2025
18	Anatomical Sciences Education	Kualitatif	-	Pendidikan	-	Tello-Mendoza et al., 2025
19	Cureus	Quasiekperimental	-	Mahasiswa	-	Verma et al., 2024
20	Anatomical Sciences Education	Scoping Review	-	Pendidikan	-	Vieno-Corbett et al., 2025
21	BMC Medical Education	Meta-analysis	-	Pendidikan	-	Wang et al., 2024

Pembelajaran Anatomi dengan Teknologi 3D

Anatomi merupakan fondasi utama dalam pendidikan kedokteran dan memiliki peran penting dalam membentuk kompetensi klinis mahasiswa. Namun, dalam beberapa dekade

terakhir, pengajaran anatomi menghadapi berbagai tantangan, termasuk pengurangan jam belajar, keterbatasan sumber daya, serta perubahan kurikulum berbasis kompetensi (Lazarus et al. (2019). melakukan studi kualitatif untuk mengevaluasi persepsi dosen anatomi senior di Afrika Selatan terkait kualitas pengajaran anatomi dan kompetensi mahasiswa kedokteran.

Dalam hal metode pembelajaran, sebagian besar responden sepakat bahwa diseksi kadaver tetap merupakan metode terbaik untuk mempelajari anatomi karena memberikan pemahaman tiga dimensi, keterampilan visual-spasial, serta nilai humanistik seperti pemahaman tentang kematian.

Meskipun teknologi modern seperti perangkat lunak 3D, plastinasi, dan pencitraan radiologi sangat membantu, metode tersebut dipandang hanya sebagai pelengkap dan tidak dapat sepenuhnya menggantikan diseksi kadaver.

Lazarus et al. (2019) merekomendasikan perlunya kurikulum inti anatomi nasional yang terstandar, peningkatan integrasi anatomi dengan ilmu klinik, serta penguatan penggunaan diseksi kadaver yang didukung oleh teknologi pembelajaran modern. Upaya ini dinilai penting untuk memastikan bahwa lulusan kedokteran memiliki kompetensi anatomi yang memadai dan relevan dengan praktik klinis pembelajaran anatomi menggunakan teknologi visualisasi tiga dimensi (3D), seperti virtual reality (VR), augmented reality (AR), dan mixed reality (MR), terbukti efektif dalam meningkatkan kepuasan, minat, dan kesenangan belajar mahasiswa kedokteran dan residen. Namun, penggunaan metode ini tidak secara konsisten meningkatkan hasil nilai ujian dan tidak mempercepat waktu pengerjaan tes dibandingkan metode pembelajaran konvensional.

Hasil belajar juga dipengaruhi oleh faktor regional, di mana studi dari China cenderung menunjukkan hasil yang lebih positif dibandingkan negara lain. Oleh karena itu, teknologi 3D lebih tepat digunakan sebagai media pendukung (pelengkap) pembelajaran anatomi, bukan sebagai pengganti metode tradisional, dengan tujuan utama meningkatkan pengalaman dan motivasi belajar peserta didik (Wang et al. 2024).

Pemanfaatan teknologi visualisasi tiga dimensi, seperti virtual reality, augmented reality, dan mixed reality, muncul sebagai alternatif untuk mengatasi keterbatasan pembelajaran anatomi berbasis metode tradisional, terutama dalam memahami hubungan ruang antarstruktur tubuh. Berdasarkan hasil penelitian, teknologi ini secara konsisten memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik serta meningkatkan kepuasan dan keterlibatan mahasiswa kedokteran dan residen (Uruthiralingam & Rea, 2020). Namun, pengaruhnya terhadap peningkatan hasil evaluasi akademik belum menunjukkan keseragaman dan dipengaruhi oleh perbedaan konteks wilayah penelitian. Selain itu, penggunaan visualisasi 3D tidak menunjukkan keunggulan yang signifikan dalam efisiensi waktu pengerjaan tes. Oleh karena itu, teknologi visualisasi 3D lebih tepat dimanfaatkan sebagai pendukung proses pembelajaran anatomi, yang digunakan bersama metode konvensional, bukan sebagai pengganti utama (García-Robles et al., 2024).

Inovasi penggunaan kayu lokal (*Erythrina abyssinica*) sebagai bahan dasar replika tengkorak manusia terbukti menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi kelangkaan spesimen asli serta mahalnya harga model plastik impor yang berisiko bagi kesehatan dan lingkungan.

Melalui pemanfaatan teknologi bubut lokal, model ini berhasil menyajikan detail anatomi yang akurat seperti foramen, sehingga mampu meningkatkan pemahaman visual serta kemampuan sensorik mahasiswa kedokteran dalam mempelajari struktur kepala yang kompleks. Dengan demikian, tengkorak kayu ini direkomendasikan sebagai standar alat peraga alternatif yang ekonomis dan berkelanjutan guna memastikan pemerataan akses pembelajaran medis yang berkualitas tanpa kendala finansial (Mugagga et al., 2020).

Pembelajaran dalam pendidikan kedokteran hingga kini masih didominasi oleh pendekatan konvensional yang bersifat *teacher-centered* dan berorientasi pada hafalan pengetahuan faktual. Pola pembelajaran semacam ini sering dikaitkan dengan minimnya keterlibatan aktif mahasiswa, kurang optimalnya pemahaman baik pada ranah konseptual maupun aplikatif, serta meningkatnya tingkat stres dan kelelahan akibat tuntutan akademik yang tinggi (Kopel et al., 2021). Kondisi tersebut mengindikasikan perlunya transformasi strategi pembelajaran yang tidak hanya berfokus pada pencapaian akademik, tetapi juga mendukung kesejahteraan serta pembentukan profesionalisme mahasiswa kedokteran.

Temuan tersebut konsisten dengan kajian yang lebih luas mengenai pentingnya pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan unsur kesenangan dan kreativitas dalam pendidikan kedokteran. Kopel et al. (2021) menegaskan bahwa beban akademik yang berat, tekanan evaluasi yang berkelanjutan, serta intensitas waktu belajar yang tinggi berkontribusi terhadap meningkatnya risiko stres dan *burnout* pada mahasiswa kedokteran. Oleh karena itu, pendidikan kedokteran tidak dapat semata-mata menitikberatkan pada penguasaan teori, melainkan perlu secara simultan mengembangkan keterampilan prosedural, kemampuan komunikasi, dan ketahanan emosional mahasiswa.

Berbagai strategi pembelajaran inovatif, seperti permainan edukatif, kuis interaktif berbasis tim, simulasi klinis, pembelajaran berbasis stasiun, serta pemanfaatan teknologi digital termasuk video game dan virtual reality, dilaporkan efektif dalam meningkatkan keterlibatan mahasiswa serta memperdalam pemahaman terhadap konsep-konsep yang kompleks (Kopel et al., 2021). Selain itu, pendekatan-pendekatan tersebut juga berkontribusi terhadap peningkatan retensi jangka panjang serta penguatan keterampilan klinis dan komunikasi yang esensial dalam praktik kedokteran.

Lebih lanjut, integrasi unsur *humaniora*, refleksi diri, dan nilai-nilai etika dalam proses pembelajaran memiliki peran penting dalam membentuk empati, profesionalisme, serta ketahanan emosional calon tenaga medis (Kopel et al., 2021). Dengan demikian, pembelajaran yang menekankan kreativitas dan pengalaman belajar yang menyenangkan tidak hanya berdampak pada peningkatan performa akademik, tetapi juga berkontribusi terhadap pembentukan karakter serta kesejahteraan mahasiswa secara menyeluruh.

Salah satu pendekatan pedagogis yang berkembang sebagai alternatif pembelajaran konvensional adalah *Active and Engaging Learning Strategy* (AEL). Penerapan strategi ini dalam pembelajaran anatomi sistem muskuloskeletal pada mahasiswa tahun pertama program MBBS menunjukkan upaya sistematis untuk menggeser proses belajar dari model pasif menuju pembelajaran yang berpusat pada mahasiswa (Singh et al., 2019). Melalui AEL, mahasiswa dilibatkan secara langsung dalam penyajian materi anatomi otot ekstremitas atas dan bawah dengan menggunakan berbagai bentuk ekspresi kreatif, seperti puisi, narasi, lagu, dan drama.

Pendekatan pembelajaran berbasis AEL dirancang untuk mendorong partisipasi aktif mahasiswa, mengembangkan kreativitas, serta meningkatkan interaksi akademik antar peserta didik. Efektivitas strategi ini dievaluasi melalui perbandingan hasil pre-test dan post-test spotter, ujian tengah semester, ujian akhir, serta penilaian persepsi mahasiswa melalui kuesioner terstruktur (Singh et al., 2019). Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan capaian akademik yang signifikan setelah penerapan AEL, disertai hubungan positif antara berbagai bentuk evaluasi dan nilai akhir mahasiswa, serta dominannya persepsi positif terhadap pengalaman belajar yang lebih interaktif dan menyenangkan.

Pembelajaran anatomi dalam pendidikan kedokteran tentunya akan menghadapi berbagai kendala, terutama karena kompleksitas susunan tubuh organ manusia dan juga kebutuhan mahasiswa untuk memiliki kemampuan visualisasi dan pemahaman yang baik. Meskipun pendekatan pembelajaran konvensional masih berperan penting dalam membentuk pemahaman dan pengetahuan anatomi, metode ini memiliki keterbatasan dalam menggambarkan keterkaitan antara struktur anatomi secara tiga dimensi, kurang optimal dalam membantu mahasiswa memahami hubungan anatomi (Minouei et al., 2024). Kondisi tersebut mendorong berkembangnya berbagai strategi pembelajaran alternatif yang bersifat inovatif, seperti pemanfaatan teknologi virtual reality dan penerapan gamifikasi, sebagai pendamping metode tradisional.

Pembelajaran Anatomi dengan Kuis dan Permainan

Mata kuliah anatomi merupakan suatu hal yang penting untuk pendidikan kedokteran dan mahasiswa kesehatan lainnya, namun sering kali menjadi tantangan bagi mahasiswa kedokteran dan mahasiswa kesehatan lainnya, karena materi yang sangat kompleks serta sangat luas dan saling berkaitan (Cale and McNulty, 2025). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai pendekatan inovatif seperti gamifikasi dan pembelajaran berbasis kuis interaktif, permainan edukatif mulai banyak diterapkan. Krishnamurthy et al. (2022) dalam tinjauan naratifnya melaporkan bahwa penerapan elemen permainan dalam pendidikan kedokteran, termasuk kuis interaktif, kompetisi, dan simulasi, mampu meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan aktif mahasiswa, serta retensi jangka panjang terhadap materi anatomi.

Pembelajaran berbasis permainan semakin banyak dimanfaatkan untuk memahami anatomi oleh mahasiswa kedokteran. Sebagaimana yang diketahui oleh kebanyakan orang, permainan adalah suatu kegiatan yang dapat memberikan rasa senang, begitu pula dengan permainan edukatif. Buleson dan Olimpo (2016) merupakan salah satu peneliti yang mengeksplorasi efektivitas permainan edukatif melalui pengembangan metode clue connect. Selain memberikan rasa senang, metode ini juga memberikan manfaat berupa edukasi terkait dengan kosakata atau istilah dalam anatomi. Tidak sedikit mahasiswa kedokteran yang mengalami kesulitan dalam penyebutan nama bagian anatomi. Kecenderungan mahasiswa dalam menghafal bagian anatomi tanpa mengembangkan pemahaman yang lebih membuat pengetahuan tersebut tidak bertahan lama. Permainan edukatif merupakan salah satu cara untuk mendorong pengolahan informasi secara aktif (Burlson & Olimpo, 2016). Burlson dan Olimpo (2016) menjelaskan bahwa permainan clue connect dilakukan secara berkelompok dengan 1 orang menjadi penebak istilah pada kartu kata anatomi, sedangkan anggota yang lainnya membantu anggota kelompok yang sedang menebak dengan menggunakan kartu

petunjuk untuk membuat susunan di papan permainan. Mekanisme ini mendorong mahasiswa kedokteran untuk memproses informasi secara aktif, bukan hanya menghafal istilah anatomi secara pasif. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil penelitian yang menunjukkan progres pembelajaran berupa peningkatan skor siswa pada tes setelah permainan.

Permainan edukatif yang menyenangkan untuk mempelajari anatomi bukan hanya clue connect saja, ada pula jurnal lain yang meneliti permainan escape room untuk belajar anatomi kepala dan leher, oleh Holan et al. (2025). Kegiatan escape room pada penelitian Holan et al. (2025) dilaksanakan di laboratorium anatomi dengan mengerjakan elemen berbasis komputer dan menjalankan tantangan fisik. Permainan escape room dilaksanakan secara berkelompok dan setiap kelompok mengerjakan powerpoint yang ditempatkan di canvas. Hasil pengukuran melalui pretest dan posttest memperlihatkan adanya peningkatan skor yang signifikan secara statistik, menegaskan bahwa aktivitas berbasis tantangan ini efektif dalam memperkuat pemahaman mahasiswa.

Sejalan dengan permainan-permainan edukatif yang diteliti, penelitian oleh Verma et al. (2024) menunjukkan bahwa pembelajaran anatomi berbasis kuis interaktif juga memberikan dampak positif yang signifikan terhadap pemahaman mahasiswa kedokteran tingkat sarjana. Melalui desain kuasi-eksperimental, studi ini menemukan adanya peningkatan skor post-test dibandingkan pre-test, disertai dengan persepsi positif mahasiswa terhadap metode pembelajaran yang digunakan. Mahasiswa melaporkan peningkatan minat, fokus, dan partisipasi aktif selama proses pembelajaran, serta merasa metode kuis interaktif membantu memperkuat pemahaman konsep anatomi yang kompleks.

Penerapan gamifikasi dalam pembelajaran anatomi mampu meningkatkan partisipasi aktif mahasiswa, motivasi belajar, serta pemahaman terhadap konsep anatomi melalui penggunaan elemen permainan seperti tantangan, sistem penghargaan, umpan balik instan, dan visualisasi interaktif (Stiver et al., 2025). Pendekatan ini menempatkan mahasiswa sebagai subjek aktif dalam proses pembelajaran sehingga dapat memperkuat retensi informasi dan pemahaman konseptual. Secara umum, temuan dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran anatomi yang dirancang secara multimodal dan terintegrasi dengan mengkombinasikan metode konvensional dan inovatif lebih efektif dalam meningkatkan kualitas dan hasil belajar mahasiswa kedokteran. Selain itu, gamifikasi juga mendorong pembelajaran kolaboratif, meningkatkan kepercayaan diri, dan mengembangkan keterampilan non-kognitif seperti kerja tim dan pemecahan masalah.

Memahami anatomi tidak cukup dengan hanya hafalan saja, melainkan menuntut mahasiswa untuk memahami hubungan antarstruktur serta mengingatnya dengan akurat dalam berbagai macam konteks mata kuliah yang ada, dengan adanya kondisi tersebut perlu dorongan berupa pendekatan pembelajaran yang aktif dan bermakna agar proses belajar anatomi menjadi lebih efektif, sehingga berbagai penelitian menunjukkan bahwa berbagai penelitian pendekatan pembelajaran berbasis active recall karena berperan penting untuk meningkatkan pemahaman dan retensi pengetahuan (Cale and McNulty, 2025).

Dengan menuntut mahasiswa untuk aktif mengingat kembali informasi dari memori yang ada, active recall dapat membantu mahasiswa memperkuat jalur ingatan dan mendorong pemahaman konseptual yang lebih dalam, metode diterapkan dalam bentuk gamifikasi, seperti

permainan edukatif anatomi, sehingga memungkinkan mahasiswa untuk belajar melalui proses seperti menjelaskan ciri, fungsi, dan keterkaitan struktur anatomi tanpa bergantung pada hafalan istilah yang biasanya mahasiswa gunakan. Selain meningkatkan pemahaman, melakukan pendekatan ini juga dapat menciptakan suasana belajar yang lebih interaktif dan kolaboratif, sehingga dapat mengurangi kejenuhan serta tekanan akademik yang sering muncul dalam pembelajaran anatomi (Cale and McNulty, 2025).

Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi Pendidikan semakin maju hingga beberapa tempat semakin banyak yang menerapkan pembelajaran anatomi menggunakan virtual reality, teknologi VR tersebut memberikan pengalaman yang imersif melalui visualisasi struktur anatomi tiga dimensi, sehingga dapat membantu mahasiswa untuk memahami pembelajaran anatomi. Beberapa studi menyebutkan bahwa pembelajaran anatomi berbasis VR dapat menghasilkan retensi pengetahuan yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional (Du, Fan and Yang, 2020).

VR dapat menaikkan efektivitas dengan cara dipadukannya unsur kompetisi seperti multipemain, karena interaksi sosial dan tantangan yang muncul dapat meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar, meskipun kompetisi seperti multipemain dapat menimbulkan stress tapi dengan cara tersebut juga dapat meningkatkan fokus dan daya ingat mahasiswa selama proses pembelajaran yang ada. Pembelajaran anatomi akan lebih optimal apabila mahasiswanya dilibatkan secara aktif melalui metode interaktif dan kontekstual (Du, Fan and Yang, 2020).

Pendekatan berbasis active recall, gamifikasi, dan teknologi VR tidak hanya meningkatkan keterlibatan mahasiswa namun juga dapat menambah motivasi belajar, sehingga belajar anatomi terasa menyenangkan dan tidak membosankan. Dengan demikian, integrasi strategi pembelajaran inovatif ini dalam kurikulum anatomi memiliki potensi yang sangat besar untuk mendukung pencapaian kompetensi akademik dan sekaligus untuk kesiapan klinis mahasiswa kedokteran dan mahasiswa kesehatan lainnya (Du, Fan and Yang, 2020).

Pembelajaran Aktif dengan Metode Kombinasi pada Anatomi

Jurnal A Pragmatic Approach to Effective Anatomy Teaching and Learning to Medical Students: A Ten-Year Experience Using Evidence-Based Principles telah menegaskan ialah cara belajar anatomi yang efektif harus bersifat praktis, terstruktur, dan fokus pada konsep pemahaman, Pembelajaran anatomi juga perlu mengurangi beban mahasiswa dengan penguatan berulang dan evaluasi agar retensi pengetahuan meningkat.

Jurnal tersebut juga menekankan pentingnya belajar aktif melalui pendekatan berbasis penemuan (discovery learning), diskusi kelompok kecil, dan pengaitan anatomi dengan konteks klinis. Relevansi klinis membantu mahasiswa memahami makna praktis anatomi dalam pemeriksaan fisik, prosedur medis, dan penalaran klinis, hingga meningkatkan motivasi belajar dan pemahaman jangka panjang. Fleksibilitas metode belajar, termasuk penggunaan media digital dan pembelajaran online, juga dinilai penting untuk menjaga keberlanjutan dan efektivitas pembelajaran.

Temuan ini juga diperkuat oleh jurnal The Paper Puzzle as an Active Learning Tool in the Teaching of Anatomy: A Qualitative Study of Perceptions in Students and Near-Peer

Teachers (PMID: 40908587), yang menunjukkan bahwa strategi pembelajaran aktif berbasis permainan, seperti paper puzzle, dapat meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan kemampuan mahasiswa dalam mengingat dan juga memahami anatomi. Pendekatan ini, terutama ketika dipadukan dengan near-peer teaching, mendorong pembelajaran kolaboratif, mengurangi kecemasan belajar, dan membantu mahasiswa membangun pemahaman anatomi secara lebih mendalam dibandingkan metode pembelajaran pasif.

Secara keseluruhan, ini menunjukkan bahwa cara belajar anatomi yang efektif merupakan kombinasi pembelajaran aktif, pengurangan beban pembelajaran, relevansi klinis, penguatan materi secara berkelanjutan, dan penggunaan strategi dan media pembelajaran yang bervariasi. Integrasi pendekatan pragmatis berbasis bukti sebagaimana dijelaskan dalam *A Pragmatic Approach to Effective Anatomy Teaching and Learning to Medical Students* dengan metode pembelajaran aktif seperti paper puzzle memberikan landasan kuat untuk meningkatkan kualitas pembelajaran anatomi di pendidikan kedokteran.

Klinis dari Urgensinya Struktur Anatomi

Pemahaman anatomi manusia yang mendalam merupakan dasar penting dalam praktik medis, terutama dalam bidang bedah dan diagnostik klinis. Anatomi tidak hanya dipahami sebagai susunan struktur tubuh secara statis, melainkan sebagai sistem kompleks yang memiliki variasi, hubungan spasial, dan implikasi fungsional yang signifikan. Perkembangan teknologi pencitraan dan metode penelitian anatomi modern telah membuka pemahaman baru mengenai struktur tubuh manusia, baik pada organ jantung maupun sistem otot ekstraokular, yang sebelumnya tidak sepenuhnya dijelaskan melalui pendekatan anatomi klasik.

Kajian mengenai otot rektus ekstraokular menunjukkan bahwa sistem penggerak bola mata memiliki kompleksitas anatomi yang tinggi. Otot rektus tidak hanya berfungsi sebagai penggerak mekanis, tetapi juga memiliki hubungan erat dengan sistem persarafan dan vaskularisasi yang sangat terorganisasi. Penelitian anatomi terbaru menemukan bahwa distribusi saraf intramuskular pada otot-otot tersebut memiliki pola percabangan yang spesifik dan bervariasi antarindividu. Variasi ini mencakup perbedaan jumlah cabang saraf, pola percabangan berbentuk seperti akar, hingga adanya pemisahan kelompok saraf superior dan inferior yang berpengaruh pada fungsi otot (Haladaj, 2019).

Selain itu, ditemukan pula berbagai anomali anatomi pada otot rektus ekstraokular, seperti duplikasi otot, tidak adanya otot tertentu, hingga adanya pita otot abnormal yang menghubungkan dua otot yang seharusnya terpisah. Menariknya, sebagian besar variasi dan anomali tersebut tidak selalu menimbulkan gejala klinis yang jelas. Namun, kondisi ini memiliki implikasi penting dalam tindakan bedah oftalmologi, khususnya pada operasi strabismus, karena ketidaktahuan terhadap variasi anatomi dapat meningkatkan risiko cedera saraf atau kegagalan koreksi posisi mata (Haladaj, 2019). Oleh karena itu, pemahaman detail mengenai anatomi dan variasi otot ekstraokular menjadi aspek krusial dalam perencanaan dan pelaksanaan tindakan klinis.

Sejalan dengan itu, kajian mengenai anatomi jantung hidup menegaskan bahwa organ jantung memiliki hubungan spasial tiga dimensi yang sangat kompleks dan sulit dipahami hanya melalui diseksi kadaver konvensional. Struktur jantung, seperti katup, rongga, dan pembuluh darah besar, tersusun dalam orientasi yang saling berhubungan secara dinamis.

Pendekatan anatomi tradisional sering kali mengubah orientasi alami struktur jantung, sehingga berpotensi menimbulkan kesalahpahaman dalam interpretasi klinis. Melalui pemanfaatan teknologi pencitraan seperti computed tomography dan metode virtual dissection, anatomi jantung dapat direkonstruksi sesuai dengan kondisi hidup dan orientasi anatomis yang sebenarnya (Mori et al., 2019).

Pendekatan anatomi jantung berbasis pencitraan tiga dimensi ini sangat relevan dalam konteks perkembangan intervensi kardiologi modern. Prosedur seperti implantasi katup jantung transkateter dan tindakan elektrofisiologi menuntut pemahaman anatomi yang presisi, karena kesalahan interpretasi hubungan antarstruktur dapat berdampak serius pada keselamatan pasien. Dengan visualisasi anatomi yang akurat, tenaga medis dapat merencanakan tindakan secara lebih tepat, mengurangi risiko komplikasi, dan meningkatkan keberhasilan prosedur (Mori et al., 2019).

Secara keseluruhan, kedua kajian tersebut menunjukkan bahwa anatomi manusia merupakan bidang ilmu yang terus berkembang dan sangat dipengaruhi oleh kemajuan teknologi. Baik pada sistem otot ekstraokular maupun struktur jantung, pemahaman terhadap variasi anatomi dan hubungan spasial antarstruktur memiliki peran penting dalam mendukung praktik medis yang aman dan efektif. Integrasi antara pengetahuan anatomi klasik dan pendekatan anatomi modern berbasis pencitraan dan visualisasi detail menjadi kebutuhan mendesak dalam pendidikan kedokteran dan praktik klinis masa kini (Haladaj, 2019; Mori et al., 2019).

KESIMPULAN

Mata kuliah anatomi sering kali menjadi tantangan bagi mahasiswa kedokteran dan mahasiswa kesehatan lainnya, karena materi yang sangat luas dan saling berkaitan. Memahami anatomi bukan hanya hafalan saja, tetapi juga memahami hubungan antarstruktur dengan akurat. Beban akademik yang berat, tekanan evaluasi yang berkelanjutan, serta intensitas waktu belajar yang tinggi berkontribusi terhadap meningkatnya risiko stres dan burnout pada mahasiswa kedokteran. Belajar anatomi yang efektif harus bersifat praktis, terstruktur, dan fokus pada konsep pemahaman. Oleh karena itu, dengan adanya kondisi tersebut perlu dorongan berupa pendekatan pembelajaran yang aktif dan bermakna agar proses belajar anatomi menjadi lebih efektif. Dengan mengembangkan keterampilan prosedural, kemampuan komunikasi, dan ketahanan emosional mahasiswa melalui pembelajaran yang mengintegrasikan unsur kesenangan, interaktif dan kreativitas dengan strategi pembelajaran aktif berbasis permainan, seperti paper puzzle dipadukan dengan near-peer teaching, edukatif dengan metode clue connect dan escape room, kuis interaktif berbasis tim, simulasi klinis, pembelajaran berbasis stasiun, serta pemanfaatan teknologi digital termasuk video game dan virtual reality, integrasi unsur humaniora, mendorong pembelajaran kolaboratif, mengurangi kecemasan belajar, dan membantu mahasiswa membangun pemahaman anatomi secara lebih mendalam dibandingkan metode pembelajaran pasif. Strategi pembelajaran inovatif yang juga mendorong pembelajaran kolaboratif, dan pembelajaran berbasis kuis interaktif mulai banyak diterapkan. Penerapan gamifikasi dan elemen permainan seperti tantangan, sistem penghargaan, umpan balik instan, kuis interaktif, kompetisi, dan simulasi, mampu

meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan aktif mahasiswa, serta retensi jangka panjang terhadap materi anatomi. Mahasiswa melaporkan peningkatan minat, fokus, dan partisipasi aktif selama proses pembelajaran, serta merasa metode kuis interaktif membantu memperkuat pemahaman konsep anatomi yang kompleks. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan hasil belajar kognitif, tetapi juga memperbaiki kualitas pengalaman belajar mahasiswa. Oleh karena itu, pembelajaran yang menekankan kreativitas dan pengalaman belajar yang menyenangkan tidak hanya berdampak pada peningkatan performa akademik, tetapi juga berkontribusi terhadap pembentukan karakter serta kesejahteraan mahasiswa secara menyeluruh.

Pembelajaran dalam pendidikan kedokteran didominasi oleh pendekatan konvensional seperti (AEL) yang bersifat teacher-centered, teknologi visualisasi tiga dimensi (3D), seperti virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR), active recall, gamifikasi, dan discovery learning. metode tersebut dipandang hanya sebagai pelengkap dan tidak dapat sepenuhnya menggantikan diseksi kadaver. Diseksi kadaver merupakan metode terbaik untuk mempelajari anatomi karena memberikan pemahaman tiga dimensi, keterampilan visual-spasial, serta nilai humanistik seperti pemahaman tentang kematian. Secara keseluruhan, ini menunjukkan bahwa cara belajar anatomi yang efektif merupakan kombinasi pembelajaran aktif, pengurangan beban pembelajaran, relevansi klinis, penguatan materi secara berkelanjutan, dan penggunaan strategi dan media pembelajaran yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Burleson, K. M., & Olimpo, J. T. (2016). ClueConnect: a word array game to promote student comprehension of key terminology in an introductory anatomy and physiology course. *Advances in physiology education*, 40(2), 223–228. <https://doi.org/10.1152/advan.00106.2015>
- Cale, A. S., & McNulty, M. A. (2025). Chaotic fun! Promoting active recall of anatomical structures and relationships using the Catch-Phrase game. *Anatomical sciences education*, 18(2), 121–129. <https://doi.org/10.1002/ase.2549>
- Chang Chan, A. Y. C., van Leeuwen, M., Custers, E., Bleys, R., & Ten Cate, O. (2025). Anatomy education in low-resourced countries: What are challenges and effective and affordable educational strategies? A qualitative study. *Medical teacher*, 47(5), 883–893. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2024.2383373>
- Du, Y. C., Fan, S. C., & Yang, L. C. (2020). The impact of multi-person virtual reality competitive learning on anatomy education: a randomized controlled study. *BMC medical education*, 20(1), 343. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02155-9>
- García-Robles, P., Cortés-Pérez, I., Nieto-Escámez, F. A., García-López, H., Obrero-Gaitán, E., & Osuna-Pérez, M. C. (2024). Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical sciences education*, 17(3), 514–528. <https://doi.org/10.1002/ase.2397>
- Goubar, T., Larach, J., Hindmarch, J., Bownes, S., & Sinha, S. (2021). A pragmatic approach to effective anatomy teaching and learning to medical students: a ten-year experience

- using evidence-based principles. *MedEdPublish*, 10(1), 147.
<https://doi.org/10.15694/mep.2021.000147.1>
- Haładaj R. (2019). Normal Anatomy and Anomalies of the Rectus Extraocular Muscles in Human: A Review of the Recent Data and Findings. *BioMed research international*, 2019, 8909162. <https://doi.org/10.1155/2019/8909162>
- Holan, G., Asri, R., Yadav, A., Traba, C., Chen, S., & Grachan, J. J. (2025). Escape Room Activity to Teach Head and Neck Anatomy. *MedEdPORTAL : the journal of teaching and learning resources*, 21, 11494. https://doi.org/10.15766/mep_2374-8265.11494
- Krishnamurthy, K., Selvaraj, N., Gupta, P., Cyriac, B., Dhurairaj, P., Abdullah, A., Krishnapillai, A., Lugova, H., Haque, M., Xie, S., & Ang, E. T. (2022). Benefits of gamification in medical education. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)*, 35(6), 795–807. <https://doi.org/10.1002/ca.23916>
- Kopel, J., Brower, G., & Culberson, J. W. (2021). Teaching methods fostering enjoyment and creativity in medical education. *Journal of community hospital internal medicine perspectives*, 11(6), 821–824. <https://doi.org/10.1080/20009666.2021.1979739>
- Lazarus, L., Sookrajh, R., & Satyapal, K. S. (2019). Perceptions of South African academic instructors toward the teaching and learning of anatomy. *Folia morphologica*, 78(4), 871–878. <https://doi.org/10.5603/FM.a2019.0034>
- Minouei, M. A., Omid, A., Mirzaie, A., Mahdavi-fard, H., & Rahimi, A. (2024). Effectiveness of virtual reality on medical students' academic achievement in anatomy: systematic review. *BMC medical education*, 24(1), 1407. <https://doi.org/10.1186/s1290902406402-1>
- Mori, S., Tretter, J. T., Spicer, D. E., Bolender, D. L., & Anderson, R. H. (2019). What is the real cardiac anatomy?. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)*, 32(3), 288–309. <https://doi.org/10.1002/ca.23340>
- Mugagga, K., Mwarisi, M. G., & Dare, S. S. (2020). The Wooden Skull: An Innovation through the Use of Local Materials and Technology to Promote the Teaching and Learning of Human Anatomy. *BioMed research international*, 2020, 8036737. <https://doi.org/10.1155/2020/8036737>
- Uruthiralingam, U., & Rea, P. M. (2020). Augmented and Virtual Reality in Anatomical Education - A Systematic Review. *Advances in experimental medicine and biology*, 1235, 89–101. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37639-0_5
- Singh, K., Bharatha, A., Sa, B., Adams, O. P., & Majumder, M. A. A. (2019). Teaching anatomy using an active and engaging learning strategy. *BMC medical education*, 19(1), 149. <https://doi.org/10.1186/s12909-019-1590-2>
- Stiver, M. L., Naveed, A., Chilton, J., & Moyes, S. M. (2025). Gamifying anatomy outreach: An underexplored opportunity. *Anatomical Sciences Education*, 18(12), 1359–1372. <https://doi.org/10.1002/ase.70019>

- Tello-Mendoza, R., Alvarez-Lozada, L. A., Guzman-Lopez, S., Quiroga-Garza, A., SalinasAlvarez, Y., Elizondo-Omana, R. E., & Morton, D. A. (2025). The paper puzzle as an active learning tool in the teaching of anatomy: A qualitative study of perceptions in students and near-peer teachers. *Anatomical Sciences Education*.
<https://doi.org/10.1002/ase.70112>
- Verma, A., Pasricha, N., Chaudhary, A., Bhatnagar, R., Sthapak, E., & Gaharwar, A. (2024). Interactive Quiz-Based Anatomy Teaching for Medical Undergraduate Students. *Cureus*, 16(1), e52353. <https://doi.org/10.7759/cureus.52353>
- Vieno-Corbett, K., Campbell, N., Pecyna, A. and Rogers, K.A. (2025). A scoping review of teaching approaches and learning objectives for anatomical variation in gross anatomy courses across degree programs. *Anatomical Sciences Education*, 18(9), pp. 937–947. <https://doi.org/10.1002/ase.70072>
- Wang, J., Li, W., Dun, A., Zhong, N., & Ye, Z. (2024). 3D visualization technology for Learning human anatomy among medical students and residents: a meta- and regression analysis. *BMC medical education*, 24(1), 461. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05403-4>

Literature Review

Peran Motivasi dan Teknik Strategi Pembelajaran Anatomi yang Baik Pada Mahasiswa Kedokteran

Maya Rahmayanti Syamhadi¹, Bella Fadhilah Ramadhani², Tuhfatul Athfal Laili², Mahdania Nawawi Putri², Muthiaradienna Qonita², Hareera Azka Dzul Fither², Eko Andreansah Widi Al Farisi², Zia Fatih Farhan², Nadira Farah Anindya², Enggar Galih Ade Puspita², Nagita Sabryna Putri Afan², Naura Rihhadatul Aisya²

1) Departemen Anatomi, Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Fakultas Kedokteran Universitas Kedokteran Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Ilmu anatomi merupakan mata kuliah penting dalam pendidikan kedokteran, namun dikenal memiliki tingkat kompleksitas dan beban kognitif yang tinggi sehingga menjadi tantangan bagi mahasiswa. Kondisi ini menuntut adanya motivasi belajar yang kuat serta pemilihan teknik belajar yang efektif agar pemahaman dan retensi pengetahuan anatomi dapat tercapai secara optimal. Literature review ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis motivasi belajar dan teknik belajar anatomi yang efektif pada mahasiswa kedokteran. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data PubMed dengan kata kunci terkait pembelajaran anatomi, motivasi belajar, dan strategi belajar, mencakup publikasi sepuluh tahun terakhir. Sebanyak 20 artikel yang relevan dianalisis, terdiri dari penelitian kuantitatif, kualitatif, dan systematic review. Hasil kajian menunjukkan bahwa motivasi belajar memiliki peran penting dalam meningkatkan keterlibatan, ketekunan, dan kesejahteraan mental mahasiswa. Berbagai teknik belajar, seperti visualisasi tiga dimensi (VR, AR, dan model 3D), pembelajaran aktif (flipped classroom, team-based learning, dan gamifikasi), serta strategi self-regulated learning, terbukti mampu meningkatkan motivasi dan kualitas pengalaman belajar anatomi. Namun, peningkatan motivasi tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan nilai akademik, sehingga integrasi metode inovatif konvensional dan kontekstualisasi klinis menjadi kunci pembelajaran anatomi yang efektif. Kajian ini menegaskan bahwa sinergi antara motivasi dan teknik belajar sangat penting dalam mendukung keberhasilan akademik dan kesiapan profesional mahasiswa kedokteran.

Kata Kunci: Pembelajaran anatomi, Motivasi belajar, Strategi belajar, Mahasiswa kedokteran, Pendidikan anatomi

ABSTRACT

Anatomy is an important subject in medical education, but it is known to be highly complex and cognitively demanding, posing a challenge for students. This situation requires strong learning motivation and the selection of effective learning techniques to achieve optimal understanding and retention of anatomical knowledge. This literature review aims to systematically examine learning motivation and effective anatomy learning techniques among medical students. The literature search was conducted through the PubMed database using keywords related to anatomy learning, learning motivation, and learning strategies, covering publications from the last ten years. A total of 20 relevant articles were analyzed, consisting of quantitative, qualitative, and systematic review studies. The results of the study show that

learning motivation plays an important role in increasing student engagement, perseverance, and mental well-being. Various learning techniques, such as three-dimensional visualization (VR, AR, and 3D models), active learning (flipped classroom, team-based learning, and gamification), and self-regulated learning strategies, have been proven to increase motivation and the quality of the anatomy learning experience. However, increased motivation does not always correlate with improved academic grades, so the integration of conventional and clinical contextualization innovative methods is key to effective anatomy learning. This study emphasizes that the synergy between motivation and learning techniques is very important in supporting the academic success and professional readiness of medical students.

Keywords : *Anatomy learning, Learning motivation, Learning strategies, Medical students, Anatomy education*

Correspondence : mayasyamhadisyamhadi@um-surabaya.ac.id

PENDAHULUAN

Ilmu anatomi merupakan mata kuliah wajib yang fundamental dalam kurikulum pendidikan kedokteran (Brenner, 2022) karena menjadi pijakan penting bagi kompetensi klinis, keterampilan pemeriksaan fisik, serta pelaksanaan tindakan medis dan pembedahan di masa depan (Huang, 2018). Namun, anatomi dikenal sebagai mata kuliah dengan tingkat kompleksitas tinggi (Alex et al., 2020) dan volume materi yang sangat besar, sehingga sering menjadi tantangan signifikan bagi mahasiswa (Aisyah et al., 2025). Kompleksitas ini menuntut mahasiswa untuk memiliki motivasi belajar yang tinggi serta strategi belajar yang efektif agar mampu memahami dan mengingat informasi dengan baik dalam jangka panjang (Kikas et al., 2024). Motivasi belajar adalah kekuatan internal maupun eksternal yang mendorong individu untuk mengarahkan dan mempertahankan perilaku belajar dalam mencapai tujuan akademik tertentu (Ma, 2024). Pada mahasiswa kedokteran, motivasi belajar bukan hanya dipengaruhi oleh keinginan mencapai prestasi akademik tetapi juga oleh pemahaman akan relevansi anatomi terhadap praktik klinis di masa depan (Bansal & Pagidas, 2025). Sebuah studi di Universitas Andalas melaporkan bahwa 79% mahasiswa kedokteran menunjukkan tingkat motivasi belajar yang tinggi selama pandemi COVID-19 (Muttaqien et al., 2022), menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa tetap termotivasi meskipun terjadi perubahan metode pembelajaran akibat pembelajaran jarak jauh (PJJ) (Hatmo, 2021). Hal ini konsisten dengan temuan lain yang menegaskan bahwa motivasi belajar memiliki hubungan positif dengan prestasi akademik pada mahasiswa kedokteran (Chandra et al., 2023). Motivasi belajar juga tercermin dalam orientasi tujuan dan penggunaan strategi belajar tertentu (Amirah & Nirwana, 2025). Menurut penelitian internasional, mahasiswa kedokteran cenderung memiliki task value (nilai tugas) dan orientasi tujuan yang relatif tinggi dalam pembelajaran anatomi, baik dari perspektif intrinsik maupun ekstrinsik (Rizma Fithri et al., 2025). Orientasi tujuan intrinsik menunjukkan bahwa mahasiswa mempelajari anatomi karena merasa materi tersebut penting dan menarik secara pribadi, sedangkan orientasi ekstrinsik berkaitan dengan tujuan skor atau sertifikasi akademik (Ngwira et al., 2018). Selain motivasi, strategi belajar menjadi faktor penting dalam memahami anatomi secara efektif (Singh et al., 2019).

Strategi belajar aktif seperti elaborasi, organisasi materi, dan penggunaan media visual telah terbukti berkorelasi dengan pencapaian akademik dalam anatomi (Martinez & Gomez,

2025). Elaborasi strategi yakni kemampuan menghubungkan konsep pengetahuan yang sudah dimiliki (Fu et al., 2022) mahasiswa seringkali menjadi strategi yang lebih dominan digunakan oleh mahasiswa dibandingkan strategi hafalan semata (Ruffin et al., 2024). Teknik belajar berbasis visual juga menunjukkan potensi dalam meningkatkan pemahaman anatomi (Lo et al., 2020), terutama dalam mempelajari hubungan spasial struktur tubuh, seperti yang dilaporkan dalam studi penggunaan metode visual learning pada materi neuroanatomi. Berbagai penelitian juga mencoba mengevaluasi metode pembelajaran tertentu dalam praktikum anatomi. Selain faktor individu, pembelajaran anatomi dalam pendidikan kedokteran modern juga turut memengaruhi motivasi dan efektivitas teknik belajar mahasiswa (Utami et al., 2021). Perkembangan kurikulum berbasis kompetensi dan integrasi ilmu dasar klinis menuntut mahasiswa tidak hanya menghafal struktur anatomi, tetapi juga memahami aplikasi klinisnya (Arifin & Mu'id, 2024). Penelitian oleh (Nugraha et al., 2019) melaporkan bahwa mahasiswa kedokteran yang mempelajari anatomi dengan pendekatan kontekstual dan klinis menunjukkan tingkat motivasi yang lebih tinggi serta retensi pengetahuan yang lebih baik dibandingkan pendekatan tradisional berbasis hafalan. Studi lain oleh (Sadewa et al., 2023) menemukan bahwa mahasiswa kedokteran mengalami kesulitan mempertahankan pengetahuan anatomi dalam jangka panjang, terutama ketika teknik belajar yang digunakan bersifat pasif dan tidak terstruktur. Di sisi lain, penerapan teknik belajar berbasis active learning seperti spaced repetition, retrieval practice, dan penggunaan media digital interaktif terbukti meningkatkan performa akademik dan efisiensi waktu belajar mahasiswa dibandingkan metode konvensional (Siregar et al., 2025; Strong, 2023). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa motivasi belajar dan teknik belajar anatomi tidak dapat dipisahkan dari desain pembelajaran dan pendekatan pedagogik yang digunakan.

Meskipun demikian, pemahaman mengenai hubungan antara motivasi belajar, strategi belajar, dan performa akademik dalam pembelajaran anatomi masih belum merata dan memerlukan sintesis dari berbagai penelitian. Banyak studi menggabungkan motivasi dan teknik belajar dalam model yang saling berkaitan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap performa akademik, sehingga literature review berfokus pada kedua aspek ini akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif bagi pengembangan strategi pembelajaran anatomi yang lebih efektif di pendidikan kedokteran. Berdasarkan uraian tersebut, literature review ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis bukti empiris mengenai motivasi belajar dan teknik belajar anatomi yang efektif pada mahasiswa kedokteran, serta dampaknya terhadap hasil pembelajaran anatomi. Kajian ini diharapkan dapat memberikan dasar yang lebih kuat untuk pengembangan pendekatan pedagogik yang inovatif dan berorientasi pada kebutuhan mahasiswa kedokteran masa kini.

TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 1. Jurnal terpilih

Referensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
(Barteit et al., 2021)	27 studi dengan total 956 peserta (mahasiswa kedokteran,	Pembelajaran menggunakan AR, MR, dan VR berbasis HMD dibandingkan	Menunjukkan HMD berbasis AR dan VR efektif meningkatkan	XR berbasis HMD berpotensi efektif dan aplikatif dalam pendidikan kedokteran

Referensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
	residen, dan tenaga kesehatan)	dengan metode pembelajaran konvensional	pengetahuan dan keterampilan pembelajaran dinilai lebih menarik, memotivasi	
(Abdel Meguid & Khalil, 2017)	Penelitian kuantitatif dengan desain survei menggunakan kuesioner motivasi 29 item berbasis model ARCS	Mahasiswa kedokteran yang mengikuti pembelajaran anatomi melalui cadaveric dissection.	Pembelajaran anatomi menggunakan metode diseksi kadaver sebagai pengalaman belajar utama.	Diseksi kadaver terbukti meningkatkan motivasi belajar mahasiswa. Terdapat perbedaan motivasi yang signifikan berdasarkan jenis kelamin (mahasiswa laki-laki lebih termotivasi dibanding perempuan) dan berdasarkan tingkat pengetahuan anatomi.
(Sarkar et al., 2022)	Penelitian kualitatif–deskriptif berbasis experiential learning theory (ELT)	Mahasiswa kedokteran dan dosen anatomi	Sesi diseksi anatomi berbasis experiential learning selama early clinical exposure	Pembelajaran meningkatkan keterlibatan, kepuasan, dan pemahaman kontekstual; mendorong pembelajaran interaktif dan pemecahan masalah; efektif meningkatkan pengalaman belajar anatomi
(Odontides et al., 2024)	Penelitian kuantitatif dengan desain survei dan analisis statistik (k-means cluster, regresi linier)	108 mahasiswa kedokteran semester pertama	Pembelajaran mandiri anatomi dengan penggunaan berbagai strategi belajar (metakognitif, kognitif, dan tanpa strategi spesifik)	Strategi belajar kognitif menjadi prediktor signifikan terhadap performa tes anatomi; motivasi berpengaruh negatif terhadap performa; self-regulated learning penting dalam mendukung keberhasilan akademik
(Ortadeveci & Ozden, 2023)	Penelitian kuantitatif survei dengan analisis SEM	762 mahasiswa kedokteran dan kedokteran gigi	Pemanfaatan media sosial sebagai sarana pembelajaran anatomi	Media sosial meningkatkan motivasi belajar anatomi; konten yang dikelola akademisi dan respons cepat berpengaruh positif terhadap motivasi; kualitas dan kecukupan konten menentukan efektivitas pembelajaran
(Triepeles et al., 2020)	Systematic review	21 artikel tentang pembelajaran anatomi	Visualisasi anatomi tiga dimensi (VR, AR, dan 3D komputer) dibandingkan metode tradisional	Visualisasi 3D umumnya lebih efektif meningkatkan pemahaman anatomi; mahasiswa lebih termotivasi dan tertarik menggunakan metode 3D dibandingkan metode tradisional
(Dulloo et al., 2023)	Penelitian kuantitatif	Mahasiswa kedokteran	Pengembangan dan	Kesiapan SDL tertinggi pada mahasiswa tahun

Referensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
	cross-sectional dan pengembangan instrumen		implementasi skala kesiapan self-directed learning (SDL)	pertama; terdapat perbedaan pada beberapa item berdasarkan gender; pelatihan SDL diperlukan untuk meningkatkan motivasi dan kemandirian belajar
(Kasat et al., 2023)	Penelitian kuantitatif eksperimental	50 mahasiswa kedokteran tahun pertama	Pembelajaran anatomi dengan metode flipped classroom dibandingkan metode tradisional	Flipped classroom meningkatkan retensi jangka pendek secara signifikan dan menjadi metode yang efektif serta memotivasi dalam pembelajaran anatomi
(Manrique et al., 2024)	Penelitian kuantitatif eksperimental dan kualitatif (survei & focus group)	Mahasiswa kedokteran tahun kedua	Pembelajaran anatomi dengan pengalaman haptik menggunakan model tulang 3D dibandingkan metode 2D	Pengalaman haptik meningkatkan motivasi dan keterlibatan belajar; metode 3D dinilai lebih interaktif dan efektif dibandingkan metode 2D dalam pembelajaran anatomi
(da Cruz Torquato et al., 2023)	Penelitian kuantitatif eksperimental acak (crossover design)	42 mahasiswa kedokteran semester pertama	Pembelajaran anatomi dengan virtual reality sebagai pelengkap metode tradisional	Virtual reality tidak meningkatkan skor akademik secara signifikan, tetapi meningkatkan motivasi dan persepsi visualisasi 3D; efektif sebagai alat pembelajaran pelengkap
(Tello-Mendoza et al., 2025)	Mixed-methods (quasi-eksperimental longitudinal & kualitatif)	907 mahasiswa kedokteran tahun pertama dan 30 near-peer teachers	Pembelajaran anatomi berbasis game paper puzzle dengan fasilitasi near-peer teachers	Paper puzzle meningkatkan motivasi, keterlibatan, kerja tim, dan kemampuan mengingat materi anatomi; efektivitas bergantung pada kualitas fasilitasi near-peer teachers
(Fives et al., 2022)	Penelitian kuantitatif survei korelasional	Mahasiswa tahun pertama terapi wicara dan bahasa	Metode belajar anatomi dan motivasi belajar dikaitkan dengan kesejahteraan mental	Motivasi belajar anatomi berhubungan dengan kesejahteraan mental; kecemasan ujian tinggi berkorelasi negatif dengan well-being; mahasiswa menilai anatomi penting secara klinis
(Rao Bhagavathula et al., 2022)	Kuantitatif eksperimental (kelompok kontrol)	Mahasiswa kedokteran terapi okupasi	Prelaboratory assignments (PLAs) sebelum praktikum neuroanatomi	PLAs meningkatkan nilai ujian akhir, keterlibatan belajar, dan motivasi intrinsik; dianggap bermanfaat dalam pembelajaran neuroanatomi

Referensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
(Rahimipou r et al., 2025)	Quasi-eksperimenta l	281 mahasiswa kedokteran	Gamifikasi berbasis web dalam pembelajaran embriologi	Gamifikasi meningkatkan kepuasan, motivasi, keterlibatan, dan nilai ujian secara signifikan dibanding metode konvensional
(Weimer et al., 2023)	Pre-post study (blended learning)	33 mahasiswa kedokteran	Kurikulum point-of-care ocular ultrasound berbasis blended learning	Terjadi peningkatan signifikan kompetensi objektif dan subjektif; motivasi belajar dan kepuasan mahasiswa tinggi
(Barbian et al., 2025)	Cross-sectional multicenter, latent profile analysis	567 mahasiswa kedokteran & kedokteran gigi di 6 fakultas	Kuesioner LIST-K (13 strategi belajar)	Ditemukan 4 Anatomy Learning menunjukkan prestasi akademik lebih baik; pembelajaran kolaboratif dapat mengompensasi motivasi individu yang rendah
(Brás et al., 2024)	Penelitian deskriptif dengan desain cross-sectional menggunakan survey kuesioner likert	163 mahasiswa kedokteran dari 2 instansi di Brazil	Penelitian bersifat evaluatif terhadap metode pembelajaran yang telah diterapkan dalam bentuk perkuliahan	Mahasiswa menilai pembelajaran yang dikaitkan dengan aplikasi klinis, kontekstualisasi materi, dan penggunaan gambar radiologi sebagai metode paling efektif
(Dempsey et al., 2023)	Penelitian kuantitatif dengan desain prospective cohort study	273 mahasiswa kedokteran tahun pertama	Penelitian mengevaluasi perubahan motivasi selama pelaksanaan modul anatomo yang berjalan	Terjadi penurunan motivasi intristik dan nilai tugas secara signifikan
(Aboregela et al., 2022)	Studi kuantitatif komparatif dengan desain evaluatif.	117 mahasiswa kedokteran (tahun ke-2 = 42, tahun ke-3 = 40, tahun ke-4 = 35) College of Medicine, University of Bisha	TBL: IRAT, GRAT, mini-lecture, dan application exercises. Seminar: pretest, peer lecturing, dan posttest.	Nilai TBL meningkat signifikan seiring tingkat akademik sedangkan nilai seminar relatif stagnan. Mayoritas mahasiswa memilih TBL sebagai metode belajar anatomi yang lebih disukai.
(Koop et al., 2021)	Uji coba terkontrol acak (randomized controlled trial)	279 mahasiswa kedokteran tahun pertama	Kelompok 1: manual diseksi audiovisual. Kelompok 2: manual tertulis yang diperbaiki. Kontrol: manual standar	Hasil penelitian tidak mendukung implementasi lebih lanjut media audiovisual tersebut ke dalam kurikulum.

Berdasarkan berbagai penelitian yang dianalisis, pembelajaran anatomi terus mengalami transformasi dari metode konvensional menuju pendekatan yang lebih inovatif, interaktif, dan berpusat pada mahasiswa kedokteran (Dewi et al., 2025). Tingginya beban kognitif dalam pembelajaran anatomi sering kali berdampak pada penurunan motivasi belajar mahasiswa kedokteran, khususnya pada tahun pertama. Oleh karena itu, motivasi belajar dan pemilihan teknik belajar yang tepat menjadi faktor kunci dalam keberhasilan pembelajaran anatomi serta keberhasilan akademik mahasiswa (Sidabutar et al., 2020). Berbagai pendekatan pembelajaran, baik konvensional maupun inovatif, perlu dikaji untuk mengidentifikasi strategi yang tidak hanya efektif secara kognitif, tetapi juga mampu mempertahankan motivasi belajar mahasiswa kedokteran. Terdapat 20 jurnal yang telah direview yang menyatakan bahwa pembelajaran dihubungkan dengan motivasi dan Teknik belajar.

Motivasi belajar memiliki peran penting dalam menentukan tingkat keterlibatan, ketekunan, dan kesiapan mahasiswa dalam mempelajari anatomi. Studi (Abdel Meguid & Khalil, 2017) menunjukkan bahwa pengalaman belajar langsung melalui diseksi kadaver mampu meningkatkan motivasi belajar mahasiswa kedokteran secara signifikan. Diseksi memberikan pengalaman autentik yang menumbuhkan rasa tanggung jawab profesional dan relevansi klinis anatomi (Gosal et al., 2022). Namun, motivasi belajar bersifat dinamis. (Dempsey et al., 2023) melaporkan dalam penelitiannya bahwa adanya penurunan motivasi intrinsik selama pelaksanaan modul anatomi, yang dapat disebabkan oleh beban materi yang tinggi dan pendekatan pembelajaran yang kurang variative (Trinura Novitasari, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa motivasi perlu dipelihara secara berkelanjutan melalui desain pembelajaran yang menarik, kontekstual, dan tidak monoton. Selain itu, (Fives et al., 2022) menegaskan bahwa motivasi belajar anatomi tidak hanya berdampak pada hasil akademik, tetapi juga berkaitan erat dengan kesejahteraan mental mahasiswa. Mahasiswa dengan motivasi tinggi cenderung memiliki tingkat stres dan kecemasan akademik yang lebih rendah, sehingga mampu mengikuti proses pembelajaran secara lebih optimal (Pradiri et al., 2021).

Teknik belajar anatomi yang efektif sangat bergantung pada kemampuan visualisasi struktur tubuh manusia. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media visual tiga dimensi seperti VR, AR, dan model 3D dapat meningkatkan minat dan motivasi belajar mahasiswa. (Barteit et al., 2021; Triepels et al., 2020) melaporkan bahwa visualisasi 3D lebih menarik dan membantu pemahaman spasial dibandingkan metode dua dimensi konvensional. Meski demikian, peningkatan motivasi melalui teknologi tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan nilai akademik. Studi (da Cruz Torquato et al., 2023; Koop et al., 2021) menemukan bahwa media audiovisual dan virtual reality lebih efektif sebagai alat pendukung pembelajaran daripada sebagai metode utama. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi sebaiknya diintegrasikan secara strategis untuk memperkuat pemahaman, bukan menggantikan pembelajaran inti.

Pendekatan pembelajaran aktif terbukti menjadi teknik belajar anatomi yang efektif dalam meningkatkan motivasi dan keterlibatan mahasiswa (Neli Permatasari et al., 2025). Metode seperti flipped classroom, team-based learning (TBL), gamifikasi, dan paper puzzle mendorong mahasiswa untuk berpartisipasi secara aktif dan kolaboratif. (Kasat et al., 2023) menunjukkan bahwa flipped classroom meningkatkan retensi jangka pendek dan motivasi

belajar anatomi secara signifikan. Sementara itu, (Aboregela et al., 2022) menemukan bahwa TBL lebih disukai oleh mahasiswa dibandingkan metode seminar karena meningkatkan interaksi dan pemahaman konsep. Pendekatan gamifikasi dan paper puzzle juga terbukti mampu meningkatkan motivasi, kerja tim, serta kemampuan mengingat materi anatomi (Rahimipour et al., 2025; Tello-Mendoza et al., 2025).

Selain metode pembelajaran, teknik belajar anatomi yang baik juga bergantung pada kemampuan self-regulated learning mahasiswa. (Odontides et al., 2024) menemukan bahwa strategi belajar kognitif seperti pengulangan terstruktur, elaborasi, dan organisasi materi menjadi prediktor signifikan keberhasilan akademik dalam anatomi, sementara motivasi tanpa strategi yang tepat tidak selalu menghasilkan performa yang optimal. Hal ini diperkuat oleh (Dulloo et al., 2023) yang menekankan pentingnya kesiapan self-directed learning (SDL) dalam meningkatkan kemandirian dan motivasi belajar mahasiswa kedokteran. Mahasiswa yang mampu mengatur tujuan belajar, memantau pemahaman, dan mengevaluasi strategi belajarnya sendiri cenderung memiliki hasil belajar yang lebih baik. Keterkaitan anatomi dengan aplikasi klinis merupakan faktor penting dalam menjaga motivasi belajar mahasiswa. (Brás et al., 2024) menunjukkan bahwa mahasiswa menilai pembelajaran anatomi yang dikaitkan dengan kasus klinis, radiologi, dan praktik medis sebagai metode yang paling efektif dan bermakna. Pendekatan ini membantu mahasiswa memahami relevansi anatomi terhadap profesi dokter, sehingga meningkatkan motivasi intrinsik.

Berdasarkan kajian dari 20 penelitian, motivasi dan teknik belajar anatomi yang baik bagi mahasiswa kedokteran tidak dapat dipisahkan. Motivasi yang tinggi perlu didukung oleh teknik belajar yang tepat, seperti visualisasi 3D, pembelajaran aktif, strategi belajar mandiri, serta kontekstualisasi klinis. Pembelajaran anatomi yang efektif bukan hanya bertujuan meningkatkan nilai akademik, tetapi juga membangun pemahaman, keterampilan berpikir klinis, dan kesiapan profesional mahasiswa kedokteran.

KESIMPULAN

Pembelajaran anatomi yang efektif pada mahasiswa kedokteran sangat dipengaruhi oleh motivasi belajar dan pemilihan teknik belajar yang tepat. Motivasi berperan penting dalam meningkatkan keterlibatan, ketekunan, dan kesiapan mahasiswa dalam memahami materi anatomi yang kompleks. Berbagai teknik belajar, seperti pembelajaran berbasis visualisasi tiga dimensi, pembelajaran aktif dan kolaboratif, strategi self-regulated learning, serta kontekstualisasi klinis, terbukti mampu meningkatkan motivasi dan kualitas pengalaman belajar mahasiswa. Meskipun tidak semua inovasi pembelajaran berdampak langsung pada peningkatan nilai akademik, pendekatan yang terintegrasi antara metode konvensional dan inovatif dapat menciptakan pembelajaran anatomi yang lebih membuat mahasiswa kedokteran lebih memahami materi, bertransformasi, dan mendukung kesiapan profesionalitas mahasiswa kedokteran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Meguid, E. M., & Khalil, M. K. (2017). Measuring medical students' motivation to learning anatomy by cadaveric dissection. *Anatomical Sciences Education*, 10(4), 363–371. <https://doi.org/10.1002/ase.1669>
- Aboregela, A. M., Sonpol, H. M. A., Metwally, A. S., El-Ashkar, A. M., Hashish, A. A., Mohammed, O. A., Elnahriry, T. A., Senbel, A., & Alghamdi, M. (2022). Medical students' perception and academic performance after team-based and seminar-based learning in human anatomy. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 18(1), 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2022.08.005>
- Aisyah, S., Silitonga, M., & Edi, S. (2025). Modul Anatomi Dan Fisiologi Tubuh Manusia Berbasis Case Method Untuk Mahasiswa Jurusan Biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains (BIOEDUSAINS)*, 8, 2598–7453. <https://doi.org/10.31539/tgextr52>
- Alex, A., Bhandary, E., & McGuire, K. P. (2020). Anatomy and physiology of the breast during pregnancy and lactation. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (Vol. 1252, pp. 3–7). https://doi.org/10.1007/978-3-030-41596-9_1
- Amirah, N., & Nirwana, H. (2025). Konsep dan Penerapan Motivasi Dalam Belajar. *Socius: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Sosial*, 2(11), 406–410. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15596144>
- Arifin, B., & Mu'id, A. (2024). Pengembangan Kurikulum Berbasis Keterampilan dalam Menghadapi Tuntutan Kompetensi Abad 21. *DAARUS TSAQOFAH Jurnal Pendidikan Pascasarjana Universitas Qomaruddin*, 1(2), 118–128. <https://jurnalpasca.uqgresik.ac.id/index.php/pendidikan|118>
- Bansal, S., & Pagidas, K. (2025). Strength of motivation and academic performance of medical students: a longitudinal study. *BMC Medical Education*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07733-3>
- Barbian, B., Shiozawa, T., Gellisch, M., Brunk, I., Langer-Fischer, K., Wagner, N., Benker, S., Bellstedt, M., Otto, N., & Darici, D. (2025). Anatomy learning profiles in relation to student motivation and academic success: A multi-center cross-sectional study. *Anatomical Sciences Education*, 18(10), 1057–1069. <https://doi.org/10.1002/ase.70065>
- Barteit, S., Lanfermann, L., Bärnighausen, T., Neuhaus, F., & Beiersmann, C. (2021). Augmented, mixed, and virtual reality-based head-mounted devices for medical education: A systematic review. *JMIR Serious Games*, 9(3). <https://doi.org/10.2196/29080>
- Brás, B. B., Toledo, G., & Maciel, S. M. (2024). The most effective strategies in teaching theoretical anatomy in medical schools, from a student's view. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23(1), 326–337.
- Brenner, E. (2022). Anatomy in Competencies-Based Medical Education. *Education Sciences*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/educsci12090610>

- Chandra, K., Manoppo, F. P., & Mewo, Y. M. (2023). Peran Motivasi Belajar terhadap Indeks Prestasi Mahasiswa Fakultas Kedokteran. *Medical Scope Journal*, 4(2), 115–123. <https://doi.org/10.35790/msj.v4i2.44856>
- da Cruz Torquato, M., Menezes, J. M., Belchior, G., Mazzotti, F. P., Bittar, J. S., Dos Santos, G. G. R., Ruiz, T. M., de Oliveira Pereira, W., & Paes, A. T. (2023). Virtual reality as a complementary learning tool in anatomy education for medical students. *Medical Science Educator*, 33(2), 507–516. <https://doi.org/10.1007/s40670-023-01774-3>
- Dempsey, C., O'Reilly, E., Ryan, M., McAuliffe, F., & O'Tuathaigh, C. M. P. (2023). Examining motivation of first-year undergraduate anatomy students through the lens of universal design for learning (UDL): A single institution study. *Medical Science Educator*, 33(2), 507–516. <https://doi.org/10.1007/s40670-023-01823-x>
- Dewi, N. P., Birman, Y., Vani, A. T., & Baiturrahmah, U. (2025). Literature Review: The Relationship between Integrated Clinical Anatomy Learning in Surgery and the Operative Competence of Medical Students. *Nusantara Hasana Journal*, 5(3), Page.
- Dulloo, P., Singh, S., Vedi, N., & Singh, P. (2023). Development and implementation of a self-directed learning readiness scale for undergraduate health professional students. *Journal of Education and Health Promotion*, 12, 43. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_900_22
- Fives, C., Lone, M., & Nolan, Y. M. (2022). Motivation and learning methods of anatomy: Associations with mental well-being. *Clinical Anatomy*, 35(1), 26–39. <https://doi.org/10.1002/ca.23781>
- Fu, X., Shan, H., Yao, X., Cheng, J., Jiang, Y., Yin, X., & Kong, H. (2022). Petal development and elaboration. *Journal of Experimental Botany*, 73(11), 3308–3318. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac092>
- Gosal, V. H. R., Manampiring, A. E., & Waha, C. (2022). Perilaku Profesional Tenaga Medis terhadap Tanggung Jawab Etik dan Transaksi Terapeutik dalam Menjalankan Kewenangan Klinis Professional Behavior of Medical Personnel towards Ethical Responsibility and Therapeutic Transactions in Running Clinical Privilege. *Medical Scope Journal*, 4(1), 1–9. <https://doi.org/10.35790/msj.v4.i1.41689>
- Hatmo, S. H. D. (2021). Dampak Pandemi Covid-19 Terhadap Efektivitas Pembelajaran Jarak Jauh Secara Daring The Impact of The Covid-19 Pandemic on The Online Distance Learning Effectiveness. *Scholaria: Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 11(2), 115–122.
- Huang, Y. (2018). A study on the Korean medicine education and the changes in the traditional Korean medicine during the Japanese colonial era: Focused on the Korean medicine training schools. *Ui Sahak*, 27(1), 1–48. <https://doi.org/10.13081/kjmh.2018.27.1>
- Siregar, I. S., Ahmad Dairobby Lubis, & Gusmanelli Gusmanelli. (2025). Strategi Pembelajaran Inovatif untuk Meningkatkan Keterlibatan dan Hasil Belajar Siswa di Era Digital. *Edukasi Elita : Jurnal Inovasi Pendidikan*, 2(2), 245–252. <https://doi.org/10.62383/edukasi.v2i2.1484>

- Kasat, P., Deshmukh, V., Muthiyan, G., Sontakke, B., Sorte, S. R., & Tarnekar, A. M. (2023). The role of the flipped classroom method in short-term and long-term retention among undergraduate medical students of anatomy. *Cureus*, 15(9). <https://doi.org/10.7759/cureus.45021>
- Kikas, E., Puusepp, I., Granström, M., & Mädamürk, K. (2024). Knowledge of Learning Strategies and Motivation to Use Them: Similarities and Differences between School Levels. *Behavioral Sciences*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/bs14100889>
- Koop, C. F. A., Marschollek, M., Schmiedl, A., Proskynitopoulos, P. J., & Behrends, M. (2021). Does an audiovisual dissection manual improve medical students' learning in the gross anatomy dissection course? *Anatomical Sciences Education*, 14(5), 615–628. <https://doi.org/10.1002/ase.2012>
- Lo, F. P. W., Sun, Y., Qiu, J., & Lo, B. (2020). Image-based food classification and volume estimation for dietary assessment: A review. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(7), 1926–1939. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.2987943>
- Ma, Y. (2024). Analysis Learning Motivation from Internal and External Perspectives: Recommendations Based on Maslow's Hierarchy of Needs Theory. *Lecture Notes in Education Psychology and Public Media*, 39(1), 119–125. <https://doi.org/10.54254/2753-7048/39/20240688>
- Manrique, M., Mondragón, I. F., Flórez-Valencia, L., Montoya, L., García, A., Mera, C. A., Kuhlmann, A., Guillén, F., Cortés, M., & Gutiérrez Gómez, M. L. (2024). Haptic experience to significantly motivate anatomy learning in medical students. *BMC Medical Education*, 24(1), 946. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05829-w>
- Martinez, M. E., & Gomez, V. (2025). Active Learning Strategies: A Mini Review of Evidence-Based Approaches. *Acta Pedagogica Asiana*, 4(1), 43–54. <https://doi.org/10.53623/apga.v4i1.555>
- Muttaqien, M. I., Yulistini, Y., & Afriani, N. (2022). Gambaran Motivasi Belajar Mahasiswa Kedokteran Universitas Andalas selama Pandemi COVID-19. *Jurnal Ilmu Kesehatan Indonesia*, 2(3), 142–148. <https://doi.org/10.25077/jikesi.v2i3.349>
- Neli Permatasari, Hilda Mardiyana, Kurniasari Ambar, Kurniasari Sulistyorini, & Rina Hidayati Pratiwi. (2025). Inovasi Metode Pembelajaran untuk Meningkatkan Motivasi dan Pemahaman Siswa dalam Mempelajari Morfologi, Anatomi, dan Fisiologi Makhluh Hidup : Literature Review. *Jurnal Pendidikan Kimia, Fisika Dan Biologi*, 1(5), 40–47. <https://doi.org/10.61132/jupenkifb.v1i5.612>
- Ngwira, F. F., Emagnaw, A. B., Taibe, P., & Adamseged, H. Y. (2018). The Role of Intrinsic Goal Orientation on Medical and Allied Health Students' Deep Learning Approach. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research (ASSEHR)*, 127, 42–49.
- Nugraha, Z. S., Khadafianto, F., & Fidianingsih, I. (2019). Refleksi Pembelajaran Anatomi pada Mahasiswa Kedokteran Fase Ketiga melalui Applied and Clinical Question. *Refleksi Pembelajaran Inovatif*, 1(1), 21–27. <https://doi.org/10.20885/rpi.vol1.iss1.art3>

- Odontides, L., Scheiter, K., Shiozawa, T., Fischer, M. R., Kugelmann, D., & Berndt, M. (2024). Influence of learning strategies and motivation on anatomy test performance of undergraduate medical students. *Annals of Anatomy*, 256, 152320. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2024.152320>
- Ortadeveci, A., & Ozden, H. (2023). Social media as a learning tool in anatomy education from the perspective of medical and dental students. *Clinical Anatomy*, 36(5), 809–817. <https://doi.org/10.1002/ca.24046>
- Pradiri, A. P., Hendriani, W., & Surjaningrum, E. R. (2021). Studi Kualitatif dalam Kajian Stres Akademik. *INSAN Jurnal Psikologi Dan Kesehatan Mental*, 6(2), 79. <https://doi.org/10.20473/jpkm.v6i22021.79-89>
- Rahimipour, M., Haghjoo, R., Mosalanejad, L., & Karimian, Z. (2025). Play to learn: Innovating embryology education through a web-based gamification platform and evaluating its effects on medical students' reaction, learning, and behavior. *BMC Medical Education*, 25(1), 1321. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07922-0>
- Rao Bhagavathula, V., Bhagavathula, V., Moinis, R. S., & Chaudhuri, J. D. (2022). The integration of prelaboratory assignments within neuroanatomy augments academic performance, increases engagement, and enhances intrinsic motivation in students. *Anatomical Sciences Education*, 15(3), 576–586. <https://doi.org/10.1002/ase.2084>
- Rizma Fithri, Endang Wahyuni, & Nabilah Rizki Amalia. (2025). Bagaimana Perceived Challenges Mahasiswa Kedokteran untuk Mencapai Flow Academic? *Jurnal Penelitian Psikologi*, 16(1), 44–51. <https://doi.org/10.29080/jpp.v16i1.1409>
- Ruffin, M. A., Tudor, R. N., & Beier, M. E. (2024). Prompting Strategy Use and Beyond: Examining the Relationships between Elaboration, Quantity, and Diversity of Learning Strategies on Performance. *Behavioral Sciences*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/bs14090764>
- Sadewa, D., Kurniawan, bagas C., Yaqin, A. N., & Indi, A. J. A. (2023). The Effectiveness of Anatomy Online Learning on Cognitive Learning Outcomes of Medical Students in Indonesia. *Proceeding of The 16th Continuing Medical Education Faculty Of Medicine Universitas Muhammadiyah Surakarta (CME FK-UMS)*, 11(12), 644–653.
- Sarkar, S., Verma, R., & Singh, S. (2022). Faculty and students' perceptions on experiential learning-based anatomy dissection hall sessions for medical undergraduates. *Advances in Medical Education and Practice*, 13, 543–554. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S359140>
- Sidabutar, M., Aidilisyah, M. R., Yuni, K. A., & Nadya, I. U. (2020). Pengaruh Motivasi Belajar Terhadap Prestasi Akademik Mahasiswa. *Jurnal EPISTEMA*, 1(2), 117–125.
- Singh, K., Bharatha, A., Sa, B., Adams, O. P., & Majumder, M. A. A. (2019). Teaching anatomy using an active and engaging learning strategy. *BMC Medical Education*, 19(1), 149. <https://doi.org/10.1186/s12909-019-1590-2>

- Strong, B. (2023). Retrieval, repetition, and retention: unveiling vocabulary acquisition strategies for ESL learners. *Arts & Humanities Open Access Journal*, 5(3), 185–190. <https://doi.org/10.15406/ahoaj.2023.05.00206>
- Tello-Mendoza, R., Alvarez-Lozada, L. A., Guzman-Lopez, S., Quiroga-Garza, A., Salinas-Alvarez, Y., Elizondo-Omana, R. E., & Morton, D. A. (2025). The paper puzzle as an active learning tool in the teaching of anatomy: A qualitative study of perceptions in students and near-peer teachers. *Anatomical Sciences Education*. <https://doi.org/10.1002/ase.70112>
- Triepels, C. P. R., Smeets, C. F. A., Notten, K. J. B., Kruitwagen, R. F. P. M., Futterer, J. J., Vergeldt, T. F. M., & Van Kuijk, S. M. J. (2020). Does three-dimensional anatomy improve student understanding? *Clinical Anatomy*, 33(1), 25–33. <https://doi.org/10.1002/ca.23405>
- Trinura Novitasari, A. (2023). Motivasi Belajar sebagai Faktor Intrinsik Peserta Didik dalam Pencapaian Hasil Belajar. *Journal on Education*, 05(02), 5110–5118.
- Utami, P., Hastami, Y., Munawaroh, S., & Wiyono, N. (2021). Efektivitas Media Pembelajaran Anatomi Kadaver Dibandingkan Video Terhadap Pemahaman Neuroanatomi pada Mahasiswa Kedokteran. *Smart Society Empowerment Journal*, 1(1), 26. <https://doi.org/10.20961/ssej.v1i1.48598>
- Weimer, J. M., Rink, M., Vieth, T., Lauff, J., Weimer, A., Müller, L., Stäuber, M., Reder, S. R., Buggenhagen, H., Bellhäuser, H., Kloeckner, R., Künzel, J., Hoffmann, E. M., & Würde, A. (2023). Development and evaluation of a point-of-care ocular ultrasound curriculum for medical students: A proof-of-concept study. *BMC Medical Education*, 23(1), 723. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04723-1>

Literature Review

Perkembangan Ilmu Histologi Hingga Masa Artificial Intelligence Pada Darah Secara Normal Maupun Abnormal/Patologis

Roro Dewi Sekar Ayu Wicaksono¹, Ruwaidah Khoirun Niswah¹, Raja Ibrahim Ramadhan W¹, Fazrin Rahma Anggrainy¹, Zuhro Aribatun Rosyidah¹, Ragil Nurmuhammad B¹, Arras Puspawati¹, Lega Rahmadani¹, Aninnur Qotrunnada F.Z¹, Allief Rahman¹, Nur Mujaddidah Mochtar²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Histologi, Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Perkembangan histologi sel darah dengan menggunakan teknik apusan darah tepi yang berlangsung sejak abad ke-18 hingga di zaman artificial intelligence (AI) memberikan dampak yang signifikan terhadap perkembangan ilmu kedokteran klinik dalam menganalisis morfologi abnormal/kelainan sel darah atau histopatologi darah. Tujuan dari jurnal ini, untuk mengkaji perkembangan teknologi dalam identifikasi morfologi sel darah, normal dan abnormal/patologis, hingga pada masa AI. Dengan menggunakan metode analisis beberapa jurnal yang berkaitan dengan modernisasi teknologi hemato-histopatologi, didapatkan beberapa penemuan antara lain, Generative Adversarial Networks (GAN) yang mampu mengatasi perbedaan pewarnaan, Cella Vision Proficiency Software yang merupakan sebuah sistem digital untuk menjamin kesesuaian klasifikasi sel darah, teknologi Convolutional Neural Networks (CNN) memungkinkan proses pembelajaran karakteristik sel dilakukan secara otomatis dan mendalam, serta CLARITY dan metode serupa yang memungkinkan visualisasi jaringan utuh tanpa perlu pemotongan berulang.

Kata kunci: Perkembangan histologi sel darah, artificial intelligence (AI), hemato-histopatologi

ABSTRACT

The development of blood cell histology, using peripheral blood smears, which has occurred since the 18th century and continued into the era of artificial intelligence (AI), has significantly impacted clinical medicine education in the analysis of abnormal blood cell morphology and histopathology. The purpose of this journal is to examine the development of technology in identifying blood cell morphology, both normal and abnormal/pathological, up to the AI era. By using some modernization technology of hemato-histopathology-related journals for the method, which led to some inventions, including Generative Adversarial Networks (GAN) that cope with different stains, Cella Vision Proficiency Software, which is a digital system to ensure suitable classification of blood cells, Convolutional Neural Networks (CNN) technology that allows the study of characteristics of cell process to be carried out automatically and in depth, furthermore, CLARITY and similar method that enable to united visualize a tissue without repeat slicing.

Keywords: *The development of blood cell histology, artificial intelligence (AI), hemato-histopathology*

Correspondence: dewiskryu@gmail.com

PENDAHULUAN

Ilmu histologi merupakan cabang ilmu dasar kedokteran yang mempelajari struktur sel dan jaringan tubuh secara mikroskopis. Pemahaman histologi sangat penting karena perubahan struktur sel dan jaringan sering kali menjadi dasar terjadinya gangguan fungsi organ dan berbagai kondisi patologis (Colanna, 2023; Maria et al., 2021). Histologi darah mempelajari bentuk dan ukuran pada eritrosit, leukosit, dan trombosit. Histologi darah sangatlah berperan dalam mengetahui berbagai bentuk dan perubahan bentuk dan ukuran pada sel darah serta dapat menjadi indikator dalam berbagai penyakit hematologis, baik dalam kondisi normal maupun abnormal (Tyrrell et al., 2022).

Perkembangan ilmu histologi telah berlangsung sejak abad ke-18 seiring dengan ditemukannya mikroskop optik, dan terus mengalami kemajuan signifikan pada abad ke-20 melalui penyempurnaan teknik pewarnaan dan preparasi jaringan (Alturkistani et al., 2016). Dalam pendidikan kedokteran, pembelajaran histologi darah secara konvensional dilakukan melalui praktikum mikroskopik untuk mengamati preparat darah tepi dan sumsum tulang (Sannipoli et al., 2023). Metode ini efektif dalam melatih keterampilan dasar mahasiswa, namun memiliki keterbatasan, seperti kualitas preparat yang bervariasi, keterbatasan alat, serta waktu praktikum yang terbatas (X. Liu et al., 2025).

Memasuki abad ke-21, kemajuan teknologi digital dan kecerdasan buatan (AI) telah membawa perubahan signifikan dalam bidang histologi. Pembelajaran histologi dapat lebih terbantu dengan adanya penerapan Artificial Intelligence ini dengan diubah menjadi tampilan visual beresolusi tinggi sehingga dapat memudahkan akses serta analisisnya (Hu et al., n.d.). Artificial Intelligence dapat menjadi alat bantu untuk mengidentifikasi sel darah normal dan abnormal secara akurat dan konsisten (X. Liu et al., 2025; (Hu et al., n.d.). Artificial Intelligence juga dapat membantu dalam memahami perbedaan morfologi sel yang lebih jelas, interaktif, dan fleksibel tanpa bergantung sepenuhnya pada praktikum laboratorium (X. Liu et al., 2025). Meskipun Artificial Intelligence memiliki banyak keunggulan, tetapi penerapan dalam pembelajaran histologi tidak dimaksudkan untuk menggantikan cara pemeriksaan secara manual, sehingga pembelajaran berbasis mikroskop dan teknologi Artificial Intelligence ini menjadi pendekatan yang lebih mudah dan efektif. Literatur review ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan ilmu histologi darah dari masa awal hingga era Artificial Intelligence serta penerapannya dalam kajian klinikal histologi darah normal dan abnormal.

LITERATUR REVIEW

Perkembangan ilmu histologi dahulu

Pada awal penemuan mikroskop perkembangan histologi memungkinkan pada definisi struktur jaringan. Pada tahap ini, histologi lebih bersifat deskriptif dan seringkali dianggap ilmu pendukung anatomi. Namun, sejak awal sudah disadari bahwa bentuk sel dan jaringan memiliki kaitan erat dengan fungsi biologisnya dan dapat menunjukkan kondisi normal maupun patologis suatu organ.

Perkembangan teknologi mikroskop, seperti elektron mikroskop, mikroskop konfokal, dan teknik super-resolusi yang membawa perubahan besar dalam histologi. Dimana elektron mikroskop adalah alat yang dapat menghasilkan gambar objek dengan perbesaran dan resolusi

yang sangat tinggi, sedangkan mikroskop konfokal adalah mikroskop yang menggunakan laser dan pinhole atau lubang jarum yang dapat menghasilkan gambar 3D yang beresolusi tinggi dan kontras tinggi dengan mengeliminasi cahaya yang tidak fokus. Dengan menggunakan teknologi ini, histologi tidak hanya terbatas pada pengamatan jaringan mati, tetapi dapat mempelajari sel yang hidup dan proses biologis yang berlangsung secara dinamis.

Selain itu, metode analisis dalam histologi juga mengalami transformasi dari pendekatan subjektif yang mengarah ke metode kuantitatif berbasis pencitraan digital dan analisis komputer. Hal ini memungkinkan data histologis menjadi lebih terukur, objektif, dan dapat dianalisis secara statistik. Teknik seperti imunohistokimia dan penandaan dengan fluoresen memungkinkan diferensiasi sel berdasarkan ekspresi protein atau gen tertentu, yang sangat berkontribusi dalam penelitian kanker, imunologi, dan pengembangan terapi sel.

Dengan demikian, histologi modern tidak hanya berfokus pada deskripsi morfologi jaringan, tetapi juga memiliki nilai besar dalam penelitian biomedis, diagnosis, dan pengembangan terapi yang personalized. Pada akhirnya histologi telah berkembang menjadi bidang ilmu yang strategis dalam perkembangan ilmu kedokteran dan biologi modern (Maria Mazzarini, Mario Falchi, Daniele Bani, 2021).

Ilmu histologi juga berkembang melalui proses yang panjang dan juga bertahap. Pada awal perkembangannya, teknik histologi masih sederhana dan banyak menggunakan bahan kimia yang mudah ditemukan, seperti alkohol dan zat tertentu yang berfungsi untuk mengeraskan jaringan. Walaupun peralatan dan metode yang digunakan saat itu masih terbatas, teknik awal tersebut memiliki peran penting sebagai dasar bagi perkembangan histologi pada masa berikutnya. Seiring meningkatnya kebutuhan dalam mendiagnosis penyakit, teknik pewarnaan jaringan mulai mengalami banyak perubahan, yang mengarah ke berbagai jenis pewarnaan, seperti hematoksilin, eosin, carmine, dan pewarnaan perak, dan mulai digunakan untuk membantu memperjelas bentuk serta struktur sel dan jaringan. Selain itu, penggunaan kombinasi dari beberapa teknik pewarnaan juga dilakukan agar hasil pengamatan di bawah mikroskop menjadi lebih jelas dan mudah dianalisis. Oleh karena itu, tidak semuanya teknik yang lama bisa terus dipertahankan. Beberapa metode pewarnaan ditinggalkan karena bahan kimia yang digunakan terbukti berisiko bagi kesehatan. Selain itu, meningkatnya aktivitas dan beban kerja di laboratorium juga mendorong perlunya metode yang lebih praktis, aman, dan efisien.

Teknik histologi juga mengalami perkembangan yang signifikan, dari teknik pewarnaan sederhana hingga teknik modern seperti frozen section dan imunohistokimia. Teknik pewarnaan sederhana sendiri adalah metode mikrobiologi dasar yang menggunakan satu jenis zat warna (seperti *Crystal Violet*, Metilen Biru, atau Karbol Fuchsin) untuk meningkatkan kontras sel bakteri, sehingga morfologi (bentuk seperti batang, bulat, koma) sehingga susunannya lebih jelas terlihat di bawah mikroskop, sedangkan teknik pewarnaan modern dalam histologi meliputi metode canggih seperti imunohistokimia yang menggunakan antibodi berlabel untuk identifikasi molekuler spesifik, Hibridisasi In Situ (ISH) yang mendeteksi urutan DNA/RNA, dan teknik pewarnaan khusus seperti PAS (karbohidrat), Masson Trichrome (jaringan ikat), Toluidine Blue, dan Metode Perak (Golgi) untuk struktur spesifik, serta teknik baru seperti Pewarnaan Virtual berbasis AI yang menjanjikan untuk simulasi

digital Penggunaan teknologi digital dan analisis citra berbasis computer juga meningkatkan ketepatan hasil pemeriksaan dan efisiensi kerja di laboratorium (Javaeed et al., 2021).

Teknik histologi terutama dalam proses pewarnaan jaringan, yang mengalami perkembangan cukup jelas. Pada awal pewarnaan jaringan dilakukan dengan cara sederhana yang bertujuan untuk membantu melihat bentuk dasar sel. Dalam berkembangnya teknologi mikroskop yang bisa memahami tentang berbagai penyakit dan juga teknik pewarnaan yang mulai mengalami peningkatan, seperti hematoksilin-eosin dan pewarnaan gram. Selain itu, teknik pewarnaan lain seperti Ziehl-neelsen dan pewarnaan khusus juga dikembangkan untuk mendukung identifikasi penyakit tertentu, termasuk infeksi bakteri dan tuberkulosis.

Teknik histologi juga mengalami perkembangan yang signifikan, dari teknik pewarnaan sederhana hingga teknik modern seperti frozen section dan imunohistokimia. Penggunaan teknologi digital dan analisis citra berbasis komputer juga meningkatkan ketepatan hasil pemeriksaan dan efisiensi kerja di laboratorium.

Perkembangan selanjutnya ditandai dengan munculnya teknik histologi modern, seperti frozen section dan imunohistokimia. Frozen section sendiri adalah teknik pemeriksaan jaringan cepat saat operasi untuk membantu dokter bedah membuat keputusan secara langsung. Sementara itu, imunohistokimia adalah teknik laboratorium yang menggabungkan prinsip imunologi dan kimia untuk mendeteksi keberadaan, lokasi, dan jumlah antigen (protein) tertentu dalam sel atau sampel jaringan, yang berguna untuk diagnosis kanker dan penentuan asal suatu penyakit.

Selain perkembangan teknik pemeriksaan, ada juga peran teknologi dalam histologi modern yang membahas tentang landasan utama bagi pengobatan presisi dan juga membahas tentang diagnosis penyakit yang lebih cepat serta akurat. Selain itu, penggunaan teknologi digital juga menganalisis gambar yang berbasis komputer, serta digital pathology yang mulai diterapkan untuk peningkatan akurasi hasil pemeriksaan dari efisiensi kerja di laboratorium dan sesuai dengan kebutuhan pelayanan kesehatan yang menuntut hasil pemeriksaan yang cepat, tepat, dan efisien.(Alturkistani et al., 2016)

Histologi merupakan bidang ilmu biomedis yang berfokus pada jaringan dan organ pada tingkat mikroskopik. Melalui histologi, hubungan antara struktur seluler dan fungsi biologis dapat dipahami secara lebih mendalam, baik dalam kondisi normal maupun pada keadaan patologis. Peran histologi sangat penting dalam ilmu kesehatan karena menjadi dasar bagi pemahaman mekanisme penyakit. Seiring berjalannya waktu, histologi tidak berkembang secara statis, tetapi mengalami perubahan signifikan yang dipengaruhi oleh kemajuan teknologi serta perubahan cara pandang ilmiah (*Tissue Histology in 3D*, 2024)

Penemuan mikroskop menjadi awal penting berkembangnya ilmu histologi karena para ilmuwan dapat melihat struktur jaringan secara langsung. Pada awalnya, histologi hanya berfokus pada pengamatan bentuk jaringan dan berfungsi sebagai pendukung ilmu anatomi. Namun, sejak awal sudah dipahami bahwa bentuk sel dan jaringan sangat berkaitan dengan fungsinya serta dapat menunjukkan kondisi normal maupun penyakit pada organ. Dengan berkembangnya teknologi, berbagai jenis mikroskop modern seperti mikroskop elektron, konfokal, dan super-resolusi mulai digunakan sehingga pengamatan dapat dilakukan dengan

tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Hal ini membuat kajian histologi tidak hanya terbatas pada jaringan mati, tetapi juga mencakup sel hidup dan proses biologis yang sedang berlangsung.

Selain alat yang semakin canggih, cara analisis dalam histologi juga mengalami banyak perubahan. Metode yang sebelumnya hanya mengandalkan penilaian subjektif kini berkembang menjadi analisis kuantitatif menggunakan pencitraan digital dan teknologi komputer. Teknik pewarnaan jaringan juga semakin beragam, mulai dari pewarnaan dasar hingga metode yang lebih spesifik seperti hematoksin-eosin, pewarnaan perak, imunohistokimia, dan fluoresensi. Penelitian kanker, imunologi, dan pengembangan terapi dapat diidentifikasi melalui perkembangan Artificial Intelligence . Selain itu, faktor keselamatan kerja turut mendorong ditinggalkannya beberapa metode lama yang berisiko bagi kesehatan.

Pemanfaatan teknologi digital, analisis citra berbasis komputer, dan patologi digital semakin memberikan hasil pemeriksaan serta efisiensi kerja di laboratorium dengan lebih tepat. Dengan adanya Artificial Intelligence ini, histologi tidak hanya sekadar mempelajari bentuk jaringan, tetapi telah menjadi bidang penting dalam penegakan diagnosis, pengobatan yang lebih tepat sasaran, dan perkembangan ilmu kedokteran modern.

Pada awal abad ke-20, histologi masih berfokus pada pendekatan morfologi klasik. Pemeriksaan jaringan dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya serta teknik pewarnaan dasar, seperti hematoksin-eosin dan berbagai metode trikom. Tujuan utama pada masa ini adalah mengenali dan mendeskripsikan struktur jaringan normal serta membedakannya dari jaringan yang mengalami kelainan. Pendekatan tersebut sangat membantu dalam membangun pemahaman awal mengenai organisasi jaringan tubuh, meskipun informasi yang diperoleh masih terbatas pada aspek bentuk dan susunan sel (Baskin, 2024).

Perkembangan histologi mulai menunjukkan arah baru ketika histokimia diperkenalkan. Melalui histokimia, komponen kimia dan aktivitas enzim dalam jaringan dapat divisualisasikan secara langsung. histokimia enzimatik khususnya, memberikan kontribusi besar karena memungkinkan peneliti mengamati proses biokimia yang terjadi di dalam jaringan. Salah satu tokoh yang berperan penting dalam fase ini adalah George Gomori, yang mengembangkan metode untuk mendeteksi aktivitas enzim tertentu. Kehadiran histokimia menandai pergeseran penting, di mana histologi tidak lagi hanya menggambarkan struktur, tetapi mulai mengaitkannya dengan fungsi biologis (Baskin, 2024).

Pada pertengahan abad ke-20, histokimia semakin memperkuat posisinya sebagai penghubung antara histologi dan biokimia. Berbagai teknik pewarnaan khusus dikembangkan untuk mengenali jenis sel tertentu secara lebih spesifik, termasuk pada jaringan endokrin. Meskipun banyak teknik klasik tersebut kemudian tergantikan oleh metode yang lebih modern, perannya tetap penting dalam membentuk dasar pemikiran histologi modern. Periode ini dapat dianggap sebagai fase fondasional yang mempersiapkan histologi menuju pendekatan yang lebih kompleks (Baskin, 2024).

Perubahan besar mulai terlihat pada akhir abad ke-20 dengan berkembangnya imunohistokimia. Teknik ini memungkinkan deteksi protein tertentu di dalam jaringan melalui penggunaan antibodi spesifik. Dengan demikian, analisis jaringan menjadi lebih selektif dan informatif. Histologi tidak lagi sekadar alat untuk melihat struktur, tetapi berkembang menjadi metode yang berperan penting dalam diagnosis penyakit, penentuan prognosis, serta penelitian berbasis molekuler. Integrasi histologi dengan biologi sel dan genetika semakin memperluas cakupan dan aplikasinya dalam dunia medis (Santacroce et al., 2025).

Memasuki abad ke-21, histologi mengalami perkembangan yang lebih revolusioner melalui pengenalan pendekatan tiga dimensi. Selama bertahun-tahun, analisis histologi dilakukan pada irisan jaringan dua dimensi. Pendekatan ini memang informatif, namun sering kali tidak mampu merepresentasikan hubungan spasial antar sel secara utuh. Padahal, jaringan dan organ memiliki struktur tiga dimensi yang kompleks, di mana posisi dan interaksi sel sangat menentukan fungsi biologis (*Tissue Histology in 3D*, 2024).

Kemajuan teknologi tissue clearing, seperti CLARITY dan metode serupa, memungkinkan visualisasi jaringan utuh tanpa perlu pemotongan berulang. Ketika dikombinasikan dengan teknik pencitraan modern, seperti *light-sheet microscopy*, pendekatan ini menghasilkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai organisasi seluler dan molekuler. Histologi tiga dimensi menjadi sangat relevan dalam penelitian jaringan kompleks, seperti otak, perkembangan embrio, serta proses penyebaran sel kanker (*Tissue Histology in 3D*, 2024).

Namun, peningkatan resolusi dan skala data yang dihasilkan oleh histologi modern juga membawa tantangan baru. Data yang sangat besar dan kompleks memerlukan metode analisis yang lebih canggih. Oleh karena itu, histologi abad ke-21 tidak dapat dipisahkan dari perkembangan ilmu komputasi. Pemanfaatan kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin memungkinkan analisis jaringan dilakukan secara lebih objektif dan kuantitatif, mulai dari segmentasi sel hingga analisis hubungan spasial antar sel (Santacroce et al., 2025).

Seiring dengan perkembangan tersebut, histologi modern semakin terintegrasi dalam ekosistem ilmu biomedis yang lebih luas. Pendekatan seperti cellomics dan spatial omics menunjukkan bahwa kajian jaringan kini tidak hanya berfokus pada struktur, tetapi juga mencakup identitas sel, lokasi, serta interaksi fungsionalnya. Dengan pendekatan yang lebih holistik ini, histologi berperan sebagai penghubung antara data molekuler dan konteks struktural jaringan.

Secara keseluruhan, perkembangan ilmu histologi dari abad ke-20 hingga abad ke-21 menunjukkan transformasi yang mendalam (Baskin, 2024). Dari pendekatan morfologis klasik, histologi berkembang menjadi disiplin multidimensional yang memanfaatkan teknologi molekuler, pencitraan canggih, dan analisis komputasi (*Tissue Histology in 3D*, 2024). Transformasi ini tidak hanya meningkatkan pemahaman mengenai struktur dan fungsi jaringan, tetapi juga memperkuat peran histologi dalam penelitian biomedis serta praktik klinis modern (Santacroce et al., 2025).

Perkembangan ilmu histologi di era artificial intelligence (AI)

Perkembangan hematologi di zaman modern tentunya tidak dapat dipisahkan dari kemajuan teknologi yang terus berkembang pesat salah satunya “*Nanoscale Insights into Hematology*” yang membahas pendekatan nanosains terhadap pemahaman baru yang terdapat pada struktur, fungsi, dan patofisiologi di tingkat molekuler. Analisis konvensional yang difasilitasi mikroskop bercahaya mempunyai keterbatasan di dalam mendeteksi perubahan ultrastructural darah, dengan cara memanfaatkan nanoteknologi dengan baik dan sesuai aturan, seperti nanopartikel, nanobiosensor, dan teknik pencitraan resolusi tinggi, peneliti mampu mengamati interaksi molekul dengan baik, deformabilitas, membran eritrosit, serta dinamika sitoskeleton sel darah secara lebih presisi (Naouali, 2025).

Peran nanomaterial dalam bidang terapi dan diagnosis semakin berkembang, salah satunya melalui penggunaan nanopartikel magnetik untuk deteksi dini leukemia serta pengiriman obat yang lebih terarah. Kontribusi utama teknologi nanoskal tidak hanya bersifat eksperimental, tetapi juga memiliki potensi translasi klinis yang sangat kuat dalam meningkatkan akurasi diagnosis dan personalisasi terapi. Selain itu, pendekatan ini membantu memperdalam pemahaman mekanisme penyakit darah secara lebih komprehensif sehingga dapat mempermudah penanganan klinis. Pada bagian “*AI-Powered Platform Revolutionizing Blood Cell Analysis*”, ditekankan pemanfaatan kecerdasan buatan sebagai alat transformasional dalam analisis sel darah. Pengembangan platform berbasis kecerdasan buatan memungkinkan otomatisasi proses identifikasi, klasifikasi, dan interpretasi morfologi berbagai jenis sel darah, seperti leukosit, trombosit, neutrofil, dan basofil, yang sebelumnya sangat bergantung pada keahlian analis laboratorium. Dengan penerapan *deep learning* dan *convolutional neural networks*, analisis sel darah dapat dilakukan secara lebih cepat, objektif, dan akurat (X. Liu et al., 2025).

Setiap sistem yang diusulkan bertujuan untuk mengenali berbagai jenis sel darah beserta variasi abnormalitasnya dengan tingkat akurasi yang memadai. Keunggulan utama dari platform ini terletak pada kemampuannya dalam mengurangi subjektivitas manusia, mempercepat waktu diagnosis, serta meningkatkan konsistensi hasil pemeriksaan. Selain itu, jurnal ini menekankan nilai edukatif dari platform berbasis kecerdasan buatan, khususnya dalam konteks pelatihan mahasiswa kedokteran dan tenaga laboratorium, meskipun tetap memiliki beberapa keterbatasan. Melalui visualisasi interaktif dan pemberian umpan balik (*feedback*), pengguna dapat memahami perbedaan morfologi sel darah normal dan patologis secara lebih sistematis dan rinci. Artikel ini juga menegaskan bahwa kecerdasan buatan tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu diagnostik, tetapi juga sebagai sarana pembelajaran yang adaptif dan berkelanjutan.

Keterbatasan akses layanan hematologi di daerah terpencil dengan sumber daya yang minim membutuhkan solusi berupa sistem otomatis berbasis kecerdasan buatan, yang mengintegrasikan segmentasi, klasifikasi, *transfer learning*, dan *zero-shot learning*, mampu mendeteksi kelainan darah melalui citra apusan darah. Sistem ini memanfaatkan arsitektur YOLO v11 untuk proses segmentasi dan ResNet-50 untuk klasifikasi, serta menunjukkan performa yang sangat tinggi dengan nilai presisi, *recall*, dan *F1-score* yang mendekati optimal. Kontribusi utama terletak pada orientasinya terhadap layanan *telehealth*, hasil analisis dapat

dilakukan dan diinterpretasikan secara jarak jauh oleh tenaga kesehatan sehingga memungkinkan penanganan dini penyakit hematologis. Selain itu, penerapan *explainable AI* seperti Grad-CAM turut meningkatkan kepercayaan klinis terhadap hasil sistem, karena keputusan model dapat ditelusuri secara rasional dan visual (J. Liu et al., 2024).

Hematologi sedang mengalami pergeseran paradigma dari pendekatan manual dan konvensional menuju sistem yang lebih presisi, otomatis, dan berbasis teknologi. Integrasi nanosains dan kecerdasan buatan tidak hanya memperkaya pemahaman ilmiah mengenai sel darah, tetapi juga memberikan dampak nyata terhadap praktik klinis, pendidikan, dan pemerataan layanan kesehatan. Dengan adanya penelitian lanjutan serta kolaborasi multidisipliner, inovasi yang diusulkan dalam jurnal-jurnal ini berpotensi menjadi standar baru dalam diagnosis dan manajemen penyakit di masa depan. Namun demikian, penggunaan kecerdasan buatan tetap harus dilakukan secara bijak, proporsional, dan sesuai kebutuhan, tanpa menggantikan sepenuhnya peran penilaian klinis manusia.

Klinikal histologi pada darah secara normal

Secara klinis dan histologis, darah normal memperlihatkan hasil akhir dari proses pembentukan darah yang berkesinambungan, terkendali dengan baik, dan memperlihatkan keseimbangan yang baik pada proses pembentukan, pematangan, serta pemeliharaan sel darah yang berlangsung di sumsum tulang. Jumlah sel yang berada dalam batas fisiologis tidak hanya menentukan kondisi darah normal, tetapi juga terjaganya morfologi sel, karakteristik mekanis, serta tingkat keseragaman relatif populasi sel darah, yang secara keseluruhan mencerminkan kestabilan sistem hematologi (Notta et al., 2016).

Eritrosit merupakan komponen seluler darah yang paling melimpah dan berfungsi sebagai indikator utama histologi darah normal. Eritrosit normal terlihat berbentuk cakram bikonkaf dan penyebaran hemoglobin yang merata juga mampu mendukung fungsi optimal dalam transport oksigen. Selain itu, tingginya kemampuan deformasi membran eritrosit memungkinkan sel tersebut melintasi kapiler yang sempit serta sinusoid limpa tanpa mengalami kerusakan struktural, sehingga menunjang kelangsungan hidup eritrosit secara normal di dalam sirkulasi (Notta et al., 2016).

Stabilitas mekanis dan morfologi eritrosit normal berkaitan erat dengan integritas membran sel dan sistem sitoskeleton. Interaksi yang stabil antara lipid membran, protein transmembran, dan komponen sitoskeleton seperti spektrin dan ankirin memainkan peran penting dalam menjaga elastisitas sel dan ketahanan terhadap stres mekanik. Interaksi ini memastikan eritrosit tetap mempertahankan bentuknya saat bersirkulasi melalui sistem vaskular. Secara klinis, tampilan histologis eritrosit dalam kondisi normal menunjukkan adanya keseimbangan yang erat antara struktur dan fungsi yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan hematologis. Oleh karena itu, terpeliharanya karakteristik struktural eritrosit menjadi hal yang sangat penting, karena setiap perubahan dapat mengganggu fungsi sel dan berpotensi menimbulkan kondisi patologis (Lu & Lee, 2023).

Tidak hanya eritrosit, darah dapat dikatakan normal juga ketika adanya sekumpulan leukosit yang seimbang dan produksi trombosit yang stabil. Keragaman morfologi leukosit yang sesuai dengan fungsi imun spesifiknya, namun proporsinya tetap relatif konsisten di bawah kondisi fisiologis. Trombosit, yang memainkan peran sentral dalam hemostasis,

diproduksi secara terus-menerus dalam jumlah yang cukup untuk mempertahankan pembekuan darah yang normal sembari menjaga aliran darah tetap lancar. Stabilitas populasi leukosit dan trombosit yang diamati pada darah normal mengindikasikan regulasi hematopoiesis yang efektif. Sedangkan secara histologis dan fungsional, darah normal adalah hasil dari hematopoiesis yang tidak sepenuhnya mengikuti hierarki linear klasik. Pembentukan sel darah berjalan secara terus menerus dan beradaptasi dengan tahapan perkembangan. Pada orang dewasa, terdapat sel-sel matang yang berasal dari progenitor unipoten, khususnya eritrosit dan sel myeloid, sementara progenitor oligopoten relatif jarang ditemukan. Pola ini menunjukkan bahwa hematopoiesis sumsum tulang orang dewasa terutama beroperasi melalui sistem hierarki dua tingkat, dengan sel punca hematopoietik sebagai sumber utama dan progenitor yang berkomitmen pada garis keturunan (lineage) menghasilkan sel darah matang (Heuts & Martens, 2023).

Secara fisiologis, interaksi yang terkoordinasi antara faktor transkripsi, elemen DNA pengatur, dan modifikasi epigenetik yang memandu nasib sel serta memastikan perkembangan sel darah yang tepat juga terlibat dalam mekanisme regulasi molekular yang kompleks, sehingga terjadi keseimbangan antara proliferasi, diferensiasi, dan pematangan sel. Dari sudut pandang histologi klinis, darah normal tidak boleh dianggap sebagai sistem yang statis atau seragam, melainkan sebagai heterogenitas fisiologis yang teregulasi yang variasinya tetap berada dalam batas-batas yang terkendali (Heuts & Martens, 2023)

Kemajuan dalam teknik molekular dan analisis sel tunggal (single-cell analysis) telah memperluas pemahaman tentang komposisi darah normal. Pendekatan ini menunjukkan bahwa variasi dalam ekspresi gen dan karakteristik seluler adalah bagian dari fisiologi normal selama mekanisme regulasi tetap utuh. Akibatnya, evaluasi darah normal harus mempertimbangkan tidak hanya morfologi sel individu tetapi juga stabilitas dan organisasi keseluruhan dari populasi sel darah (Notta et al., 2016)

Histologi klinis pada darah normal menggambarkan keterpaduan antara struktur sel yang tetap terpelihara, karakteristik mekanis yang optimal, proses hematopoiesis yang tersusun dengan baik, serta pengaturan molekular yang presisi. Pemahaman menyeluruh terkait aspek-aspek ini sangatlah penting untuk membedakan kondisi fisiologis dari keadaan patologis dan memberikan fondasi penting bagi evaluasi klinis, interpretasi laboratorium, serta studi mengenai penyakit hematologi (Notta et al., 2016)

Pemanfaatan kecerdasan buatan dalam kajian histologi klinik darah normal pada dasarnya bertujuan untuk memahami karakteristik sel darah dalam kondisi fisiologis secara lebih mendalam dan objektif. Dalam keadaan normal, sel-sel darah memiliki ciri morfologis yang relatif stabil dan terjaga, baik dari segi bentuk, ukuran, maupun struktur internalnya. Dengan adanya teknologi analisis modern seperti *ghost cytometry*, karakteristik morfologi ini tidak lagi hanya dinilai berdasarkan pengamatan visual di bawah mikroskop, tetapi juga dapat dikenali dan diukur secara kuantitatif (Suzuki et al., 2025). Pendekatan ini memungkinkan evaluasi darah normal dilakukan secara lebih terstruktur dan terukur, sehingga interpretasi histologis menjadi lebih sistematis dibandingkan metode konvensional yang bersifat deskriptif.

Sel darah putih (leukosit) pada darah normal menunjukkan pola struktur yang urut dan beragam, tanpa adanya perubahan morfologi halus yang mengarah ke kondisi patologis. Stabilitas fisiologis pada proses pembentukan, pematangan, dan fungsi sel darah berlangsung

secara optimal juga menunjukkan bahwa pemanfaatan kecerdasan buatan ini lebih terstruktur. Keseimbangan antara struktur dan fungsi sel yang merupakan aspek fundamental dalam mempertahankan homeostasis pada proses pembentukan darah (hematopoietic) ini juga menunjukkan terstrukturnya morfologi sel darah putih. Dan penggunaan Artificial Intelligence dalam pembelajaran histologi pada darah normal dapat digunakan sebagai alat bantu untuk memahami kondisi kenormalan pada keseluruhan sistem pembentukan darah (Suzuki et al., 2025).

Morfologi sel tunggal dapat dianalisis menggunakan kecerdasan buatan secara *label-free* yang mampu memberikan manfaat, terutama untuk evaluasi histologi pada darah normal dan analisis ini juga dapat dilakukan tanpa menggunakan pewarnaan atau penandaan khusus sehingga struktur alami sel tetap terjaga selama pemeriksaan. Sedangkan pada pendekatan konvensional cenderung masih mengandalkan penilaian pribadi dari pemeriksa. Pendekatan berbasis AI ini membantu meningkatkan objektivitas dan presisi yang lebih tinggi. Dengan begitu, dapat meminimalisasi perbedaan penilaian antar pemeriksa sehingga hasil evaluasi dapat lebih konsisten serta dapat direproduksi lebih baik (Suzuki et al., 2025).

Kestabilan pola morfologi darah normal yang konsisten mempunyai peran penting dalam pengembangan model pembelajaran berbasis Artificial Intelligence. Penggunaan pola ini digunakan sebagai acuan dalam membedakan kondisi fisiologis darah normal dari perubahan morfologi hingga adanya kelainan. Sistem Artificial Intelligence dapat memberikan sumber yang jelas terkait karakteristik pada sel darah normal (eritrosit) serta mampu mengenali perbedaan antara sel yang normal dengan sel yang mulai ada kelainan. Pendekatan ini memungkinkan deteksi awal gangguan hematologis, walaupun pemeriksaan hitung darah rutin masih memperlihatkan nilai normal (Gedefaw et al., 2023).

Secara keseluruhan, pendekatan kecerdasan buatan juga mampu memberikan kontribusi dalam memperluas pandangan terkait ciri-ciri histologis pada darah normal (Suzuki et al., 2025; Gedefaw et al., 2023). Tidak hanya dilakukan dengan analisis saja, tetapi juga dapat meningkatkan ketelitian dalam interpretasi hasil pemeriksaan. Selain itu, penggunaan AI juga membuka peluang dalam pengembangan metode skrining yang lebih efisien untuk membantu mendeteksi kelainan pada hematologis dari tahap awal. Dengan demikian, AI berfungsi sebagai salah satu alat yang penting dalam pemeriksaan laboratorium rutin dalam praktik klinik (Gedefaw et al., 2023).

Histologi klinis pada darah normal menggambarkan bentuk sel darah yang lebih terstruktur dan sesuai dengan fungsi masing-masing komponen. Eritrosit normal terlihat berbentuk cakram bikonkaf dan penyebaran hemoglobin yang merata juga mampu mendukung fungsi optimal dalam transport oksigen. Leukosit menunjukkan perbedaan struktur inti dan sitoplasma yang khas sesuai dengan jenis selnya sehingga menunjukkan peran spesifik dalam sistem imun. Selain itu, trombosit terlihat seperti fragmen sel kecil yang berperan penting dalam proses hemostasis serta menunjukkan proses hemostasis yang berlangsung secara optimal dan seimbang di dalam sumsum tulang (Gedefaw et al., 2023).

Pada bidang histologi dan hematopatologi dalam penerapan kecerdasan buatan dapat memberikan manfaat dalam proses mengidentifikasi dan menganalisis sel darah normal. Dengan adanya kecerdasan buatan ini juga dapat membantu untuk mengenali bentuk sel darah

dengan lebih akurat, terstruktur, dan lebih mudah dibandingkan hanya menggunakan penilaian manual saja. Dengan adanya rancangan kecerdasan buatan ini, macam macam penilaian antar pemeriksa dapat diminimalkan sehingga hasil evaluasi histologi pada darah normal menjadi lebih tepat dan mampu diandalkan dalam praktik klinik (Gedefaw et al., 2023).

Perkembangan teknologi AI juga telah mengubah cara analisis sel darah dilakukan. Jika sebelumnya penelitian bentuk sel darah memerlukan waktu yang lama melalui pengamatan mikroskopis manual, kini sistem digital berbasis AI mampu melakukan proses tersebut secara otomatis dan lebih tepat. Terutama ketika mendeteksi sel darah putih, sel darah merah, dan trombosit yang dapat dilakukan dengan cepat serta tingkat akurasi yang lebih tinggi (Suzuki et al., 2025; Gedefaw et al., 2023; Hu et al., n.d.). Kemampuan AI mendukung kemampuan tersebut dalam mempelajari ribuan pola pola bergambar secara detail melalui metode *deep learning*, sehingga mampu membedakan berbagai variasi morfologi sel darah secara konsisten (Gedefaw et al., 2023).

Kemampuan AI tersebut sangat membantu dalam praktik klinik, terutama dalam mendukung dokter mengenali perubahan morfologi sel yang berkaitan dengan penyakit serius seperti leukemia, anemia, atau talasemia. Namun demikian, penting untuk dipahami bahwa AI bukanlah pengganti tenaga medis. Meskipun memiliki kelebihan dalam kecepatan dan ketepatan, AI tentunya masih memiliki keterbatasan dalam mengenali temuan yang sangat spesifik dan jarang, seperti parasit malaria atau jenis sel blast tertentu yang memiliki kemiripan morfologi tinggi. Oleh karena itu, interpretasi klinis oleh tenaga medis tetap memegang peranan utama (Hu et al., n.d.).

Pada umumnya, penerapan kecerdasan buatan dalam histologi klinik pada darah normal ini memberikan peranan penting dalam memperluas pandangan dan memperkuat pemahaman terhadap karakteristik darah normal serta mampu mendeteksi perbedaan kondisi patologis. Evaluasi histologi darah dapat dilakukan secara lebih objektif, akurat, efisien dan searah dengan perkembangan modern melalui penerapan artificial intelligence. Namun demikian, kecerdasan buatan berperan sebagai alat pendukung dan tidak dimaksudkan untuk menggantikan peran dokter kolaborasi antara kecanggihan analisis AI dan ketelitian penilaian klinis tenaga medis merupakan faktor utama dalam memastikan diagnosis yang akurat, aman, dan tepat bagi pasien (Hu et al., n.d.).

Beberapa tahun setelahnya, materi yang mempelajari hematologi tentang perkembangan yang cukup pesat, terutama sejak teknologi digital dan kecerdasan buatan mulai banyak diterapkan dalam bidang medis. Pemeriksaan darah dahulu masih menggunakan cara manual dan melihat dengan tenaga laboratorium, sekarang ini mulai dibantu oleh sistem otomatis berbasis data dan algoritma (Suzuki et al., 2025).

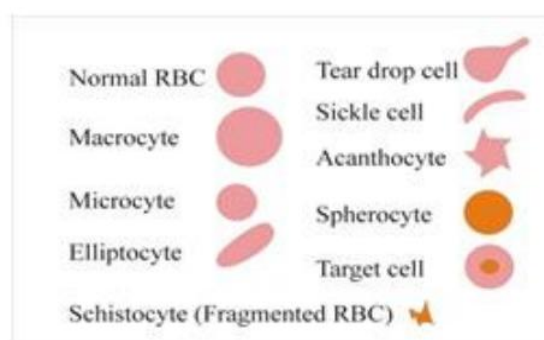
Pemanfaatan kecerdasan buatan yang digabungkan dengan teknologi ghost cytometry untuk mendeteksi leukemia myeloid kronis (CML). Penyakit dalam artikel cukup seru untuk dideteksi sejak dini karena pada awalnya, seseorang dengan kondisi darah pasien seringkali tampak normal jika dilihat dari pemeriksaan rutin. Jumlah SDP bisa saja belum menunjukkan peningkatan yang signifikan, sehingga dapat didiagnosis sering terlambat dilakukan. Menggunakan sistem terkini yaitu AI, penelitian ini mencoba melihat lebih dalam, bukan hanya dari jumlah sel, tetapi dari bentuk dan karakteristik SDP itu sendiri. Dengan bantuan algoritma

pembelajaran mesin, sistem tersebut mampu mengenali perbedaan morfologi sel darah yang sangat halus jika terus dikembangkan. proses yang dilakukan ini tanpa pewarnaan sel, sehingga lebih ringkas dan cepat. pada pasien yang sudah menjalani terapi dan jumlah sel leukemia yang sangat sedikit ini, sistem AI dapat mendeteksi adanya ciri khas CML. ini menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya berguna untuk diagnosis awal, hal ini juga berpotensi digunakan dalam pemantauan penyakit. Hal ini semakin kuat karena adanya kesesuaian antara hasil analisis AI dengan penanda molekuler BCR-ABL yang selama ini menjadi acuan utama dalam diagnosis CML. Penerapan yang mengandalkan analisis citra dan morfologi sel melalui Artificial Intelligence dengan hasil pemeriksaan molekuler yang lebih kompleks. Temuan ini membuka peluang besar untuk pengembangan metode skrining yang lebih efektif, bersifat non-invasif, dan relatif terjangkau bagi pasien (Suzuki et al., 2025).

Klinikal histologi pada darah secara abnormal

Platelet, Sel darah merah (SDM), dan sel darah putih (SDP) merupakan tiga komponen utama penyusun keseluruhan sel darah (KSD) pada manusia. Jumlah, bentuk, dan ukuran dari KSD memberikan informasi penting mengenai keadaan normal/abnormalnya KSD yang dapat membantu dokter untuk menganalisis suatu keadaan/penyakit yang berhubungan dengan darah pada manusia (Aliyu, 2017; Aliyu et al., 2019). Penyakit yang berhubungan dengan darah antara lain, thalasemia, anemia, leukemia, dan trombositopenia, dll (Aliyu et al., 2019).

Komponen darah yang mendominasi jumlahnya serta memiliki peranan kuat dalam sistem transportasi oksigen adalah SDM. SDM Memiliki bentuk cakram melingkar bikonkaf dengan diameter 7 mikrometer, tidak memiliki inti, dibatasi oleh membran plasma yang dibentuk oleh lipid dan protein, serta mengandung protein berwarna merah yang disebut hemoglobin (Science, n.d.). Bentuk abnormal dari SDM dapat merujuk pada kondisi seperti anemia, penurunan hemoglobin dan beberapa gangguan lainnya yang merupakan efek sekundernya (Aliyu, 2017). Pada studi klinis dan epidemiologis yang telah dilakukan untuk menghubungkan kelainan kuantitatif dan kualitatif pada sel darah merah, termasuk alterasi hematokrit, penyakit sel sabit, talasemia, anemia hemolitik, dan malaria (Byrnes & Wolberg, 2017). Untuk mengetahui adanya penyakit itu perlu menggunakan metode apusan darah tepi yang merupakan metode yang layak untuk membantu menganalisis kelainan dalam darah yang berkaitan dengan diagnosis klinis (Yantini & Novianti, 2023). Morfologi abnormal dari SDM yang dapat dilihat menggunakan metode apusan darah dapat berupa *Macrocyte*, *Microcyte*, *Elliptocyte*, *Schistocyte*, *Tear drop cell*, *Sickle cell*, *Acanthocyte*, *Spherocyte*, dan *Target cell* (Aliyu et al., 2019).



Gambar 1. Bentuk normal dan abnormal sel darah (Source: H.A. Aliyu, et, (2019))

Pada penyakit *sickle cell*, dengan metode identifikasi menggunakan slide kaca dengan pewarnaan H&E, trikrom, retikulin, dan *iron special stain* memberikan informasi bahwa *Sickle cell disease* (SCD) memberikan dampak multi sistemik yang signifikan, termasuk pada hepar atau yang dikenal sebagai *sickle cell hepatopathy* (SCH) akibat dari kombinasi hemolisis kronik, oklusi vaskular intrahepatik, dan kelebihan zat besi akibat transfusi berulang. Secara klinis keadaan ini dapat menimbulkan peningkatan enzim hati, hiperbilirubinemia, hepatomegali, hingga berkembang menjadi fibrosis tingkat lanjut atau sirosis pada sebagian pasien. Secara histopatologi, bentuk dan manifestasi sel sickle ditandai oleh keberadaan SDM berbentuk sabit yang tampak kaku dan memanjang di dalam sinusoid hati (*intrasinusoidal sickled red cells*), disertai temuan khas berupa eritrofagositosis oleh sel Kupffer, hemosiderosis berat pada hepatosit dan sel sinusoidal, serta dilatasi dan kongesti sinusoid, umumnya dengan latar belakang inflamasi yang minimal. Pola ini menggambarkan gangguan sirkulasi mikro akibat deformabilitas SDM yang menurun dan menjadi ciri gejala spesifik SCH (Tract & Words, 2022).

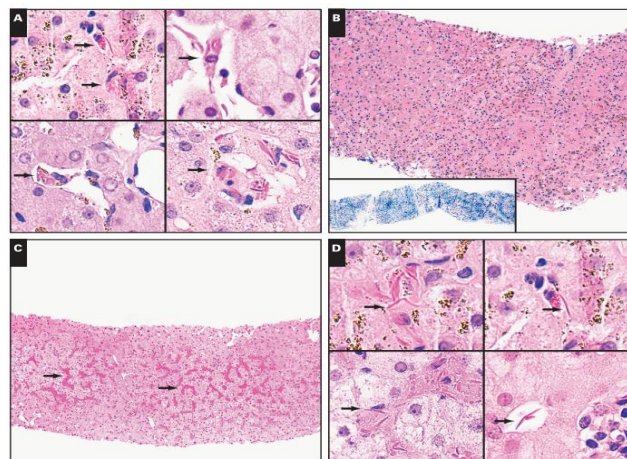
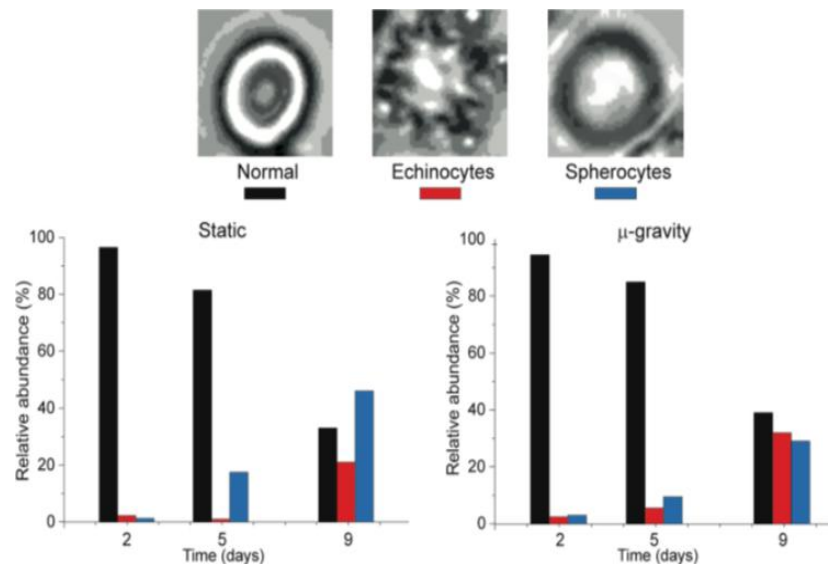


FIGURE 1 Histopathologic findings in sickle cell hepatopathy. **A**, High-power view showing multiple examples of Kupffer cell erythrophagocytosis (arrows, x600). Coarse brown to yellow pigmented hemosiderin granules are also noted. **B**, Intermediate-power view showing marked hemosiderin deposition in both hepatocytes and sinusoids with marked zone 3 hepatocyte atrophy and dropout (x100). The inflammation is minimal. Inset, iron stain showing marked and diffuse hemosiderin deposition (x12.5). **C**, Intermediate-power view showing zone 3 sinusoidal dilatation and congestion (arrows, x100). There is no inflammation in hepatic parenchyma. **D**, High-power view showing multiple examples of intrasinusoidal sickled red cells (arrows, x600).

Gambar 2. *The Histopathologic Features of Sickle Cell Hepatopathy* (Source: Saeed O, et.al, 2023)

Bentuk SDM bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan serta proses penuaan sel, baik secara fisiologis maupun patologis. Perubahan bentuk yang terjadi oleh aging menyebabkan normal SDM berubah menjadi *echinocytes* dan *spherocytes*. Perubahan bertahap pada morfologi SDM dapat di deskriptifkan dengan penurunan deformabilitas, perubahan luas permukaan membran, dan peningkatan kekakuan sel akibat stres oksidatif serta remodeling sitoskeleton. Percepatan perubahan bentuk SDM, ditandai dengan kecenderungan menuju bentuk lebih sferis atau ireguler akibat gangguan keseimbangan membran lipid dan protein, serta perubahan distribusi hemoglobin intraseluler. Perubahan morfologi tersebut berkaitan erat dengan penuaan SDM yang dipercepat, penurunan kemampuan beradaptasi terhadap stres mekanik, dan peningkatan kerentanan terhadap hemolisis (Dinarelli et al., 2018).



Gambar 3. *Erythrocyte's aging in microgravity highlights how environmental stimuli shape metabolism and morphology (Source: Dinarelli S, et al., (2018))*

SDM yang berperan utama dalam proses pengangkutan oksigen dan karbondioksida dalam darah memiliki fungsinya sangatlah penting bagi tubuh, sehingga keabnormalitasan morfologi SDM juga dapat menjadi indikator tingkat penanganan di penyakit infeksi virus, karena bentuk yang tidak normal dapat mengganggu transportasi oksigen untuk jaringan sehingga berdampak negatif terhadap tubuh manusia (Dinarelli et al., 2018; Hasanefendić et al., n.d.). Pada kasus infeksi COVID-19 yang berkaitan erat dengan terjadinya abnormalitas bentuk SDM yang mencerminkan derajat keparahan penyakit. Pada pasien COVID-19 yang memiliki indikasi proses inflamasi sistemik, hipoksia, serta stres oksidatif yang tinggi menyebabkan perubahan struktur membran SDM, sehingga SDM yang normalnya berbentuk bikonkaf menjadi berubah menjadi bentuk abnormal seperti ekinosit, sferosit, dan bentuk tidak beraturan lainnya. Perubahan ini membuat SDM menjadi lebih kaku dan kurang elastis, akibatnya sulit melewati pembuluh kapiler yang dapat mengganggu aliran darah. Akibatnya, pengantaran oksigen ke jaringan menjadi kurang optimal dan dapat memperburuk kondisi klinis pasien. Semakin berat infeksi COVID-19, semakin jelas dan beragam abnormalitas SDM yang ditemukan pada pemeriksaan apusan darah tepi, sehingga morfologi SDM dapat digunakan sebagai indikator tambahan dalam menilai progresivitas penyakit (Hasanefendić et al., n.d.).

Paparan jangka panjang terhadap antikoagulan K2EDTA menyebabkan berbagai perubahan morfologi signifikan pada SDP yang dapat menyerupai proses reaktif atau patologis. Perubahan utama yang diamati meliputi lobulasi inti (seperti bentuk daun semanggi atau *cloverleaf*), vakuolisasi sitoplasma, serta munculnya sel-sel apoptotik dengan inti piknotik. Selain itu, ditemukan pula peningkatan jumlah sel rusak atau smudge cells yang mengindikasikan bahwa sel menjadi lebih rentan terhadap tekanan mekanis selama pembuatan sediaan apus seiring bertambahnya waktu penyimpanan, terutama setelah 12 jam. Perubahan ini sangat krusial untuk diperhatikan karena dapat menyebabkan salah interpretasi klinis, seperti kecurigaan terhadap sindrom mielodisplastik akibat temuan *pseudo Pelger-Huet* atau iregularitas inti yang sebenarnya dipicu oleh efek antikoagulan (Irading, 2025).

Analisis morfologi leukosit dalam penggunaan antikoagulan EDTA memicu perubahan struktural yang signifikan seiring bertambahnya waktu penyimpanan, terutama jika melebihi ambang batas 8 jam. Perubahan tersebut meliputi terjadinya lobulasi atau segmentasi pada inti sel (terutama pada limfosit), munculnya vakuolisasi pada sitoplasma, serta peningkatan jumlah sel-sel yang mengalami apoptosis dengan ciri inti piknotik. Selain itu, ditemukan pula peningkatan jumlah *smudge cells* atau sel rusak akibat kerapuhan mekanis sel yang meningkat setelah 12 jam penyimpanan di suhu ruang. Untuk mendeteksi dan mengevaluasi fenomena ini secara akurat, penelitian menggunakan teknologi preparasi sediaan apus semi-otomatis melalui perangkat Cellavision Hemaprep. Perangkat ini adalah salah satu sistem berbasis digital yang digunakan untuk dasar klasifikasi sel darah sesuai dengan acuan laboratorium internasional dalam proses identifikasi mikroskopis oleh tenaga profesional. (Park et al., 2024).

Perkembangan Artificial Intelligence telah membawa perubahan besar pada cara tenaga medis dalam menganalisis penyakit kanker, salah satunya yaitu melalui gambar jaringan tubuh. Jika pada masa sebelumnya pengamatan tekstur dan morfologi sel masih bergantung pada pengambilan ciri secara manual, namun cara ini memiliki keterbatasan saat menghadapi kerumitan pola jaringan pada data berskala besar. Kini, hadirnya teknologi *Convolutional Neural Networks* (CNN) memungkinkan proses pembelajaran karakteristik sel dilakukan secara otomatis dan mendalam langsung dari data mentah tanpa campur tangan manusia. Peningkatan akurasi analisis klinis secara signifikan dapat dikenali oleh CNN dengan pola morfologis yang kompleks dan terbukti mampu menangani gambar histopatologi yang mempunyai skala data tinggi (Wu et al., 2022).

Selain aspek deteksi, kecerdasan buatan juga berperan penting dalam menyeimbangkan kualitas visual melalui normalisasi warna. Perbedaan pewarnaan akibat perbedaan protokol laboratorium atau alat pindai mampu diatasi dengan teknologi seperti *Generative Adversarial Networks* (GAN) tanpa merusak struktur dasar jaringan. Dalam tahap analisis yang lebih mendalam, arsitektur seperti U-Net digunakan untuk memisahkan inti sel yang berhimpitan dengan sangat presisi. Para ahli kini mengkolaborasikan data gambar jaringan dengan informasi genomik menggunakan pendekatan *multi-instance learning* dan model multimodal dengan tujuan agar dapat menyempurnakan hasil diagnosis dan prognosis. Integrasi inovasi ini tidak hanya memperkuat ketepatan deteksi dini, tetapi juga membantu dokter dalam memprediksi perjalanan penyakit pasien secara lebih akurat dan terukur demi pengobatan yang jauh lebih efektif (Wu et al., 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan literature review yang telah dibuat, perkembangan teknologi dalam histologi sel darah untuk kebutuhan medis yang berkaitan dengan identifikasi normal atau abnormalnya sel untuk mendiagnosa adanya suatu penyakit kelainan di masa modern AI berupa *Generative Adversarial Networks* (GAN) yang mampu mengatasi perbedaan pewarnaan, Cella Vision Proficiency Software yang merupakan sebuah sistem digital untuk menjamin kesesuaian klasifikasi sel darah, teknologi *Convolutional Neural Networks* (CNN) memungkinkan proses pembelajaran karakteristik sel dilakukan secara otomatis dan

mendalam, serta CLARITY dan metode serupa yang memungkinkan visualisasi jaringan utuh tanpa perlu pemotongan berulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliyu, H. A. (2017). *Detection of Accurate Segmentation in Blood Cells Count – A Review*. 2(8), 28–32.
- Aliyu, H. A., Azhar, M., Razak, A., & Sudirman, R. (2019). *Normal and abnormal red blood cell recognition using image processing*. 14(1), 96–100. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v14.i1.pp96-100>
- Alturkistani, H. A., Tashkandi, F. M., & Mohammedsaleh, Z. M. (2016). *Histological Stains : A Literature Review and Case Study*. 8(3), 72–79. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v8n3p72>
- Baskin, D. G. (2024). *George Gomori ' s Contributions to Diabetes Research and the Origins of the Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. 72. <https://doi.org/10.1369/00221554241300370>
- Byrnes, J. R., & Wolberg, A. S. (2017). *Blood Spotlight Red blood cells in thrombosis*. 130(16), 1795–1799. <https://doi.org/10.1182/blood-2017-03-745349>
- Colanna, D. (2023). *Histology and Cell Biology : Understanding the Microstructure of Tissues and Organs*. 11(05), 2023.
- Dinarelli, S., Longo, G., Dietler, G., Francioso, A., Mosca, L., Pannitteri, G., & Boumis, G. (2018). *Erythrocyte ' s aging in microgravity highlights how environmental stimuli shape metabolism and morphology*. September 2017, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22870-0>
- Gedefaw, L., Liu, C., Ka, R., Ip, L., Tse, H., Ho, M., Yeung, Y., Yip, S. P., & Huang, C. (2023). *Artificial Intelligence-Assisted Diagnostic Cytology and Genomic Testing for Hematologic Disorders*. 1–28.
- Hasanefendić, B., Begović, E., Šeherčehajić, E., Kapidžić, S. T., & Halilović, L. (n.d.). *Erythrocyte morphology as a clinical disease indicator in hospitalized COVID-19 patients*. <https://doi.org/10.3855/jidc.20397>
- Heuts, B. M. H., & Martens, J. H. A. (2023). *Understanding blood development and leukemia using sequencing-based technologies and human cell systems*. October, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2023.1266697>
- Hu, Y., Luo, Y., Tang, G., Huang, Y., Kang, J., & Wang, D. (n.d.). *Artificial intelligence and its applications in digital hematopathology*.
- Irding, A. (2025). *Dependent EDTA Effect on Leukocyte Differential Count and Morphology Compared to Blood Smear Made by Direct Finger Prick*. 826–831. <https://doi.org/10.1111/ijlh.14498>
- Javaeed, A., Qamar, S., Ali, S., Ahmad, M., Mustafa, T., & Nusrat, A. (2021). *Histological Stains in the Past , Present , and Future*. 13(10). <https://doi.org/10.7759/cureus.18486>

- Liu, J., Tan, Y. Y., Zheng, W., Wang, Y., Ju, L. A., & Su, Q. P. (2024). Nanoscale insights into hematology : super - resolved imaging on blood cell structure , function , and pathology. *Journal of Nanobiotechnology*, 1–20. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02605-2>
- Liu, X., Shang, L., Liu, C., Yu, Y., Shao, D., He, M., & Liang, G. (2025). *AI-powered platform revolutionizing blood cell morphology education for medical students*.
- Lu, T., & Lee, C. (2023). *Morphological Characteristics, Hemoglobin Content, and Membrane Mechanical Properties of Red Blood Cell Delivery Systems*. 14(16), 18219–18232. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c03472>.Additional
- Maria Mazzarini, Mario Falchi, Daniele Bani, A. R. M. (2021). *HHS Public Access*. 84(2), 217–237. <https://doi.org/10.1002/jemt.23579>.EVOLUTION
- Naouali, S. (2025). *AI-Driven Automated Blood Cell Anomaly Detection : Enhancing Diagnostics and Telehealth in Hematology*. 1–28.
- Notta, F., Zandi, S., Takayama, N., Dobson, S., Gan, O. I., Wilson, G., Kaufmann, K. B., Mcleod, J., Laurenti, E., & Cyrille, F. (2016). *Europe PMC Funders Group Europe PMC Funders Author Manuscripts DISTINCT ROUTES OF LINEAGE DEVELOPMENT RESHAPE THE HUMAN BLOOD HIERARCHY ACROSS ONTOGENY*. 351(6269), 1–22. <https://doi.org/10.1126/science.aab2116>.DISTINCT
- Park, S., Cho, H., Woo, B. M., Lee, S. M., Bae, D., Balint, A., Seo, Y. J., Bae, C. Y., Choi, K., & Jung, K. (2024). A large multi-focus dataset for white blood cell classification. *Scientific Data*, 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03938-1>
- Sannipoli, D., Ronchi, P. E., Boletini, A., Giglio, F., & Clerici, D. T. (2023). *Peripheral blood smear diagnosis of G6PD deficiency in an 83-year-old man*. September 2022, 276–277. <https://doi.org/10.1002/jha2.598>
- Santacroce, G., Zammarchi, I., Nardone, O. M., Capobianco, I., Puga-tejada, M., Majumder, S., Ghosh, S., & Iacucci, M. (2025). *Rediscovering histology – the application of artificial intelligence in inflammatory bowel disease histologic assessment*. <https://doi.org/10.1177/https>
- Science, D. (n.d.). *HISTOLOGY AND FUNCTIONS OF CONNECTIVE TISSUES :*
- Suzuki, K., Watanabe, N., Tsukune, Y., Inano, T., & Kinoshita, S. (2025). *Artificial intelligence-driven label-free detection of chronic myeloid leukemia cells using ghost cytometry*. 1–13.
- Tissue histology in 3D*. (2024). 21(July), 41592. <https://doi.org/10.1038/s41592-024-02361-z>
- Tract, A. B. S., & Words, K. E. Y. (2022). *The Histopathologic Features of Sickel Cell Hepatopathy : A Multi-Institutional Study*. 73–81.
- Tyrrell, L., Scruggs, M., Kerwin, A., & Kahwash, S. B. (2022). *The role of peripheral blood smear examination in the evaluation of suspected platelet-related disorders in children : A practical approach and an illustrated review*. 44(3), 397–413.
- Wu, Y., Cheng, M., Huang, S., Pei, Z., Zuo, Y., Liu, J., Yang, K., Zhu, Q., Zhang, J., Hong,

H., Zhang, D., Huang, K., Cheng, L., & Shao, W. (2022). *Recent Advances of Deep Learning for Computational Histopathology : Principles and Applications*.

Yantini, P., & Novianti, A. N. (2023). *Peripheral Blood Smear Analysis for Cattle with Foot and Mouth Diseases in Lembang , West Bandung*. 6(3), 8–14.
<https://doi.org/10.20473/jmv.vol6.iss3.2023.8>

Literature Review

Cara Efektif Belajar dan Memahami Ilmu Patologi Klinik dengan Baik

Nayla Zahra Zhafira¹, Naela Oktafia Ramadani¹, Candra Dyah Ayu Murti¹, Ramya Pindha Pebrianto¹, Najwa El Safara¹, Muhammad Dafa Raihan¹, Aqil Mushawwir¹, Lailatus Syifa Harahap¹, Alief Akbar Rovi'ananda¹, Filza Raihana Nashrullah¹, Maulidya Nuzula¹, Muhamad Reza Utama²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Ilmu Pendidikan Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Patologi klinik merupakan cabang ilmu kedokteran yang berperan penting dalam mendukung diagnosis, pemantauan penyakit, dan evaluasi terapi melalui pemeriksaan laboratorium. Namun, kompleksitas parameter laboratorium, tuntutan integrasi data klinis, tingginya beban akademik, serta perkembangan teknologi diagnostik menjadikan pembelajaran patologi klinik sering dianggap sulit oleh mahasiswa kedokteran, terutama ketika pendekatan belajar masih berorientasi pada hafalan. Oleh karena itu, diperlukan strategi pembelajaran yang efektif, berbasis bukti, dan berpusat pada mahasiswa. Literature review ini bertujuan untuk mengkaji peran patologi klinik dalam praktik medis, tantangan pembelajaran yang dihadapi mahasiswa, serta berbagai pendekatan pembelajaran yang terbukti efektif, termasuk pemahaman gaya belajar mahasiswa, penerapan case-based learning, dan pemanfaatan media serta teknologi pembelajaran seperti modul digital, video pembelajaran, simulasi laboratorium, e-learning, dan blended learning. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa strategi pembelajaran yang menekankan pemahaman konseptual, keterlibatan aktif, dan konteks klinis mampu meningkatkan kemampuan interpretasi hasil laboratorium, penalaran diagnostik, kemandirian belajar, serta kesiapan mahasiswa kedokteran dalam praktik klinis. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan pembelajaran patologi klinik yang lebih efektif dan relevan dengan kebutuhan pendidikan kedokteran modern.

Kata kunci: patologi klinik, strategi belajar, case-based learning, teknologi pembelajaran, pendidikan kedokteran

ABSTRACT

Clinical pathology is a branch of medical science that plays a crucial role in supporting diagnosis, disease monitoring, and therapy evaluation through laboratory examinations. However, the complexity of laboratory parameters, the need for clinical data integration, high academic workload, and rapid advances in diagnostic technology make clinical pathology learning challenging for medical students, particularly when learning approaches are predominantly memorization-oriented. Therefore, effective, evidence-based, and student-centered learning strategies are required. This literature review aims to examine the role of clinical pathology in medical practice, the learning challenges faced by medical students, and various effective learning approaches, including learning style considerations, case-based learning, and the utilization of educational media and technologies such as digital modules, instructional videos, laboratory simulations, e-learning, and blended learning. The findings indicate that learning strategies emphasizing conceptual understanding, active engagement,

and clinical context enhance laboratory result interpretation skills, diagnostic reasoning, self-directed learning, and preparedness for clinical practice. These results are expected to serve as a foundation for developing more effective and relevant clinical pathology learning methods in modern medical education.

Keywords: *clinical pathology, learning strategies, case-based learning, educational technology, medical education*

Correspondence: naylazahrazhafa07@gmail.com

PENDAHULUAN

Patologi klinik merupakan disiplin ilmu kedokteran yang memanfaatkan analisis spesimen biologis, seperti darah dan cairan tubuh lainnya, untuk menunjang penegakan diagnosis, menentukan prognosis, serta memantau perjalanan penyakit dan efektivitas terapi. Dalam praktik kedokteran modern, sebagian besar keputusan klinis didasarkan pada hasil pemeriksaan laboratorium, sehingga penguasaan ilmu patologi klinik menjadi kompetensi esensial bagi mahasiswa kedokteran. Kemajuan teknologi laboratorium dan analisis data medis turut memperluas peran patologi klinik melalui penggunaan sistem otomatis, pendekatan berbasis data besar, serta integrasi data laboratorium dalam pengambilan keputusan klinis.

Meskipun memiliki peran yang sangat penting, pembelajaran patologi klinik sering dianggap sulit oleh mahasiswa kedokteran. Kompleksitas parameter pemeriksaan, variasi nilai rujukan, serta tuntutan untuk mengintegrasikan ilmu dasar dengan konteks klinis pasien menuntut kemampuan analisis dan penalaran diagnostik yang tinggi. Selain itu, kecenderungan pembelajaran yang berorientasi pada hafalan dan kurangnya pemahaman terhadap proses pemeriksaan laboratorium dapat menghambat terbentuknya pemahaman konseptual yang mendalam.

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, metode pembelajaran dalam pendidikan kedokteran mengalami transformasi dari pendekatan konvensional menuju pembelajaran berbasis digital dan aktif. Pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi, seperti modul digital, video pembelajaran, dan simulasi laboratorium, serta penerapan strategi pembelajaran aktif seperti problem-based learning (PBL), case-based learning (CBL), e-learning, dan blended learning, menjadi semakin relevan dalam pembelajaran patologi klinik. Pendekatan-pendekatan tersebut diharapkan mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa, memperkuat pemahaman konseptual, serta mengembangkan kemampuan interpretasi hasil laboratorium secara kontekstual.

Oleh karena itu, literature review ini bertujuan untuk mengkaji berbagai tantangan dalam pembelajaran patologi klinik serta menelaah pendekatan dan strategi pembelajaran yang terbukti efektif dalam membantu mahasiswa belajar dan memahami ilmu patologi klinik dengan baik. Tinjauan ini diharapkan dapat memberikan landasan bagi pengembangan pembelajaran patologi klinik yang lebih efektif dan relevan dengan kebutuhan pendidikan kedokteran modern.

TINJAUAN LITERATUR

Patologi klinik berfungsi sebagai fondasi utama dalam diagnosis berbasis bukti dengan menyediakan data kuantitatif dan kualitatif yang mendukung pengambilan keputusan klinis. Pemeriksaan laboratorium digunakan secara luas untuk mendeteksi penyakit metabolik, infeksi, gangguan organ, serta komplikasi penyakit kronis. Pemanfaatan data laboratorium juga berkontribusi terhadap pengembangan prediksi penyakit dan pendekatan pengobatan yang lebih presisi, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian berbasis data klinik dan analisis multidimensional terhadap penyakit kronis (Li et al., 2024).

Selain itu, pemeriksaan dasar seperti hitung darah lengkap (Complete Blood Count/CBC) menjadi salah satu uji laboratorium yang paling sering digunakan secara global. Pemahaman yang baik terhadap parameter sel darah, khususnya leukosit, sangat penting untuk mendeteksi kondisi patologis seperti infeksi, peradangan, dan gangguan hematologis (Osa-Andrews et al.).

Patologi klinik sering dianggap sulit oleh mahasiswa kedokteran karena banyaknya parameter laboratorium yang harus dipahami serta interpretasi hasil yang bersifat dinamis dan kontekstual. Mahasiswa dituntut untuk mampu mengintegrasikan data laboratorium dengan kondisi klinis pasien secara komprehensif. Selain itu, keterbatasan paparan kasus nyata serta kurangnya latihan interpretasi hasil laboratorium memperberat proses pembelajaran.

Kompleksitas interpretasi juga terlihat dalam analisis apusan darah dan cairan tubuh, yang memerlukan ketelitian serta pemahaman morfologi sel yang baik. Studi menunjukkan bahwa keterlibatan ahli patologi dalam peninjauan hasil laboratorium memberikan dampak signifikan terhadap kualitas diagnosis dan keputusan klinis, sehingga menegaskan pentingnya kompetensi interpretatif dalam patologi klinik (Sandhaus et al.).

Strategi pembelajaran yang efektif sangat diperlukan untuk membantu mahasiswa memahami patologi klinik secara mendalam. Pendekatan berbasis kasus (case-based learning), latihan interpretasi data laboratorium, serta korelasi antara hasil pemeriksaan dan kondisi klinis pasien terbukti meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan pengambilan keputusan.

Pemanfaatan strategi pedagogis modern seperti pengelolaan beban kognitif, sistem pembelajaran berbasis kompetensi, flipped classroom, serta pembelajaran kolaboratif antar mahasiswa juga terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran patologi klinik (Koch et al.). Strategi-strategi ini membantu mahasiswa mengembangkan kemampuan berpikir kritis, analitis, dan reflektif yang sangat dibutuhkan dalam interpretasi hasil laboratorium.

Literature review berfungsi sebagai landasan teoritis untuk memahami perkembangan ilmu patologi klinik serta pendekatan pembelajaran yang efektif. Dengan menelaah hasil penelitian sebelumnya, literature review membantu mengidentifikasi tantangan pembelajaran, kesenjangan pengetahuan, serta strategi pedagogis yang telah terbukti berhasil.

Selain itu, literature review menjadi dasar dalam merancang inovasi pembelajaran dan penelitian lanjutan yang relevan dengan kebutuhan pendidikan kedokteran modern. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan metode pembelajaran patologi klinik yang lebih sistematis, berbasis bukti, dan adaptif terhadap perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi.

Konsep Dasar Patologi Klinik

Patologi klinik merupakan cabang ilmu kedokteran yang mempelajari perubahan biologis dan biokimia dalam tubuh melalui pemeriksaan spesimen laboratorium untuk mendukung proses diagnosis, pemantauan penyakit, serta evaluasi terapi. Pemeriksaan patologi klinik mencakup berbagai bidang, antara lain hematologi, kimia klinik, imunologi, dan mikrobiologi, yang masing-masing memiliki parameter pemeriksaan dengan karakteristik dan interpretasi yang berbeda.

Konsep dasar patologi klinik tidak hanya menekankan pada penguasaan nilai numerik hasil pemeriksaan, tetapi juga pada kemampuan memahami makna klinis dari setiap parameter dalam konteks kondisi pasien. Sebagai contoh, pemeriksaan hitung darah lengkap (Complete Blood Count/CBC) merupakan salah satu pemeriksaan laboratorium yang paling sering digunakan dalam praktik klinis. Pemeriksaan ini memerlukan pemahaman terhadap komponen sel darah serta variasi fisiologis dan patologis yang dapat memengaruhi hasil pemeriksaan. Meskipun sistem otomatis telah banyak digunakan, korelasi antara hasil laboratorium dan kondisi klinis pasien tetap menjadi prinsip dasar dalam patologi klinik (Osa-Andrews et al.).

Selain itu, interpretasi hasil patologi klinik menuntut kemampuan analisis morfologi dan konfirmasi manual pada kondisi tertentu. Tinjauan apusan darah dan cairan tubuh oleh ahli patologi masih memiliki peran penting dalam mendeteksi kelainan yang tidak selalu teridentifikasi oleh sistem otomatis. Hal ini menegaskan bahwa patologi klinik merupakan disiplin yang memerlukan integrasi antara pemahaman teoritis, keterampilan analitis, serta penilaian klinis yang komprehensif (Sandhaus et al.).

Dengan demikian, konsep dasar patologi klinik mencakup pemahaman terhadap jenis pemeriksaan laboratorium, prinsip interpretasi hasil, serta pentingnya korelasi klinis. Kompleksitas inilah yang kemudian menjadi salah satu alasan utama mengapa patologi klinik sering dianggap sulit oleh mahasiswa kedokteran, sekaligus menegaskan perlunya strategi pembelajaran yang efektif dalam memahami ilmu ini secara menyeluruh.

Teori dan Gaya Belajar Mahasiswa Kedokteran

Mahasiswa kedokteran umumnya merupakan pembelajar multimodal. Studi oleh Ojeh et al. (2017) menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa menggunakan lebih dari satu modalitas belajar, dengan gaya tetramodal sebagai yang paling dominan. Preferensi membaca/menulis dan kinestetik menjadi modalitas yang paling banyak digunakan, meskipun terdapat perbedaan kecenderungan antara mahasiswa laki-laki dan perempuan.

Pemahaman terhadap gaya belajar tidak berkorelasi langsung dengan prestasi akademik. Namun, mahasiswa dengan prestasi akademik tinggi lebih sering menerapkan pendekatan belajar multimodal. Temuan ini menunjukkan bahwa fleksibilitas dalam menggunakan berbagai strategi belajar lebih berperan dalam keberhasilan akademik dibandingkan ketergantungan pada satu gaya belajar tertentu.

Berbagai pendekatan pembelajaran telah diterapkan dalam pendidikan kedokteran, termasuk *problem-based learning* (PBL), pembelajaran aktif, dan pembelajaran campuran (*blended learning*). Scoping review oleh Trullàs et al. (2022) menunjukkan bahwa PBL memiliki tingkat kepuasan yang tinggi dan lebih unggul dibandingkan metode ceramah

tradisional dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah, komunikasi, serta pembelajaran mandiri.

Penggunaan ruang kelas pembelajaran aktif juga terbukti meningkatkan interaksi dan keterlibatan mahasiswa. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada kesiapan dosen dalam menyesuaikan strategi pengajaran. Tanpa adaptasi metode, potensi pembelajaran aktif tidak selalu dimanfaatkan secara optimal (Bingen et al., 2023). Pada pembelajaran campuran, mahasiswa cenderung mempertahankan motivasi intrinsik dan pendekatan belajar mendalam, meskipun beban akademik yang tinggi dapat memengaruhi konsistensi pendekatan belajar tersebut (Khong & Tanner, 2024).

Kecenderungan mahasiswa untuk mengandalkan hafalan, terutama melalui penggunaan bank soal, masih menjadi tantangan dalam pendidikan kedokteran. Studi menunjukkan bahwa pendekatan ini lebih meningkatkan kemampuan mengenali jawaban yang benar dibandingkan pemahaman konsep dasar yang mendasarinya. Sebaliknya, strategi pembelajaran yang menekankan pemahaman konseptual terbukti lebih efektif dalam meningkatkan transfer dan integrasi pengetahuan (Anderson et al., 2001).

Dalam konteks patologi klinik, pemahaman konseptual menjadi sangat penting karena interpretasi hasil laboratorium tidak dapat dilakukan secara terpisah dari proses pemeriksaan dan konteks klinis pasien.

Strategi Belajar Efektif dalam Patologi Klinik

Patologi klinik menuntut integrasi antara konsep dasar, keterampilan teknis, dan pemahaman klinis. *Case-based learning* (CBL) merupakan pendekatan yang efektif karena mendorong mahasiswa untuk berpikir aktif dan kontekstual melalui analisis kasus klinis. Melalui CBL, mahasiswa dilibatkan dalam menentukan pemeriksaan yang relevan serta memahami makna klinis dari hasil pemeriksaan tersebut.

Pendekatan ini terbukti mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik serta meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa terhadap patologi klinik.

Pembelajaran patologi klinik sering kali terlalu berfokus pada hasil akhir pemeriksaan laboratorium tanpa memahami alur pemeriksaan secara menyeluruh. Padahal, pemeriksaan laboratorium melibatkan tahapan pre-analitik, analitik, dan post-analitik, yang masing-masing berpotensi memengaruhi hasil pemeriksaan.

Pemahaman alur pemeriksaan laboratorium melalui pendekatan berbasis kasus membantu mahasiswa mengembangkan *diagnostic reasoning*, yaitu kemampuan membentuk hipotesis, mengevaluasi bukti, dan menarik kesimpulan klinis secara bertanggung jawab. Dengan demikian, mahasiswa tidak hanya menghafal hasil pemeriksaan, tetapi mampu menggunakan data laboratorium secara kritis dalam pengambilan keputusan klinis.

Pemanfaatan Media dan Teknologi Pembelajaran

Modul pembelajaran digital berperan sebagai sumber belajar mandiri yang sistematis dan mudah diakses oleh mahasiswa. Modul digital memungkinkan mahasiswa mempelajari materi patologi klinik sesuai dengan kecepatan belajar masing-masing, serta mendukung pengulangan materi secara mandiri. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *student-centered learning* yang menekankan kemandirian mahasiswa dalam proses belajar.

Video pembelajaran juga menjadi media yang efektif dalam menjelaskan konsep-konsep kompleks, terutama pada patologi klinik yang membutuhkan visualisasi proses biologis dan klinis. Visualisasi melalui video membantu mahasiswa memahami alur pemeriksaan dan interpretasi hasil laboratorium dengan lebih jelas dibandingkan penjelasan tekstual semata.

Selain itu, simulasi laboratorium berbasis teknologi memberikan pengalaman belajar yang mendekati kondisi nyata tanpa risiko klinis. Simulasi memungkinkan mahasiswa berlatih keterampilan analisis dan pengambilan keputusan klinis secara aman, serta memperkuat pemahaman konsep teoritis melalui praktik virtual.

Aplikasi dan platform digital pembelajaran menyediakan berbagai fitur interaktif, seperti kuis daring, forum diskusi, serta evaluasi berbasis sistem. Platform ini mendukung pembelajaran berbasis kasus (*case-based learning*) yang sangat relevan dalam patologi klinik, karena mahasiswa dapat belajar mengintegrasikan data laboratorium dengan konteks klinis pasien.

Penggunaan platform digital juga memungkinkan dosen untuk memantau perkembangan belajar mahasiswa secara real-time dan memberikan umpan balik yang cepat serta terstruktur. Selain meningkatkan efektivitas pembelajaran, integrasi teknologi digital turut meningkatkan literasi digital mahasiswa kedokteran dan kesiapan mereka menghadapi perkembangan teknologi dalam praktik medis.

E-learning memberikan fleksibilitas dalam pembelajaran dengan menghilangkan batasan ruang dan waktu, sehingga mahasiswa dapat mengakses materi kapan saja dan di mana saja. Dalam pendidikan kedokteran, e-learning berperan sebagai pelengkap pembelajaran tatap muka, khususnya untuk materi teoritis patologi klinik.

Blended learning mengombinasikan keunggulan pembelajaran daring dan luring, sehingga mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran secara keseluruhan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pendekatan blended learning dapat meningkatkan motivasi belajar, partisipasi aktif, serta hasil belajar mahasiswa kedokteran. Model ini juga mendukung pembelajaran kolaboratif dan interprofesional, sebagaimana ditunjukkan dalam studi praktik klinis interprofesional yang mampu meningkatkan pemahaman peran profesi dan keterampilan kerja sama mahasiswa (Gritt et al.).

Implikasi bagi Pendidikan Kedokteran

Penggunaan strategi belajar yang menekankan keterlibatan aktif mahasiswa terbukti berkontribusi besar terhadap peningkatan pemahaman dan pencapaian akademik dalam pendidikan kedokteran. Metode pembelajaran seperti diskusi kelompok, problem-based learning, dan pembelajaran mandiri terarah membantu mahasiswa memahami konsep secara lebih mendalam dibandingkan pendekatan hafalan semata.

Umbrella systematic review oleh Ge et al. (2025) menunjukkan bahwa metode PBL secara konsisten meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan klinis mahasiswa kedokteran. Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa mengaitkan teori dengan permasalahan klinis nyata, sehingga meningkatkan kesiapan mereka dalam menghadapi pendidikan klinik. Dengan strategi belajar yang tepat, mahasiswa tidak hanya mencapai hasil akademik yang lebih baik, tetapi juga mengembangkan kemampuan pemecahan masalah dan penalaran klinis.

Pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi, seperti modul digital, video pembelajaran, dan simulasi laboratorium, berperan penting dalam membantu mahasiswa memahami materi patologi klinik yang kompleks. Modul digital memungkinkan mahasiswa belajar secara mandiri dan fleksibel, sedangkan video pembelajaran membantu visualisasi proses biologis dan interpretasi hasil laboratorium.

Simulasi laboratorium berbasis teknologi memberikan pengalaman belajar yang mendekati kondisi nyata tanpa risiko klinis. Pendekatan ini memperkuat pemahaman konseptual sekaligus melatih keterampilan analisis dan pengambilan keputusan. Selain itu, platform digital pembelajaran mendukung pembelajaran berbasis kasus, evaluasi daring, serta umpan balik yang lebih cepat dan terstruktur dari dosen.

Pembelajaran patologi klinik memiliki keterkaitan erat dengan praktik klinis di masa mendatang. Pemahaman yang baik terhadap proses penyakit dan interpretasi hasil laboratorium sangat penting dalam membantu penegakan diagnosis, pemilihan terapi, dan pemantauan kondisi pasien. Evaluasi kursus patologi klinik oleh Abbasi et al. (2025) menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis klinis mampu meningkatkan literasi laporan patologi dan kesiapan mahasiswa dalam praktik klinik.

Dosen memiliki peran strategis dalam menciptakan lingkungan belajar yang kondusif melalui pendekatan interaktif dan berbasis kasus. Sementara itu, institusi pendidikan kedokteran diharapkan mengembangkan kurikulum terintegrasi antara ilmu dasar dan klinis, menyediakan sarana pembelajaran yang memadai, serta menerapkan evaluasi berbasis kompetensi untuk meningkatkan kualitas lulusan kedokteran.

KESIMPULAN

Patologi klinik memiliki peran yang sangat penting dalam praktik kedokteran, khususnya dalam mendukung penegakan diagnosis dan pengambilan keputusan klinis berbasis data laboratorium. Namun, kompleksitas materi, banyaknya parameter pemeriksaan, serta tuntutan kemampuan interpretasi dan penalaran diagnostik menjadikan pembelajaran patologi klinik sebagai tantangan bagi mahasiswa kedokteran. Oleh karena itu, pembelajaran patologi klinik perlu diarahkan pada pemahaman konseptual, integrasi data laboratorium dengan konteks klinis, serta pengembangan kemampuan *diagnostic reasoning*, bukan sekadar hafalan hasil pemeriksaan.

Penerapan strategi pembelajaran aktif dan berbasis kasus, yang didukung oleh pendekatan multimodal sesuai dengan karakteristik belajar mahasiswa, terbukti relevan dan efektif dalam meningkatkan pemahaman dan kompetensi klinis. Pemanfaatan media dan teknologi pembelajaran—seperti modul digital, video pembelajaran, simulasi laboratorium, serta penerapan e-learning dan blended learning—memberikan fleksibilitas, meningkatkan keterlibatan mahasiswa, dan memperkuat keterampilan analisis klinis. Dengan demikian, penulisan literature review ini menjadi langkah awal yang penting untuk memahami tantangan pembelajaran patologi klinik dan merumuskan pendekatan belajar yang lebih optimal, berkelanjutan, serta selaras dengan kebutuhan pendidikan kedokteran modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, F., Ayremlu, P., & Niazkhani, Z. (2025). *From classroom to clinic: evaluating a clinical pathology course to strengthen pathology report literacy of medical interns*. BMC Medical Education, 25(490).
- Anderson, L.W., et al. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Springer.
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. (1980). *Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education*. Springer.
- Bingen, H.M., et al. (2023). *Use of active learning classrooms in health professional education: A scoping review*. International Journal of Nursing Studies Advances, 6, 100167.
- Ge, W. L., Zhu, X. Y., Lin, J. B., et al. (2025). *Critical thinking and clinical skills by problem-based learning educational methods: an umbrella systematic review*. BMC Medical Education, 25(455).
- Gritt, A. M., Hubertz, J. R., & Van Hyfte, S. M. *The preschool amplification interprofessional collaboration: An IPE clinical program for speech-language pathology and audiology graduate students*.
- Khong, M.L. & Tanner, J.A. (2024). *Surface and deep learning: a blended learning approach in preclinical years of medical school*. BMC Medical Education, 24(1), 1029.
- Khong, M. L., & Tanner, J. A. (2024). *Surface and deep learning: a blended learning*
- Kloske, C. M., et al. (2024). *Advancements in APOE and dementia research*. Alzheimer's & Dementia.
- Kuroda, T., et al. (2017). *Efficacy of chemotherapy in elderly patients with unresectable pancreatic cancer*. BMC Gastroenterology.
- Koch, L. K., Chang, O. H., & Dintzis, S. M. *Medical Education in Pathology: General Concepts and Strategies for Implementation*.
- Li, G., et al. (2024). *A 10-year retrospective cohort of diabetic patients in a large medical institution: Utilizing multiple machine learning models for diabetic kidney disease prediction*. Digital Health.
- Ojeh, N., Sobers-Grannum, N., Gaur, U., Udupa, A. & Majumder, M.A. (2017). *Learning style preferences: A study of pre-clinical medical students in Barbados*. Journal of Advances in Medical Education & Professionalism, 5(4), 185–194.
- Osa-Andrews, B., van Wijk, X. M. R., Herrera Rivera, N., Seifert, R. P., Harris, N. S., & Marin, M. J. *An Introduction to the Complete Blood Count for Clinical Chemists: White Blood Cells*.
- Sandhaus, L. M., Wald, D. N., Sauder, K. J., Steele, E. L., & Meyerson, H. J. *Measuring the Clinical Impact of Pathologist Reviews of Blood and Body Fluid Smears*.
- Teng, T., et al. (2025). *Microbiota alterations leading to amino acid deficiency contribute to depression in children and adolescents*. Microbiome.

Trullàs, J.C., Blay, C., Sarri, E. & Pujol, R. (2022). *Effectiveness of problem-based learning methodology in undergraduate medical education: A scoping review*. BMC Medical Education, 22, 104.

Literature Review

Bakteri Penyebab Pneumonia Atipikal: Tinjauan Klinis dan Mikrobiologi

Yelvi Levani¹

1) Departemen Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Pneumonia atipikal merupakan bentuk pneumonia yang disebabkan oleh mikroorganisme dengan karakteristik biologis dan klinis yang berbeda dari bakteri tipikal. Agen utama meliputi *Mycoplasma pneumoniae*, *Chlamydia pneumoniae*, dan *Legionella pneumophila*. Manifestasi klinis umumnya lebih ringan dengan gejala sistemik dominan dan temuan radiologis berupa infiltrat interstisial. Diagnosis seringkali menantang karena keterbatasan metode kultur konvensional, sehingga diperlukan pendekatan berbasis molekuler dan serologi. Penatalaksanaan utama menggunakan antibiotik yang bekerja pada sintesis protein, seperti makrolida, tetrasiklin, dan fluorokuinolon. Manuskrip ini bertujuan untuk mengulas karakteristik mikrobiologi, faktor virulensi, metode diagnostik, dan terapi dari bakteri penyebab pneumonia atipikal. Pemahaman yang komprehensif diharapkan dapat meningkatkan akurasi diagnosis dan efektivitas terapi, serta berkontribusi pada pengendalian resistensi antimikroba.

Kata kunci: pneumonia atipikal, *Mycoplasma pneumoniae*, *Chlamydia pneumoniae*, *Legionella pneumophila*, diagnostik molekuler

Korespondensi: yelvilevani@fk.um-surabaya.ac.id

ABSTRACT

Atypical pneumonia is a form of pneumonia caused by microorganisms with distinct biological and clinical characteristics compared to typical bacterial pathogens. The main causative agents include Mycoplasma pneumoniae, Chlamydia pneumoniae, and Legionella pneumophila. Clinical manifestations are generally milder, with predominant systemic symptoms such as low-grade fever, non-productive cough, headache, and myalgia, accompanied by interstitial infiltrates on radiological findings. Diagnosis remains challenging due to the limitations of conventional culture methods, necessitating the use of molecular and serological approaches. Polymerase Chain Reaction (PCR) and immunological assays have significantly improved the detection of atypical pathogens, although limitations still exist in distinguishing colonization from active infection. The mainstay of treatment involves antibiotics targeting bacterial protein synthesis, including macrolides, tetracyclines, and respiratory fluoroquinolones. This manuscript aims to review the microbiological characteristics, virulence factors, diagnostic modalities, and therapeutic strategies of atypical pneumonia-causing bacteria. A comprehensive understanding of these aspects is essential to improve diagnostic accuracy, optimize treatment outcomes, and contribute to antimicrobial resistance control.

Keywords: *atypical pneumonia, Mycoplasma pneumoniae, Chlamydia pneumoniae, Legionella pneumophila, molecular diagnosis*

Corresponding author: yelvilevani@fk.um-surabaya.ac.id

PENDAHULUAN

Pneumonia adalah suatu peradangan akut di parenkim paru yang disebabkan oleh infeksi patogen. Pada pneumonia selain ditemukan bakteri penyebab yang tipikal sering pula dijumpai bakteri atipikal. Bakteri atipikal yang sering dijumpai adalah *Mycoplasma pneumoniae*, *Chlamydia pneumoniae*, *Legionella spp.* *Mycoplasma pneumonia* sering bersamaan dengan infeksi *Streptococcus piogenes* dan *Neisseria meningitidis*. Penyebab lain *Chlamydia psittaci*, *Coxiellaburnetti*, virus influenza tipe A & B, adenovirus dan Respiratory syncytial virus (Kemenkes RI, 2021).

Gejala penumonia atipikal diantaranya adalah demam, batuk non produktif dan gejala sistemik berupa nyeri kepala dan mialgia. Pada pemeriksaan fisis terdapat ronki basah tersebar. Gambaran radiologis berupa infiltrat/opasitas interstitial, jarang terjadi konsolidasi. Pada pemeriksaan laboratorium menunjukkan leukosit normal atau rendah, serta sediaan apusan Gram, biakan sputum atau darah tidak ditemukan bakteri. Pemeriksaan laboratorium lain diantaranya adalah isolasi dengan menggunakan kultur sel *monolayer*, tetapi biakan sensitifitasnya sangat rendah. Selain itu, pemeriksaan lainnya diantaranya adalah deteksi antibodi *enzyme immunoassays* (EIA), deteksi antigen dari spesimen urin untuk *Legionella pneumophila*, *microimmunofluorescence* (MIF) merupakan standar diagnosis serologi untuk *C. Pneumoniae*, *Polymerase Chain Reaction* (PCR) dan Uji serologi (Kemenkes RI, 2021).

Antibiotik masih tetap merupakan pengobatan utama pada pneumonia termasuk pneumonia atipikal. Antibiotik terpilih pada pneumonia atipikal yang disebabkan oleh *M. Pneumoniae*, *C. Pneumoniae* dan *Legionella spp.* adalah golongan Makrolid (azitromisin, klaritromisin) dan Fluorokuinolon respirasi (levofloksasin, moksifloksasin) (Kemenkes RI, 2021).

TINJAUAN PUSTAKA

1. Karakteristik Umum *Mycoplasma pneumoniae*

Mycoplasma pneumoniae adalah bakteri patogen yang menjadi penyebab utama pneumonia atipikal pada manusia. Mikroorganisme ini memiliki karakteristik unik yang membedakannya dari bakteri lain, seperti tidak adanya dinding sel dan ukurannya yang sangat kecil. Infeksi *Mycoplasma pneumoniae* sering terjadi pada anak-anak dan dewasa muda serta dapat menyebabkan penyakit pernapasan yang ringan hingga sedang (Tille, 2017).

Mycoplasma pneumoniae termasuk dalam genus *Mycoplasma* dan merupakan bakteri pleomorfik yang tidak memiliki dinding sel, sehingga bersifat tahan terhadap antibiotik golongan beta-laktam. Ukurannya sekitar 0,2-0,3 μm , yang menjadikannya salah satu bakteri terkecil yang dapat hidup bebas. Bakteri ini bersifat aerob dan memiliki membran plasma dengan sterol, yang diperoleh dari inangnya. Karena tidak memiliki dinding sel, *Mycoplasma pneumoniae* bersifat fleksibel dan mampu melekat erat pada sel epitel pernapasan manusia melalui adhesin khusus (Tille, 2017).

Faktor Virulensi *Mycoplasma pneumoniae*

Jiang et al. (2021) menjelaskan bahwa faktor virulensi utama *Mycoplasma pneumoniae* adalah:

- **Adhesin:** Adhesin P1 adalah adhesin seluler utama yang membantu *M. pneumoniae* berikatan dengan sel inang. Reseptor inang untuk *M. pneumoniae* adalah glikoprotein sialilasi pada epitel pernapasan. Sifat dan kepadatan gugus reseptor inang mempengaruhi perlekatan dan mobilitas patogen. Adhesin P1 berikatan dengan ikatan α -2,3 dan α -2,6, namun hanya jenis ikatan terakhir yang mendukung perpindahan *M. pneumoniae*.
- **Toxic Metabolites:** *M. pneumoniae* menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2) dan superoksida, yang dapat merusak sel inang.
- **Community-acquired respiratory distress syndrome (CARDS) toxin:** *M. pneumoniae* menghasilkan toksin yang berkontribusi terhadap sindrom gangguan pernapasan. Toksin CARDS meningkatkan ekspresi sitokin proinflamasi IL-1 β , IL-6 dan TNF- α dengan cara yang bergantung pada dosis dan aktivitas.
- **Pembentukan biofilm:** *M. pneumoniae* dapat membentuk biofilm pada permukaan.
- **Variabilitas antigenik:** *M. pneumoniae* dapat memvariasikan antigennya sehingga dapat menghindari respon imun adaptif. Respon imun yang tidak memadai terhadap patogen yang menyerang menyebabkan proliferasi yang tidak terkendali dan kerusakan jaringan inang.
- **Glikolipid:** *M. pneumoniae* memiliki glikolipid yang dapat menembus ke sel epitel inang, mengganggu lapisan lipid bilayer pada membran sel dan menyebabkan kebocoran metabolit ionik.
- **Polisakarida kapsular:** *M. pneumoniae* memiliki struktur kapsuler yang terdiri dari polisakarida yang mungkin merupakan faktor virulensi potensial dan bersifat imunogenik, namun peran fungsionalnya dalam patogenesis masih belum jelas dan perlu dieksplorasi lebih lanjut.
- **Lipoprotein:** *M. pneumoniae* memiliki lipoprotein, termasuk yang dikodekan oleh MPN133. Lipoprotein *M. pneumoniae* dapat dikenali oleh Toll-like receptor (TLR)1, TLR2 dan TLR6, yang menstimulasi pelepasan sitokin proinflamasi termasuk Tumor necrosis factor (TNF)- α , Interleukin (IL)-1 β , IL-6 dan mediator inflamasi lainnya.

Pemeriksaan Diagnostik *Mycoplasma pneumoniae*

Diagnosis *Mycoplasma pneumoniae* dapat dilakukan melalui beberapa metode, di antaranya:

- **Pemeriksaan Serologi:** Deteksi antibodi IgM dan IgG terhadap *Mycoplasma pneumoniae* menggunakan ELISA. Sensitivitas pemeriksaan serologi bergantung pada waktu pengumpulan sampel serum pertama dan ketersediaan serum berpasangan yang dikumpulkan dengan interval ≥ 2 minggu untuk mengevaluasi konversi serum dan/atau peningkatan titer antibodi ≥ 4 kali lipat. Immunoglobulin serum spesifik MP-IgM biasanya dapat dideteksi dalam waktu sekitar 1 minggu setelah timbulnya gejala klinis, dan titer

puncaknya pada minggu ketiga, yang dapat digunakan sebagai indikator diagnostik infeksi paru baru-baru ini (Meyer Sauter et al., 2014).

- **PCR (*Polymerase Chain Reaction*):** Deteksi DNA *Mycoplasma pneumoniae* dari spesimen klinis (misalnya, sputum atau usapan nasofaring). Pemeriksaan PCR merupakan pemeriksaan baku dengan sensitivitas yang tinggi. Teknik amplifikasi asam nukleat yang digunakan untuk mendeteksi MP DNA atau RNA berbeda dalam pemilihan gen target yang digunakan (misalnya gen P1, 16S rDNA, 16S rRNA, gen ATPase operon, dll.). Masalah utama dengan pemeriksaan PCR adalah tidak bisa membedakan antara kolonisasi atau penularan tanpa gejala (Meyer Sauter et al., 2018) .
- **Kultur *Mycoplasma pneumoniae*:** Meskipun spesifik tetapi sensitivitas hanya 40%. Metode ini jarang digunakan karena membutuhkan waktu lama (2-6 minggu) dan media khusus (Waites et al., 2017). Media pertumbuhan bakteri menggunakan Sucrose phosphatbuffer/SP4 broth atau agar. morfologi koloni berbentuk *fried-egg colony* yang dapat dilihat di bawah mikroskop. Bila menggunakan spesimen darah, maka harus menggunakan medium khusus karena SPS dapat menghambat pertumbuhan *Mycoplasma*.

Pilihan Terapi *Mycoplasma pneumoniae*

Mycoplasma pneumoniae tidak memiliki dinding sel dan resisten terhadap semua antimikroba yang menargetkan dinding sel. *Mycoplasma pneumoniae* rentan terhadap antibiotik yang bekerja pada ribosom bakteri dan menghambat sintesis protein. Antibiotik yang umum digunakan antara lain makrolida seperti azitromisin, klaritromisin, roksitromisin, dll, antibiotik tetrasiklin baru seperti doksisisiklin, minosiklin dan omacycline, dan antibiotik golongan quinolon seperti levofloxacin, ciprofloxacin, moxifloxacin. Tetrasiklin dapat menghambat pemanjangan rantai peptida sintesis protein dengan bekerja pada subunit 30 S ribosom MP. Waktu pengobatan umumnya 10-14 hari, dan pada beberapa pasien yang parah dapat diperpanjang hingga sekitar 3 minggu (Gao and Sun, 2024).

2. Karakteristik umum *Chlamydia spp*

Chlamydia spp merupakan anggota ordo Chlamydiales dan famili Chlamydiaceae. *C. trachomatis*, *C. pneumoniae*, dan *Chlamydia psittaci* merupakan penyebab penting infeksi pada manusia. *Chlamydia spp* merupakan bakteri intraseluler obligat yang pernah dianggap sebagai virus karena memerlukan ATP dari sel inang eukariotik untuk mendorong pertumbuhan dan replikasi intraseluler. *Chlamydia spp* mirip dengan basil gram negatif karena memiliki lipopolisakarida (LPS) sebagai komponen dinding selnya. Namun, LPS *Chlamydia spp* hanya memiliki sedikit aktivitas endotoksik. *Chlamydia spp* memiliki protein membran luar yang utama (MOMP) (Tille, 2017).

Chlamydia spp memiliki siklus perkembangan yang unik yaitu bentuk replikasi intraseluler, yang dikenal sebagai *reticular body* (RB), dan bentuk yang inert secara metabolik dan infeksi yang dikenal sebagai *elementary body* (EB). Setelah menginfeksi sel inang, EB berdiferensiasi menjadi RB lalu RB membelah dengan pembelahan biner di dalam vakuola. Semakin banyak jumlah RB, maka vakuola akan mengembang dan membentuk intrasitoplasma. Kemudian, RB berdiferensiasi menjadi EB, lalu 48 - 72 jam pasca infeksi, EB dilepaskan dari sel inangnya (Tille, 2017).

Chlamydia pneumoniae dan *Chlamydia psittaci* adalah bakteri intraseluler obligat yang menyebabkan infeksi saluran pernapasan manusia. *Chlamydia pneumoniae* terutama dikaitkan dengan pneumonia atipikal pada manusia, sedangkan *Chlamydia psittaci* merupakan agen penyebab psittacosis, penyakit zoonotik yang dapat ditularkan dari burung ke manusia.

Chlamydia pneumoniae awalnya dikenal dengan TWAR (*original isolate-Taiwan TW-183 & AR-39*). *C. pneumoniae* merupakan bakteri patogen pada manusia. Bakteri ini ditularkan melalui droplet pernapasan dan sering menyebabkan infeksi saluran pernapasan atas serta pneumonia komunitas. Penularan melalui asimtomatik carrier juga telah dilaporkan. Masa inkubasinya bisa sekitar 3-4 minggu, lebih lama dari kebanyakan infeksi saluran pernapasan. *C. pneumoniae* adalah bakteri intraseluler yang paling umum, yang terutama terlibat dalam infeksi saluran pernafasan dan kadang-kadang bermanifestasi sebagai penyakit ekstra paru.

Chlamydia psittaci juga merupakan bakteri gram-negatif dengan siklus hidup yang serupa. Bakteri ini terutama ditularkan melalui inhalasi debu atau sekresi burung yang terinfeksi. Infeksi pada manusia dapat menyebabkan psittacosis, yang ditandai dengan pneumonia berat dan manifestasi sistemik lainnya.

Faktor Virulensi *Chlamydia spp*

Xaplanteri et al., (2023) menjelaskan bahwa faktor virulensi *Chlamydia spp* diantaranya adalah:

- **Type 3 secretion system (T3SS):** T3SS berfungsi sebagai saluran untuk mendorong pengiriman protein efektor patogen ke dalam sitoplasma sel inang. Melalui alat ini, mikroorganisme dapat menyuntikkan protein langsung ke sel inang dan menghindari lisosom. Effector protein ini dapat memengaruhi sitoskeleton aktin dan menyebabkan endocytosis.
- **Translocated actin-recruiting phosphoprotein (TARP):** Protein ini mengaktifkan Rac dan Cdc42 GTPases yang mengendalikan polimerisasi aktin. Setelah EB menempel pada sel inang, TarP disuntikkan ke dalam sel inang. Translokasi ini dilakukan melalui sistem sekretori klamidia tipe 3. TarP memiliki tiga situs pengikatan untuk vinculin. Selain itu, TarP dilaporkan berinteraksi dengan fokal adhesi kinase (FAK) dan dengan demikian mampu mengubah sinyal adhesi sel. Dengan cara ini, *Chlamydia* menggunakan matriks ekstraseluler dan sambungan sel-ke-sel untuk kepentingannya dalam mendorong masuknya ke dalam sel inang.
- **Inclusion membrane proteins (Incs):** Protein ini merupakan komponen struktural membran dan dapat mengganggu jalur sel inang.
- **Dinding sel:** Dinding sel *Chlamydia spp.* mengandung LPS dan jaringan adhesin protein kaya sistein.
- **Major outer membrane protein (MOMP):** Protein ini berfungsi sebagai adhesin dan porin β -barrel.

Pemeriksaan Diagnostik *Chlamydia spp*

Pemeriksaan Diagnostik *Chlamydia spp* diantaranya menurut Gautam dan Krawiec (2025) adalah:

- **Serologi:** Deteksi antibodi IgM dan IgG menggunakan ELISA atau mikroiimunofluoresensi (MIF) menggunakan spesimen darah.

- **PCR (Polymerase Chain Reaction):** Untuk teknologi PCR saat ini hanya digunakan untuk *C. trachomatis* dan *C. psittaci* karena belum ada PCR terstandar untuk diagnosis *C. pneumoniae*. Spesimen PCR menggunakan nasopharyngeal swab, sputum, atau bronchoalveolar lavage
- **Kultur Sel:** *Chlamydia* spp tidak dapat dikultur pada media artifisial sehingga harus dilakukan di kultur sel. Tetapi kultur sel jarang digunakan dalam praktik klinis karena kesulitan dalam membiakkan bakteri intraseluler ini.

Pilihan Terapi *Chlamydia* spp

Gautam dan Krawiec (2025) menjelaskan bahwa pilihan terapi antibiotik lini pertama dibedakan berdasarkan spesies :

C. pneumoniae : azithromycin ; alternatif : Tetracycline, clarithromycin, doxycycline, fluoroquinolones

C. psittaci : doxycycline/tetracycline ; alternatif : macrolide

3. Karakteristik umum *Legionella pneumophila* spp

Legionella pneumophila adalah bakteri gram-negatif yang merupakan penyebab utama legionellosis, termasuk penyakit *Legionnaires* dan *Pontiac fever*. Bakteri ini memiliki flagela untuk motilitas dan tidak membentuk spora. Bakteri ini dapat bertahan dan berkembang biak dalam makrofag dan amuba. Bakteri aerob obligat dengan kebutuhan nutrisi khusus, memerlukan L-cysteine dan ion besi untuk pertumbuhan optimal (Tille, 2017).

Bakteri ini ditemukan secara alami di lingkungan air tawar, seperti danau dan sungai. Bakteri ini dapat menjadi penyebab masalah kesehatan ketika tumbuh dan menyebar di sistem air buatan manusia seperti kamar mandi dan keran, unit AC untuk bangunan besar, bak mandi air panas yang tidak dikeringkan setelah digunakan, tangki air panas dan pemanas (t= 5,7-63 C). Infeksi terjadi melalui inhalasi aerosol yang mengandung bakteri (Tille, 2017).

Faktor Virulensi *Legionella pneumophila*

Faktor virulensi *Legionella pneumophila* diantaranya adalah:

- **Sistem Sekresi Tipe IV (Dot/Icm):** Memungkinkan bakteri untuk menghindari degradasi dalam fagolisosom dan berkembang di dalam fagosom makrofag.
- **Lipopolisakarida (LPS):** Berperan dalam perlindungan terhadap respons imun inang.
- **Protein Efektor:** Mengubah fungsi sel inang, memungkinkan replikasi bakteri di dalam vakuola *Legionella*-containing vacuole (LCV).
- **Enzim Proteolitik dan Sitotoksin:** Berkontribusi pada kerusakan jaringan dan inflamasi.

Pemeriksaan Diagnostik *Legionella pneumophila*

Menurut Brady et al.(2025), pemeriksaan diagnostik *Legionella pneumophila* diantaranya adalah:

- **Pemeriksaan Antigen Urin:** Tes antigen urin melalui imunokromatografi adalah tes diagnostik cepat dan tersedia secara luas dengan sensitivitas > 85% dan spesifisitas > 99% untuk *Legionella pneumophila*. Namun, uji yang tersedia hanya menguji serogrup *L. pneumophila* 1 (Brady et al.(2025)).

- **Kultur pada Media BCYE (*Buffered Charcoal Yeast Extract*):** Kultur sputum dianggap sebagai standar emas untuk diagnosis legionellosis. Kultur sputum memungkinkan identifikasi spesifik spesies, serogrup, dan kerentanan antibiotik. Namun, mendapatkan sputum mungkin sulit dilakukan, dan hasilnya baru terlihat dalam beberapa hari. Sensitivitas kultur sputum berkurang secara signifikan pada pasien yang sudah menjalani terapi antimikroba.
- **PCR (*Polymerase Chain Reaction*):** Metode sensitif untuk deteksi DNA *Legionella pneumophila*. PCR untuk DNA legionella dapat dilakukan pada berbagai spesimen, seperti dahak, darah, urin, atau jaringan. PCR dapat memberikan hasil diagnostik dalam waktu beberapa jam dengan sensitivitas dan spesifisitas tinggi. Namun, PCR tidak tersedia secara luas, memerlukan peralatan dan keahlian khusus, dan tidak dapat memberikan gambaran sensitivitas antibiotik atau tipe epidemiologi.
- **Serologi:** Deteksi antibodi terhadap *Legionella pneumophila* menggunakan metode ELISA atau imunofluoresensi.

Pilihan Terapi *Legionella pneumophila*

Pilihan terapi *Legionella pneumophila* menurut Brady et al. (2025) diantaranya adalah:

- Makrolida (misalnya, Azitromisin, Klaritromisin): Pilihan utama untuk kasus ringan hingga sedang.
- Fluorokuinolon (misalnya, Levofloksasin, Moksifloksasin): Efektif untuk infeksi berat, terutama pada pasien imunokompromais.
- Tetrasiklin (misalnya, Doksisiklin): Alternatif untuk pasien yang tidak dapat menerima makrolida atau fluorokuinolon.

KESIMPULAN

Pneumonia atipikal merupakan entitas klinis yang penting dengan etiologi utama *Mycoplasma pneumoniae*, *Chlamydia spp.*, dan *Legionella pneumophila*. Karakteristik unik patogen ini memerlukan pendekatan diagnostik dan terapeutik yang berbeda dibandingkan pneumonia tipikal. Penggunaan metode molekuler dan serologi sangat membantu dalam diagnosis, sementara terapi antibiotik yang tepat dapat meningkatkan luaran klinis. Pemahaman yang baik mengenai patogenesis dan faktor virulensi juga penting dalam upaya pencegahan dan pengendalian resistensi antimikroba.

DAFTAR PUSTAKA

- Brady, M.F., Awosika, A.O., Nguyen, A.D., Sundaresan, V., (2025). Legionnaires Disease. *in: StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Gao, L. and Sun, Y. (2024). Laboratory diagnosis and treatment of *Mycoplasma pneumoniae* infection in children: A review', *Ann. Med.*, 56(1). doi: 10.1080/07853890.2024.2386636.
- Gautam, J. and Krawiec, C. (2025) Chlamydia pneumonia. *In: StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Jiang, Z., Li, S., Zhu, C., Zhou, R. and Leung, P.H.M. (2021) *Mycoplasma pneumoniae*

- infections: Pathogenesis and vaccine development. *Pathogens*, 10(2), p.119. doi: 10.3390/pathogens10020119
- Kementerian Kesehatan RI. (2021). Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Tata Laksana Pneumonia,” *Kementerian. Kesehatan. RI*, pp. 1–85.
- Meyer Sauter, P.M., et al. (2014). Antibody responses to *Mycoplasma pneumoniae*: Role in pathogenesis and diagnosis of encephalitis?. *PLoS Pathogens*, 10(6), p. e1003983. doi: 10.1371/journal.ppat.1003983.
- Meyer Sauter, P.M., Unger, W.W.J., van Rossum, A.M.C. and Berger, C. (2018) ‘The art and science of diagnosing *Mycoplasma pneumoniae* infection’, *Pediatric Infectious Disease Journal*, 37(11), pp. 1192–1195. doi: 10.1097/INF.0000000000002171.
- Tille, P.M., (2017). *Bailey & Scott’s Diagnostic microbiology*, xj 14th ed. St Louis: Elsevier.
- Waites, K.B., Xiao, L., Liu, Y., Balish, M.F. and Atkinson, T.P. (2017). *Mycoplasma pneumoniae* from the respiratory tract and beyond. *Clinical Microbiology Reviews*, 30(3), pp. 747–809. doi: 10.1128/CMR.00114-16.
- Xaplanteri, P., Rodis, N. and Potsios, C. (2023) Virulence factors of *Chlamydia* spp. involving human infections. In *Chlamydia – Secret Enemy From Past to Present*. London: IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.109742.

Literature Review

Penyakit Infeksi Virus pada Manusia Aspek Etiologi, Patogenesis, dan Manifestasi Klinis

Siti Sabrina Salsabilla¹, Risma Pangestu Widhanar¹, Hazza Igor Sabilillah P. A. R¹, Eva Pupa Artha Paulina¹, Aldya Afdalya Wiratami¹, Kamelia Hadiani Deliana¹, Riqueza Narapati¹, Navisha Syahwa Ayugia¹, Aslahatul Auliya Junaidah¹, Khadijah Amelia Putri¹, Rivaldino Haryo Kusuma Werdana¹, Ayu Lidya Paramita²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Mikrobiologi, Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Penyakit akibat paparan virus menjadi pemicu dominan morbiditas dan mortalitas dunia, dengan variasi manifestasi klinis dari infeksi ringan hingga kondisi yang mengancam jiwa. Virus sebagai parasit intraseluler obligat memiliki kemampuan bereplikasi cepat dan beradaptasi melalui mutasi, sehingga menyulitkan upaya pengendalian penyakit. Penularan infeksi virus dapat terjadi melalui berbagai jalur, termasuk respiratorik, kontak langsung, vektor, serta transmisi vertikal. Proses patogenesis melibatkan invasi virus ke sel inang, replikasi, serta respons imun yang dapat bersifat protektif maupun merusak jaringan. Manifestasi klinis sangat bervariasi tergantung jenis virus, organ target, dan status imun inang. Diagnosis infeksi virus memerlukan pendekatan klinis yang didukung pemeriksaan laboratorium dan penunjang untuk memastikan etiologi dan derajat keparahan penyakit. Penatalaksanaan difokuskan pada terapi suportif, penggunaan antivirus spesifik, pencegahan komplikasi, serta pengendalian penularan. Literature review ini bertujuan untuk mengkaji aspek etiologi, patogenesis, manifestasi klinis, diagnosis, dan penatalaksanaan penyakit infeksi virus pada manusia.

Kata Kunci : Penyakit Infeksi Virus, Etiologi Virus, Patogenesis, Manifestasi Klinis, Diagnosis, Penatalaksanaan

ABSTRACT

Pathologies associated with viral exposure represent a dominant determinant of global morbidity and mortality, exhibiting a spectrum of clinical presentations from minor infections to critical, life-endangering states. Viruses, as obligate intracellular parasites, have the ability to replicate rapidly and adapt through mutations, making disease control efforts challenging. Virus infection transmission can occur through various routes, including respiratory, direct contact, vectors, and vertical transmission. The pathogenesis process involves the invasion of viruses into host cells, replication, and immune responses that can be either protective or tissue-damaging. Clinical manifestations vary greatly depending on the type of virus, target organ, and the host's immune status. The diagnosis of virus infections requires a clinical approach supported by laboratory tests and additional examinations to determine the etiology and severity of the disease. Management focuses on supportive therapy, the application of specific antivirus, prevention of complications, and control of transmission. This literature

review aims to examine the aspects of etiology, pathogenesis, clinical manifestations, diagnosis, and management of virus infections in humans.

Keywords : *Virus Infectious Diseases, Virus Etiology, Pathogenesis, Clinical Manifestations, Diagnosis, Management*

Correspondence : ayu.lp@um-surabaya.ac.id

PENDAHULUAN

Penyakit akibat paparan virus diidentifikasi sebagai penyumbang signifikan terhadap angka kesakitan dan kematian dunia (Y. Li et al., 2022). Seiring dengan perkembangan globalisasi, mobilitas manusia yang tinggi, serta perubahan lingkungan dan iklim, risiko penyebaran penyakit infeksi virus semakin meningkat (Lim et al., 2023). Berbagai kejadian wabah dan pandemi yang disebabkan oleh virus, seperti influenza, Ebola, SARS, MERS, dan COVID-19, menunjukkan bahwa infeksi virus hingga kini terus menjadi tantangan krusial bagi sistem kesehatan pada skala internasional (Gebremichael et al., 2022). Menurut analisis epidemiologis, penyakit infeksi virus menyumbang secara signifikan terhadap angka kematian dan beban penyakit di berbagai negara (G B D, 2025). Pada 2021, infeksi virus termasuk COVID-19, hepatitis virus, HIV/AIDS, dengue, rabies dan Ebola diperkirakan menyumbang sekitar 8,7 juta kematian dan 259,2 juta DALYs sekitar 12,8% dari jumlah penyebab kematian dunia pada tahun yang sama (X. C. Li et al., 2024). Selain itu, penyakit virus yang ditularkan melalui vektor seperti dengue telah dilaporkan dengan jutaan kasus setiap tahun dan ribuan kasus berat yang mengancam jiwa di lebih dari 90 negara (Wulan, 2024).

Virus memiliki karakteristik biologis yang berbeda dibandingkan dengan agen infeksi lainnya, seperti bakteri atau parasit (Almeria et al., 2021). Virus merupakan organisme parasitik intraseluler obligat yang keberlangsungan hidup dan proses reproduksi sepenuhnya bergantung pada sel hidup milik inang (Koonin et al., 2022). Ketergantungan virus terhadap sel inang menyebabkan proses infeksi virus melibatkan interaksi antara virus dan sistem biologis manusia (Montoya et al., 2023). Interaksi ini menentukan keberhasilan infeksi, derajat keparahan penyakit, serta luaran klinis yang dialami pasien. Penyakit infeksi virus tidak dapat dilepaskan dari tiga aspek utama, yaitu etiologi, patogenesis, dan manifestasi klinis (Aghagoli et al., 2021; de Lima Cavalcanti et al., 2022). Etiologi berfokus pada identifikasi virus sebagai agen penyebab, karakteristik biologisnya, serta cara penularannya (Ma et al., 2021). Patogenesis menjelaskan mekanisme terjadinya penyakit mulai dari masuknya virus ke dalam tubuh hingga terjadinya kerusakan jaringan dan gangguan fungsi organ (Hansen, 2023). Manifestasi klinis merupakan hasil akhir dari proses patogenetik yang tampak dalam bentuk gejala dan tanda klinis pada pasien (Rahman et al., 2021).

Banyak faktor yang berkontribusi terhadap tingginya beban penyakit infeksi virus, termasuk globalisasi dan mobilitas manusia yang tinggi, perubahan iklim yang memperluas jangkauan vektor, rendahnya tingkat vaksinasi di beberapa negara, serta keterbatasan akses terhadap diagnostik dan perawatan yang memadai (Huang et al., 2023). Laporan terbaru dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menekankan pentingnya upaya pencegahan dan pengendalian infeksi untuk mengurangi penyebaran infeksi dan dampak klinisnya di masyarakat. Literature review ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif penyakit

infeksi virus pada manusia dengan menitikberatkan pada aspek etiologi, patogenesis, dan manifestasi klinis. Tinjauan ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik utama virus sebagai agen penyebab penyakit, memahami mekanisme biologis yang mendasari terjadinya infeksi dan kerusakan jaringan, serta menggambarkan variasi manifestasi klinis yang muncul akibat interaksi antara virus dan inang. Dengan mengintegrasikan temuan-temuan dari berbagai sumber ilmiah terkini, literature review ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang sistematis dan berbasis bukti mengenai penyakit infeksi virus, serta menjadi dasar pengetahuan yang relevan bagi mahasiswa dan praktisi kedokteran dalam menunjang proses diagnosis, penatalaksanaan, dan pencegahan penyakit infeksi virus.

TINJAUAN LITERATUR

Etiologi Penyakit Infeksi Virus pada Manusia

Etiologi penyakit infeksi virus berkaitan dengan virus sebagai agen penyebab penyakit serta faktor-faktor yang memungkinkan terjadinya infeksi pada manusia (Pardons et al., 2023). Virus merupakan mikroorganisme subseleuler yang bersifat parasit intraseluler obligat, sehingga keberlangsungan hidup dan replikasinya sepenuhnya bergantung pada sel inang (Guo et al., 2023). Struktur virus yang relatif sederhana terdiri atas materi genetik berupa asam nukleat (DNA atau RNA) (Okada et al., 2021) sebagai materi genetik yang terbungkus oleh kapsid protein, dan pada beberapa virus disertai adanya selubung lipid (envelope) yang mengandung glikoprotein penting dalam proses infeksi (Theken et al., 2021). Penggolongan virus penyebab penyakit pada manusia didasarkan pada tipe asam nukleatnya, yang meliputi virus DNA dan RNA (Cheshomi et al., 2025). Virus RNA umumnya memiliki tingkat mutasi yang tinggi akibat keterbatasan mekanisme proofreading saat replikasi, sehingga mudah mengalami perubahan antigenik (Dadonait et al., 2023). Kondisi ini berkontribusi terhadap munculnya varian baru, peningkatan virulensi, serta kemampuan virus untuk menghindari respons imun inang. Sebaliknya, virus DNA cenderung lebih stabil secara genetik dan dapat menetap dalam tubuh inang dalam bentuk infeksi laten, yang sewaktu-waktu dapat mengalami reaktivasi (Sanjuan & Domingo-Calap, 2021).

Penularan virus terjadi melalui berbagai mekanisme yang dipengaruhi oleh karakteristik biologis virus dan lingkungan. Jalur penularan meliputi transmisi respiratorik melalui droplet atau aerosol, kontak langsung dengan kulit atau mukosa, paparan cairan tubuh, asupan pangan atau air yang tercemar, kontak seksual, serta transmisi melalui vektor. Selain itu, transmisi vertikal dari ibu ke janin juga berperan dalam beberapa infeksi virus, yang dapat menyebabkan gangguan kongenital (Pascoal et al., 2023). Faktor inang memiliki peranan penting dalam etiologi penyakit infeksi virus. Status imun, usia ekstrem (neonatus dan lansia), status gizi, serta adanya penyakit penyerta dapat memengaruhi kerentanan terhadap infeksi dan keparahan penyakit. Faktor lingkungan seperti kepadatan penduduk, sanitasi yang buruk, dan keterbatasan akses layanan kesehatan turut berkontribusi terhadap peningkatan risiko penyebaran infeksi virus.

Patogenesis Penyakit Infeksi Virus

Patogenesis penyakit infeksi virus merupakan rangkaian proses biologis yang terjadi sejak virus masuk ke dalam tubuh hingga munculnya kerusakan jaringan dan gangguan fungsi organ (Whitley, 2023). Tahap awal patogenesis dimulai dari paparan virus dan masuknya virus ke dalam tubuh melalui portal masuk tertentu. Keberhasilan infeksi sangat ditentukan oleh kemampuan virus untuk mencapai sel target dan berikatan dengan reseptor spesifik di permukaan sel inang (Dufloo et al., 2025). Setelah perlekatan, virus akan melakukan penetrasi dan uncoating, yaitu pelepasan materi genetik virus ke dalam sitoplasma atau inti sel. Materi genetik ini kemudian mengalami replikasi dan transkripsi dengan memanfaatkan enzim dan struktur sel inang. Proses replikasi virus yang masif dapat menyebabkan kerusakan sel secara langsung melalui lisis sel, induksi apoptosis, atau gangguan fungsi metabolik sel (Zhan et al., 2024).

Selain efek sitopatik langsung, patogenesis infeksi virus juga sangat dipengaruhi oleh respons imun inang (Yang, 2025). Sistem imun bawaan memberikan respons awal melalui produksi interferon, aktivasi sel natural killer, dan pelepasan sitokin proinflamasi. Respons ini bertujuan untuk membatasi replikasi virus dan mencegah penyebaran infeksi (Dalskov et al., 2023). Selanjutnya, sistem imun adaptif berperan melalui aktivasi limfosit T sitotoksik yang menghancurkan sel terinfeksi serta pembentukan antibodi oleh limfosit B. Pada kondisi tertentu, ketidakterkendalian respons imun dapat memicu dampak patologis berupa cedera pada jaringan. Pelepasan sitokin dalam jumlah besar dapat menimbulkan peradangan sistemik, peningkatan permeabilitas pembuluh darah, dan disfungsi organ. Mekanisme ini berperan dalam terjadinya komplikasi berat pada beberapa infeksi virus (Nie et al., 2025).

Manifestasi Klinis Penyakit Infeksi Virus

Manifestasi klinis penyakit infeksi virus merupakan ekspresi klinis dari mekanisme patogenetik dalam tubuh. Gejala klinis yang muncul bergantung pada organ target yang terinfeksi dan intensitas respons imun (Trifonova et al., 2025). Secara umum, infeksi virus menimbulkan gejala sistemik awal berupa demam, malaise, kelelahan, nyeri otot, dan penurunan nafsu makan, yang merupakan manifestasi respons inflamasi tubuh terhadap infeksi (Kyokha Ameen, 2025). Manifestasi klinis berkaitan dengan jaringan atau organ yang menjadi target utama virus. Infeksi virus pada saluran pernapasan dapat menimbulkan gejala ringan hingga berat, seperti batuk, pilek, sesak napas, dan gangguan pertukaran gas (Jiang et al., 2023). Infeksi virus pada saluran pencernaan dapat menyebabkan diare, mual, dan muntah, sedangkan infeksi virus hepatotropik dapat menyebabkan peradangan hati yang ditandai dengan ikterus dan gangguan fungsi hati. Infeksi virus pada sistem saraf pusat dapat menimbulkan gejala neurologis seperti kejang, gangguan kesadaran, atau defisit neurologis fokal (Lhomme et al., 2021).

Penularan Penyakit Infeksi Virus

Penularan penyakit infeksi virus merupakan proses perpindahan virus dari satu inang ke inang lain yang dipengaruhi oleh karakteristik biologis virus, reservoir, serta faktor lingkungan dan perilaku manusia (Tabatabaei et al., 2025). Jalur penularan yang beragam menyebabkan perbedaan pola epidemiologi, kecepatan penyebaran, dan tingkat keparahan wabah di

masyarakat. Salah satu jalur penularan yang paling umum adalah transmisi respiratorik melalui droplet dan aerosol (B. Cao et al., 2025). Patogen virus respiratori, termasuk influenza dan SARS-CoV-2, ditularkan melewati partikel cairan yang dikeluarkan saat batuk, bersin, berbicara, atau bernapas. Droplet berukuran besar cenderung jatuh ke permukaan dalam jarak dekat, sedangkan aerosol berukuran kecil dapat memiliki persistensi lebih lama di atmosfer, terutama dalam lingkungan tertutup dengan sirkulasi udara yang buruk (Bale et al., 2022; Delikhoon et al., 2021).

Mekanisme ini menjelaskan tingginya tingkat penularan penyakit respiratorik di lingkungan padat penduduk. Data WHO menunjukkan bahwa penularan melalui udara berperan besar dalam terjadinya wabah COVID-19, dengan ratusan juta kasus tercatat sejak 2020. Selain itu, transmisi virus dimungkinkan melalui interaksi langsung dengan cairan biologis tubuh, meliputi darah, saliva, dan cairan genital. Jalur ini berperan penting dalam penularan HIV, hepatitis B, dan hepatitis C. WHO melaporkan bahwa hingga 2024, lebih dari 300 juta individu terpapar hepatitis B atau C kronis, yang sebagian besar ditularkan melalui paparan darah dan hubungan seksual tanpa proteksi (Alfaro-Perez et al., 2025; Habibu et al., 2025).

Rute fekal-oral berperan penting dalam penyebaran virus, terutama yang menyerang sistem gastrointestinal, seperti rotavirus, norovirus, dan hepatitis A. Infeksi berlangsung melalui ingestasi makanan atau air yang tercemar tinja yang memuat virus. Jalur ini sangat berkaitan dengan sanitasi yang buruk dan sering menjadi penyebab wabah di daerah dengan akses air bersih yang terbatas (Zheng et al., 2025). Beberapa virus ditularkan melalui vektor, terutama nyamuk, seperti virus dengue, Zika, dan chikungunya. WHO melaporkan bahwa dengue menyebabkan ratusan juta infeksi setiap tahun dan telah menjangkau 100 negara lebih, dengan peningkatan insiden yang berkorelasi dengan perubahan iklim. Selain itu, terdapat transmisi vertikal, yaitu transmisi maternal ke janin yang berlangsung pada fase kehamilan, saat persalinan, atau selama menyusui. Virus seperti HIV, hepatitis B, dapat ditularkan secara vertikal dan berpotensi menyebabkan gangguan pertumbuhan, kelainan kongenital, atau infeksi kronis pada bayi (Tajik et al., 2024).

Respons Imun Inang terhadap Infeksi Virus

Respons imun inang terhadap infeksi virus merupakan mekanisme pertahanan tubuh yang bertujuan untuk mengenali, membatasi, dan mengeliminasi virus. Interaksi antara sistem imun bawaan dan adaptif memainkan peran penting dalam menentukan manifestasi klinis penyakit (Shen et al., 2023). Saat virus menginvasi tubuh, sel imun bawaan mendeteksi PAMPs melalui PRRs, termasuk TLRs (Rex et al., 2023). Aktivasi reseptor ini memicu sekresi interferon tipe I (IFN- α dan IFN- β) yang berfungsi menekan replikasi virus dan menginduksi keadaan antivirus pada sel di sekitarnya.

Selain interferon, sel natural killer (NK) berperan penting dalam menghancurkan sel yang terinfeksi virus, terutama pada fase awal infeksi sebelum respons imun adaptif terbentuk. Pelepasan sitokin dan kemokin proinflamasi membantu merekrut sel imun lain ke lokasi infeksi, namun juga dapat menyebabkan gejala sistemik seperti demam dan malaise. Menurut National Center for Biotechnology Information (NCBI), respons imun bawaan yang efektif dapat mengendalikan infeksi virus pada tahap awal dan mencegah penyebaran lebih lanjut.

Ketika sistem imun bawaan tidak mampu sepenuhnya mengeliminasi virus, sistem imun adaptif akan diaktifkan sebagai respons lanjutan yang bersifat antigen-spesifik dan memerlukan waktu beberapa hari hingga minggu untuk berkembang. Limfosit T sitotoksik (CD8⁺) bertanggung jawab dalam mengenali dan membunuh sel terinfeksi melalui antigen yang disajikan oleh MHC kelas I. Sementara itu, limfosit B mengalami diferensiasi menjadi sel plasma yang memproduksi antibodi spesifik guna menetralkan virus dan menghambat infeksi ulang (Lu et al., 2023).

Limfosit T helper (CD4⁺) berfungsi mengoordinasikan respons imun dengan melepaskan sitokin yang mendukung aktivasi sel B dan sel T lainnya. Keistimewaan sistem imun adaptif terletak pada pembentukan memori imunologis, yang berperan dalam meningkatkan kecepatan dan efektivitas respons terhadap paparan ulang virus. Prinsip ini menjadi dasar pengembangan vaksin. Namun demikian, respons imun yang tidak seimbang dapat menimbulkan dampak merugikan. Respons imun yang terlalu lemah dapat menyebabkan infeksi persisten, sedangkan respons yang berlebihan dapat memicu peradangan sistemik dan kerusakan organ, seperti yang terlihat pada fenomena badai sitokin (Ning et al., 2025). Oleh karena itu, keseimbangan respons imun sangat menentukan derajat keparahan penyakit dan prognosis pasien dengan infeksi virus.

Diagnosis Penyakit Infeksi Virus

Diagnosis penyakit infeksi virus merupakan tahapan dalam upaya penegakan diagnosis yang tepat, penentuan derajat keparahan penyakit, serta pemilihan strategi terapi dan tindakan pencegahan penularan. Diagnosis dilakukan melalui evaluasi klinis, pemeriksaan laboratorium, dan pemeriksaan penunjang, mengingat manifestasi klinis infeksi virus sering kali bersifat nonspesifik dan tumpang tindih dengan penyakit infeksi lainnya. Diagnosis klinis diawali dengan anamnesis yang rinci untuk menggali keluhan utama, perjalanan penyakit, riwayat paparan terhadap individu terinfeksi, riwayat perjalanan ke daerah endemis, status imunisasi, serta faktor risiko seperti usia lanjut, penyakit komorbid, dan kondisi immunosupresi (L. Cao et al., 2025; Endo et al., 2025).

Pemeriksaan fisik dilakukan secara sistematis dengan fokus pada organ yang paling sering terdampak, seperti pemeriksaan saluran pernapasan pada dugaan infeksi virus respiratorik, pemeriksaan kulit dan mukosa pada infeksi virus dengan manifestasi ruam, serta pemeriksaan neurologis pada infeksi virus yang bersifat neurotropik. Namun, gejala umum seperti demam, malaise, batuk, dan nyeri otot sering kali tidak spesifik, sehingga diagnosis klinis saja belum cukup untuk memastikan etiologi virus dan memerlukan konfirmasi melalui pemeriksaan lanjutan.

Pemeriksaan laboratorium merupakan komponen utama dalam konfirmasi etiologi penyakit infeksi virus. Deteksi materi genetik virus melalui metode PCR atau NAAT menjadi standar emas karena memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, terutama dalam mendeteksi infeksi pada fase awal penyakit, seperti pada infeksi SARS-CoV-2 (Tabatabaei et al., 2025; Theken et al., 2021). Selain itu, pemeriksaan serologi digunakan untuk menilai respons imun inang terhadap virus melalui deteksi antibodi IgM dan IgG, di mana IgM mengindikasikan infeksi akut, sedangkan IgG mencerminkan infeksi lampau atau imunitas pascainfeksi maupun vaksinasi. Pemeriksaan antigen cepat juga banyak digunakan karena kemudahan dan kecepatan hasil, meskipun sensitivitasnya relatif lebih rendah dibandingkan

PCR. Pada infeksi virus tertentu, seperti dengue dan hepatitis, diagnosis dapat ditegakkan melalui deteksi genom virus, antigen spesifik seperti NS1, isolasi virus, serta pemeriksaan serologi, yang pemilihannya disesuaikan dengan fase penyakit dan ketersediaan fasilitas laboratorium.

Selain pemeriksaan etiologis, pemeriksaan lain diperlukan untuk menilai dampak sistemik infeksi virus dan kemungkinan komplikasi. Pemeriksaan darah lengkap sering menunjukkan leukopenia atau trombositopenia pada beberapa infeksi virus. Pemeriksaan radiologis, seperti foto toraks atau CT scan, digunakan untuk mengevaluasi keterlibatan paru pada infeksi virus respiratorik. Pemeriksaan fungsi organ, seperti fungsi hati dan ginjal, juga penting untuk mendeteksi keterlibatan organ target, khususnya pada infeksi virus hepatotropik atau infeksi berat dengan risiko kegagalan multiorgan.

Penatalaksanaan Penyakit Infeksi Virus

Penatalaksanaan penyakit infeksi virus bertujuan untuk mengendalikan replikasi virus, meredakan gejala, mencegah serta menangani komplikasi, dan menurunkan risiko penularan. Strategi penatalaksanaan bersifat individual dan sangat bergantung pada jenis virus, fase infeksi, derajat keparahan penyakit, serta kondisi klinis dan imunologis pasien. WHO melaporkan pada infeksi COVID-19, sekitar 81% kasus bersifat ringan, 14% individu mengalami progresi penyakit menjadi derajat berat sehingga membutuhkan intervensi oksigen, dan sekitar 5% membutuhkan perawatan intensif termasuk ventilasi mekanik, sehingga menegaskan pentingnya terapi suportif dalam menurunkan angka morbiditas dan mortalitas (Alfaro-Perez et al., 2025; Habibu et al., 2025).

Sejumlah agen antivirus telah dimanfaatkan dalam penanganan infeksi virus tertentu, seperti remdesivir pada penderita COVID-19 (Beigel et al., 2020) dengan kondisi keparahan tertentu untuk mempercepat proses pemulihan, serta terapi antivirus jangka panjang pada hepatitis B dan C yang terbukti menurunkan replikasi virus dan mencegah komplikasi kronis. Pada infeksi HIV, terapi antiretroviral (ART) telah memberikan dampak, dengan sekitar 29,6 juta orang hidup dengan HIV menerima ART pada tahun 2021, yang berkontribusi besar terhadap penurunan mortalitas dan transmisi virus. Pemilihan terapi antivirus harus mempertimbangkan manfaat klinis, potensi efek samping, serta risiko resistensi virus (Montoya et al., 2023; Pardons et al., 2023).

Pada beberapa infeksi virus, respons imun inang yang berlebihan justru berperan dalam terjadinya kerusakan jaringan dan kegagalan organ. Dalam kondisi tersebut, terapi imunomodulator dapat dipertimbangkan untuk mengendalikan peradangan. Kortikosteroid digunakan pada kasus tertentu, seperti sindrom gangguan pernapasan akut (ARDS), untuk menekan respons inflamasi yang berlebihan. Selain itu, agen yang menargetkan sitokin tertentu masih terus diteliti untuk mengurangi dampak badai sitokin (Chaudhuri et al., 2021). Namun, penggunaan imunomodulator harus dilakukan secara hati-hati karena berpotensi menekan respons imun yang dibutuhkan untuk eliminasi virus. Infeksi virus berat dapat menimbulkan komplikasi serius seperti pneumonia berat, sepsis, atau kegagalan multiorgan yang memerlukan perawatan intensif (L. Cao et al., 2025). Pada kondisi seperti ARDS akibat COVID-19, pasien membutuhkan intervensi medis di ICU dengan ventilasi mekanik, dukungan hemodinamik, serta pemantauan ketat fungsi organ. Penatalaksanaan komplikasi

bersifat multidisiplin dan berfokus pada stabilisasi kondisi pasien serta pencegahan kerusakan organ lebih lanjut (Grotberg et al., 2023).

KESIMPULAN

Penyakit infeksi virus pada manusia masih merupakan masalah kesehatan dengan kontribusi besar terhadap angka morbiditas dan mortalitas. Tingginya beban penyakit ini dipengaruhi oleh karakteristik biologis virus sebagai parasit intraseluler obligat, kemampuan virus untuk bermutasi dan beradaptasi, serta berbagai faktor inang dan lingkungan yang mendukung terjadinya penularan dan infeksi. Globalisasi, mobilitas manusia yang tinggi, perubahan iklim, serta ketimpangan akses terhadap layanan kesehatan dan vaksinasi semakin meningkatkan risiko penyebaran penyakit infeksi virus secara luas. Respons imun berperan ganda, yaitu sebagai mekanisme pertahanan untuk mengeliminasi virus sekaligus sebagai faktor yang dapat menyebabkan kerusakan jaringan apabila terjadi secara berlebihan atau tidak terkontrol. Manifestasi klinis infeksi virus sangat bervariasi, berkisar dari gejala ringan sampai penyakit berat disertai komplikasi yang berpotensi fatal, tergantung dari jenis virus, organ target, serta kondisi imunologis inang. Penatalaksanaan penyakit infeksi virus bersifat individual dan meliputi terapi suportif, penggunaan antivirus spesifik, imunomodulator pada kondisi tertentu, serta perawatan intensif pada kasus berat. Selain itu, upaya pencegahan dan pengendalian penularan merupakan komponen esensial dalam menurunkan dampak penyakit infeksi virus di masyarakat.

REFERENCES

- Aghagoli, G., Gallo Marin, B., Katchur, N. J., Chaves-Sell, F., Asaad, W. F., & Murphy, S. A. (2021). Neurological involvement in COVID-19 and potential mechanisms: A review. *Neurocritical Care*, 34(3), 1062–1071. <https://doi.org/10.1007/s12028-020-01049-4>
- Alfaro-Perez, C., Barberá-Riera, M., de Llanos, R., & Delgado-Saborit, J. M. (2025). Systematic review and meta-analysis of methodological approaches for characterising airborne SARS-CoV-2 RNA for environmental surveillance. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01180-z>
- Almeria, S., Robertson, L., & Santin, M. (2021). Why foodborne and waterborne parasites are important for veterinarians. *Research in Veterinary Science*, 136, 198–199. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.02.020>
- Bale, R., Iida, A., Yamakawa, M., Li, C. G., & Tsubokura, M. (2022). Quantifying the COVID19 infection risk due to droplet/aerosol inhalation. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14862-y>
- Beigel, J. H., Tomashek, K. M., Dodd, L. E., Mehta, A. K., Zingman, B. S., Kalil, A. C., Hohmann, E., Chu, H. Y., Luetkemeyer, A., Kline, S., Lopez de Castilla, D., Finberg, R. W., Dierberg, K., Tapson, V., Hsieh, L., Patterson, T. F., Paredes, R., Sweeney, D. A., Short, W. R., ... Lane, H. C. (2020). Remdesivir for the Treatment of Covid-19 — Final

- Report. *New England Journal of Medicine*, 383(19), 1813–1826. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2007764>
- Cao, B., Zhang, H., & Zhang, N. (2025). Transmission of respiratory infectious diseases based on real close contact behavior in an emergency room. *Infectious Disease Modelling*, 10(4), 1238–1251. <https://doi.org/10.1016/j.idm.2025.07.004>
- Cao, L., Xiang, Y., Wu, Z., Chen, Q., Chen, F., Yang, G., & Li, H. (2025). Efficacy and safety of corticosteroids in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiology*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12871-025-03196-7>
- Chaudhuri, D., Sasaki, K., Karkar, A., Sharif, S., Lewis, K., Mammen, M. J., Alexander, P., Ye, Z., Lozano, L. E. C., Munch, M. W., Perner, A., Du, B., Mbuagbaw, L., Alhazzani, W., Pastores, S. M., Marshall, J., Lamontagne, F., Annane, D., Meduri, G. U., & Rochwerf, B. (2021). Corticosteroids in COVID-19 and non-COVID-19 ARDS: A systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Medicine*, 47(5), 521–537. <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06394-2>
- Cheshomi, N., Alum, A., Smith, M. F., Lim, E. S., Conroy-Ben, O., & Abbaszadegan, M. (2025). Viral concentration method biases in the detection of viral profiles in wastewater. *Applied and Environmental Microbiology*, 91(1). <https://doi.org/10.1128/aem.01339-24>
- Dadonaite, B., Crawford, K. H. D., Radford, C. E., Farrell, A. G., Yu, T. C., Hannon, W. W., Zhou, P., Andrabi, R., Burton, D. R., Liu, L., Ho, D. D., Chu, H. Y., Neher, R. A., & Bloom, J. D. (2023). A pseudovirus system enables deep mutational scanning of the full SARS-CoV-2 spike. *Cell*, 186(6), 1263–1278. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.02.001>
- Dalskov, L., Gad, H. H., & Hartmann, R. (2023). Viral recognition and the antiviral interferon response. *The EMBO Journal*, 42(14). <https://doi.org/10.15252/emboj.2022112907>
- de Lima Cavalcanti, T. Y. V, Pereira, M. R., de Paula, S. O., & França, R. F. O. (2022). A review on Chikungunya virus epidemiology, pathogenesis and current vaccine development. *Viruses*, 14(5), 969. <https://doi.org/10.3390/v14050969>
- Delikhon, M., Guzman, M. I., Nabizadeh, R., & Baghani, A. N. (2021). Modes of Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2 (SARS-CoV-2) and Factors Influencing on the Airborne Transmission: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 2–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph>
- Dufloo, J., Andreu-Moreno, I., Moreno-García, J., Valero-Rello, A., & Sanjuán, R. (2025). Receptor-binding proteins from animal viruses are broadly compatible with human cell entry factors. *Nature Microbiology*, 10(2), 405–419. <https://doi.org/10.1038/s41564-024-01879-4>
- Endo, M., Tokuyama-Toda, R., Shiota, T., & Satomura, K. (2025). Rapid diagnosis of viral infections and application to infection control. *BMC Infectious Diseases*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-025-11823-4>

- G B D. (2025). Global burden of 292 causes of death in 204 countries and territories and 660 subnational locations, 1990–2023. *The Lancet*, 406(10513), 1811–1872. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)01917-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)01917-8)
- Gebremichael, B., Hailu, A., Letebo, M., Berhanesilassie, E., Shumetie, A., & Biadgilign, S. (2022). Impact of good governance, economic growth and universal health coverage on COVID-19 infection and case fatality rates in Africa. *Health Research Policy and Systems*, 20(1), 130. <https://doi.org/10.1186/s12961-022-00932-0>
- Grotberg, J. C., Reynolds, D., & Kraft, B. D. (2023). Management of severe acute respiratory distress syndrome: a primer. In *Critical Care* (Vol. 27, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04572-w>
- Guo, J., Guo, S., Lu, S., Gong, J., Wang, L., Ding, L., Chen, Q., & Liu, W. (2023). The development of proximity labeling technology and its applications in mammals, plants, and microorganisms. *Cell Communication and Signaling*, 21(1), 269. <https://doi.org/10.1186/s12964-023-01310-1>
- Habibu, I., Abubakar, B. M., Moi, I. M., & Abdulrazaq, R. (2025). Seroprevalence of HIV, HBV, HCV and Syphilis among blood donors in a Nigerian tertiary medical centre. *BMC Infectious Diseases*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-025-11024-z>
- Hansen, M. (2023). Pathogenesis: Understanding the Mechanisms behind Disease Development. *International Research Journal of Basic and Clinical Studies*, 8(4), 1–3. <https://doi.org/10.14303/irjbc.2023.54>
- Huang, D. Q., Terrault, N. A., Tacke, F., Gluud, L. L., Arrese, M., Bugianesi, E., & Loomba, R. (2023). Global epidemiology of cirrhosis: Aetiology, trends and predictions. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 20(6), 388–398. <https://doi.org/10.1038/s41575-023-00759-2>
- Jiang, M. Y., Duan, Y. P., Tong, X. L., Huang, Q. R., Jia, M. M., Yang, W. Z., & Feng, L. Z. (2023). Clinical manifestations of respiratory syncytial virus infection and the risk of wheezing and recurrent wheezing illness: a systematic review and meta-analysis. In *World Journal of Pediatrics* (Vol. 19, Issue 11, pp. 1030–1040). Zhejiang University School of Medicine Children's Hospital. <https://doi.org/10.1007/s12519-023-00743-5>
- Koonin, E. V., Dolja, V. V., & Krupovic, M. (2022). The logic of virus evolution. *Cell Host & Microbe*, 30(7), 917–929. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2022.06.008>
- Kyokha Ameen, Y. (2025). Seasonal influenza: A narrative review of epidemiology, clinical features, and preventive strategies. *Cureus*, 17(10), e95336. <https://doi.org/10.7759/cureus.95336>
- Lhomme, S., Abravanel, F., Cintas, P., & Izopet, J. (2021). Hepatitis E virus infection: Neurological manifestations and pathophysiology. *Pathogens*, 10(12), 1582. <https://doi.org/10.3390/pathogens10121582>
- Li, X. C., Zhang, Y. Y., Zhang, Q. Y., Liu, J. S., Ran, J. J., Han, L. F., & Zhang, X. X. (2024). Global burden of viral infectious diseases of poverty based on Global Burden of Diseases

- Study 2021. *Infectious Diseases of Poverty*, 13(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s40249-024-01234-z>
- Li, Y., Wang, X., Blau, D. M., Caballero, M. T., Feikin, D. R., Gill, C. J., Madhi, S. A., Omer, S. B., Simões, E. A. F., & Investigators, R. (2022). Global, regional, and national disease burden estimates of acute lower respiratory infections due to respiratory syncytial virus in children younger than 5 years in 2019. *The Lancet*, 399(10340), 2047–2064. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)00478-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00478-0)
- Lim, A. Y., Jafari, Y., Caldwell, J. M., Clapham, H. E., Gaythorpe, K. A. M., Hussain-Alkhateeb, L., Johansson, M. A., Kraemer, M. U. G., Maude, R. J., McCormack, C. P., Messina, J. P., Mordecai, E. A., Rabe, I. B., Reiner, R. C., Ryan, S. J., Salje, H., Semenza, J. C., Rojas, D. P., & Brady, O. J. (2023). A systematic review of the data, methods and environmental covariates used to map Aedes-borne arbovirus transmission risk. *BMC Infectious Diseases*, 23(1), 708. <https://doi.org/10.1186/s12879-023-08717-8>
- Lu, W., Wang, L., & Xing, J. (2023). Editorial: Antiviral innate immune sensing, regulation, and viral immune evasion. In *Frontiers in Immunology* (Vol. 14). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1358542>
- Ma, L., Li, H., Lan, J., Hao, X., Liu, H., Wang, X., & Huang, Y. (2021). Comprehensive analyses of bioinformatics applications in the fight against COVID-19 pandemic. *Computational Biology and Chemistry*, 95, 107599. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2021.107599>
- Montoya, V. R., Ready, T. M., Felton, A., Fine, S. R., OhAinle, M., & Emerman, M. (2023). A virus-packageable CRISPR system identifies host dependency factors co-opted by multiple HIV-1 strains. *MBio*, 14(1). <https://doi.org/10.1128/mbio.00009-23>
- Nie, J., Zhou, L., Tian, W., Liu, X., Yang, L., Yang, X., Zhang, Y., Wei, S., Wang, D. W., & Wei, J. (2025). Deep insight into cytokine storm: from pathogenesis to treatment. In *Signal Transduction and Targeted Therapy* (Vol. 10, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/s41392-025-02178-y>
- Ning, J., Ren, Y., Zhang, Z., Zeng, X., Wang, Q., Xie, J., Xu, Y., Fan, Y., Li, H., Zhai, A., Li, B., Wu, C., & Chen, Y. (2025). Predicting SARS-CoV-2-specific CD4+ and CD8+ T-cell responses elicited by inactivated vaccines in healthy adults using machine learning models. *Clinical and Experimental Medicine*, 25(1). <https://doi.org/10.1007/s10238-025-01772-2>
- Okada, R., Moriyama, H., Ogawara, T., Cizek, H., & Valverde, R. A. (2021). Complete nucleotide sequence of an alphaendornavirus isolated from common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Archives of Virology*, 166(12), 3483–3486. <https://doi.org/10.1007/s00705-021-05264-y>
- Pardons, M., Cole, B., Lambrechts, L., van Snippenberg, W., Rutsaert, S., Noppe, Y., De Langhe, N., Dhondt, A., Vega, J., Eyassu, F., Nijs, E., Van Gulck, E., Boden, D., & Vandekerckhove, L. (2023). Potent latency reversal by Tat RNA-containing nanoparticle

- enables multi-omic analysis of the HIV-1 reservoir. *Nature Communications*, 14(1), 8397. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-44020-5>
- Pascoal, L. B., Carellos, E. V. M., Tarabai, B. H. M., Vieira, C. C., Rezende, L. G., Salgado, B. S. F., & de Castro Romanelli, R. M. (2023). Maternal and perinatal risk factors associated with congenital syphilis. *Tropical Medicine & International Health*, 28(6), 442–453. <https://doi.org/10.1111/tmi.13881>
- Rahman, S., Montero, M. T. V, Rowe, K., Kirton, R., & Kunik, F. (2021). Epidemiology, pathogenesis, clinical presentations, diagnosis and treatment of COVID-19: A review of current evidence. *Expert Review of Clinical Pharmacology*, 14(5), 601–621. <https://doi.org/10.1080/17512433.2021.1902303>
- Rex, V., Zargari, R., Stempel, M., Halle, S., & Brinkmann, M. M. (2023). The innate and T-cell mediated immune response during acute and chronic gammaherpesvirus infection. In *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* (Vol. 13). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1146381>
- Sanjuan, R., & Domingo-Calap, P. (2021). Genetic diversity and evolution of viral populations. In *Encyclopedia of Virology* (pp. 53–61). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20958-8>
- Shen, J., Fan, J., Zhao, Y., Jiang, D., Niu, Z., Zhang, Z., & Cao, G. (2023). Innate and adaptive immunity to SARS-CoV-2 and predisposing factors. *Frontiers in Immunology*, 14, 1159326. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1159326>
- Tabatabaei, S., Keykhaee, Z., Nooraei, S., Ayati, M., Behzadmand, M., Azimi, S., Eskati, F., & Ahmadian, G. (2025). SARS-CoV-2 and Coronaviruses: Understanding Transmission, Impact, and Strategies for Prevention and Treatment. *Drugs and Drug Candidates*, 4(1), 5. <https://doi.org/10.3390/ddc4010005>
- Tajik, S., Farahani, A. V., Ardekani, O. S., Seyedi, S., Tayebi, Z., Kami, M., Aghaei, F., Hosseini, T. M., Nia, M. M. K., Soheili, R., & Letafati, A. (2024). Zika virus tropism and pathogenesis: understanding clinical impacts and transmission dynamics. In *Virology Journal* (Vol. 21, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12985-024-02547-z>
- Theken, K. N., Tang, S. Y., Sengupta, S., & FitzGerald, G. A. (2021). The roles of lipids in SARS-CoV-2 viral replication and the host immune response. *Journal of Lipid Research*, 62, 100129. <https://doi.org/10.1016/j.jlr.2021.100129>
- Trifonova, I., Korsun, N., Levterova, V., Pavlova, D., Simeonovski, I., Ivanova, M., Velikov, P., Voleva, S., Ivanov, I., Ivanov, D., Dakov, T., Tcherveniakova, T., Angelova, S., & Christova, I. (2025). Respiratory infections in the post-COVID-19 era: impact, prevalence, and clinical characteristics of bacterial and viral co-infections. *Frontiers in Medicine*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1597782>
- Whitley, E. (2023). Viral pathogenesis: Insights into infection and immunity. *J Micro Bio Curr Res*, 7(4). <https://doi.org/10.35841/aamcr-7.4.162>

Wulan. (2024). *Demam Berdarah Dengue*.

Yang, O. O. (2025). The immunopathogenesis of SARS-CoV-2 infection: Overview of lessons learned in the first 5 years. In *Journal of Immunology* (Vol. 214, Issue 6, pp. 1095–1104). American Association of Immunologists. <https://doi.org/10.1093/jimmun/vkaf033>

Zhan, J., Wang, J., Liang, Y., Wang, L., Huang, L., Liu, S., Zeng, X., Zeng, E., & Wang, H. (2024). Apoptosis dysfunction: unravelling the interplay between ZBP1 activation and viral invasion in innate immune responses. In *Cell Communication and Signaling* (Vol. 22, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12964-024-01531-y>

Zheng, G., Chan, E. M. G., & Boehm, A. B. (2025). Systematic review and meta-analysis of enteric virus shedding in human excretions. *EBioMedicine*, 119(1). <https://www.covidence.org>

Literature Review

Peran Asam Laktat Sebagai Respons Metabolik Pada Aktivitas Fisik Intensitas Tinggi

Agna Sahana Gofur¹, Mokhammad Akmal Dzaki¹, Naufal Rozmi Insan Kamil¹, Faiza Yulie Santika¹, Maharani Aulia Idris¹, Adzra Azizah Ilhami¹, Reni Anggraini¹, Athiyyatul Udhma¹, Anissa Amellia Sari¹, Yulistia Alfianti¹, Kartika Prah santi²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Ilmu Pendidikan Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Latar Belakang: Aktivitas fisik intensitas tinggi memicu perubahan metabolisme energi yang signifikan, khususnya pergeseran dari metabolisme aerobik menuju anaerobik yang menyebabkan peningkatan produksi asam laktat. Asam laktat tidak hanya merupakan produk metabolik, tetapi juga berperan sebagai indikator fisiologis penting dalam menilai respons tubuh terhadap aktivitas fisik. **Tujuan:** Untuk meninjau dan mensintesis peran asam laktat sebagai respons metabolik pada aktivitas fisik intensitas tinggi. **Metode:** Kajian ini menggunakan pendekatan literature review terstruktur dengan penelusuran database Google Scholar, PubMed, dan ScienceDirect hingga tahun 2025. Kriteria inklusi meliputi penelitian pada manusia yang membahas hubungan antara aktivitas fisik intensitas tinggi dengan kadar asam laktat. Proses seleksi dilakukan melalui tahap identifikasi, penyaringan, dan evaluasi teks lengkap. Karena adanya heterogenitas desain penelitian, variasi protokol latihan, dan perbedaan metode pengukuran, sintesis dilakukan secara naratif. Penilaian risiko bias dilakukan secara kualitatif berdasarkan kejelasan metodologi dan konsistensi hasil. **Hasil:** Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan intensitas aktivitas fisik berkaitan dengan peningkatan produksi asam laktat akibat dominasi metabolisme anaerobik. Kadar laktat meningkat secara signifikan ketika aktivitas melampaui ambang laktat, terutama pada latihan intensitas tinggi seperti sprint dan latihan anaerobik. Selain itu, strategi pemulihan seperti recovery aktif terbukti mempercepat eliminasi laktat, sementara adaptasi latihan jangka panjang meningkatkan efisiensi metabolisme energi dan kemampuan tubuh dalam mengelola akumulasi laktat. **Keterbatasan:** Heterogenitas desain penelitian, variasi protokol latihan, serta perbedaan metode pengukuran membatasi kemungkinan dilakukan sintesis kuantitatif. **Kesimpulan:** Asam laktat memiliki peran penting sebagai respons metabolik pada aktivitas fisik intensitas tinggi. Peningkatan intensitas aktivitas meningkatkan produksi laktat, sementara mekanisme pemulihan dan adaptasi latihan berperan dalam regulasi metabolisme energi. Temuan ini memiliki implikasi penting dalam fisiologi olahraga, perencanaan latihan, dan praktik klinis.

Kata Kunci : Asam Laktat, Aktivitas Fisik Intensitas Tinggi, Metabolisme Anaerobik, Ambang Laktat, Recovery

ABSTRACT

Background: High-intensity physical activity induces significant changes in energy metabolism, particularly the shift from aerobic to anaerobic pathways, resulting in increased lactate production. Lactate is not merely a metabolic byproduct but also serves as an important physiological indicator of the body's response to exercise. **Objective:** To review and synthesize the role of lactate as a metabolic response to high-intensity physical activity. **Methods:** This study employed a structured literature review approach by searching databases including Google Scholar, PubMed, and ScienceDirect up to 2025. Inclusion criteria comprised human studies examining the relationship between high-intensity physical activity and blood lactate levels. The selection process involved identification, screening, and full-text assessment. Due to heterogeneity in study design, exercise protocols, and measurement methods, a narrative synthesis approach was applied. Risk of bias was assessed qualitatively based on methodological clarity and consistency of findings. **Results:** The findings indicate that increased exercise intensity is associated with elevated lactate production due to the dominance of anaerobic metabolism. Lactate levels rise significantly when exercise exceeds the lactate threshold, particularly during high-intensity activities such as sprinting and anaerobic training. Additionally, recovery strategies such as active recovery enhance lactate clearance, while long-term training adaptations improve metabolic efficiency and lactate regulation. **Limitations:** Heterogeneity in study design, variation in exercise protocols, and differences in measurement methods limited quantitative synthesis. **Conclusion:** Lactate plays a critical role as a metabolic response during high-intensity physical activity. Increased intensity elevates lactate production, while recovery mechanisms and training adaptations regulate lactate dynamics. These findings have important implications for exercise physiology, training design, and clinical practice.

Keywords : Lactate, High-Intensity Physical Activity, Anaerobic Metabolism, Lactate Threshold, Recovery

Correspondence : agnasahanagofur@gmail.com

PENDAHULUAN

Aktivitas fisik merupakan salah satu stimulus fisiologis utama yang memengaruhi berbagai sistem dalam tubuh manusia, khususnya sistem metabolisme energi. Selama melakukan aktivitas fisik, tubuh dituntut untuk menghasilkan dan mempertahankan pasokan energi yang memadai guna menunjang kerja otot rangka secara berkelanjutan. Energi tersebut terutama disediakan dalam bentuk adenosin trifosfat (ATP), yang berperan sebagai sumber energi langsung bagi kontraksi otot dan berbagai proses biologis lainnya. Oleh karena itu, mekanisme metabolisme energi menjadi aspek fundamental dalam memahami respons fisiologis tubuh terhadap aktivitas fisik dengan berbagai tingkat intensitas (McArdle et al., 2015).

Dalam konteks olahraga, khususnya aktivitas lari, kebutuhan energi dapat meningkat secara signifikan tergantung pada intensitas dan durasi aktivitas yang dilakukan. Tubuh manusia memiliki beberapa sistem metabolisme energi yang bekerja secara terintegrasi untuk memenuhi kebutuhan tersebut, yaitu sistem fosfagen, glikolitik anaerobik, dan oksidatif

aerobik. Ketiga sistem ini tidak bekerja secara terpisah, melainkan saling melengkapi dengan kontribusi yang bervariasi sesuai dengan tuntutan metabolik yang dihadapi. Pada aktivitas dengan intensitas rendah hingga sedang, sistem aerobik berperan dominan, sedangkan pada aktivitas dengan intensitas tinggi dan durasi singkat, metabolisme anaerobik menjadi jalur utama penyedia energi (Bassett dan Howley, 2000).

Aktivitas lari intensitas tinggi, seperti sprint, menimbulkan tekanan metabolik yang besar karena peningkatan kebutuhan energi yang terjadi secara cepat dalam waktu singkat. Kondisi ini sering kali melampaui kapasitas sistem metabolisme aerobik untuk menyediakan ATP secara optimal, sehingga tubuh mengandalkan metabolisme anaerobik glikolitik sebagai mekanisme kompensasi. Aktivasi jalur ini berkonsekuensi pada peningkatan produksi asam laktat sebagai bagian dari proses adaptif untuk mempertahankan laju glikolisis dan resintesis ATP. Peningkatan kadar laktat darah yang menyertai aktivitas intensitas tinggi kerap digunakan sebagai indikator keterlibatan metabolisme anaerobik (Brooks, 2018; Faude et al., 2009).

Dalam kajian fisiologi olahraga dan kedokteran klinis, asam laktat memiliki peran penting sebagai parameter biokimia untuk menilai respons metabolik tubuh terhadap aktivitas fisik. Dinamika produksi dan eliminasi laktat mencerminkan keseimbangan antara jalur metabolisme aerobik dan anaerobik. Konsep ambang laktat digunakan untuk menggambarkan titik kritis di mana laju produksi laktat melebihi kemampuan tubuh untuk mengeliminasi dan memanfaatkannya kembali, sehingga terjadi akumulasi laktat dalam darah. Ambang ini bersifat individual dan dipengaruhi oleh tingkat kebugaran serta kapasitas oksidatif otot (Faude et al., 2009).

Selain sebagai indikator metabolik, peningkatan kadar laktat juga berkaitan dengan perubahan keseimbangan asam-basa intraseluler akibat akumulasi ion hidrogen. Kondisi ini dapat memengaruhi fungsi protein kontraktil, aktivitas enzim metabolik, serta menurunkan efisiensi kontraksi otot, yang secara klinis termanifestasi sebagai kelelahan otot. Namun, pemahaman modern menegaskan bahwa laktat bukanlah penyebab utama kelelahan, melainkan molekul perantara penting dalam regulasi metabolisme energi dan adaptasi fisiologis terhadap stres metabolik (Allen et al., 2008; Brooks, 2018).

Berdasarkan latar belakang tersebut, pemahaman mengenai dasar fisiologi metabolisme energi, respons metabolisme anaerobik terhadap lari intensitas tinggi, serta dinamika asam laktat dan ambang laktat menjadi sangat penting. Pengetahuan ini tidak hanya berperan dalam interpretasi perubahan parameter biokimia seperti kadar laktat dan glukosa darah, tetapi juga memiliki implikasi klinis dalam bidang kedokteran olahraga, perencanaan program latihan, serta evaluasi respons adaptasi tubuh terhadap aktivitas fisik (McArdle et al., 2015). Oleh karena itu, kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai hubungan antara aktivitas lari, metabolisme energi, dan respons fisiologis tubuh secara terintegrasi.

LITERATURE REVIEW

Dasar Fisiologi Metabolisme Energi pada Aktivitas Fisik

Metabolisme energi merupakan proses fundamental yang memungkinkan tubuh menghasilkan energi untuk mempertahankan fungsi biologis, termasuk aktivitas fisik. Sistem fosfagen menyediakan energi secara instan melalui pemecahan kreatin fosfat, tetapi hanya bertahan dalam waktu singkat. Sistem glikolitik anaerobik kemudian mengambil alih pada aktivitas intensitas tinggi, menghasilkan ATP dengan cepat namun dengan efisiensi rendah dan menghasilkan laktat sebagai produk samping. Sementara itu, sistem oksidatif aerobik berperan dalam aktivitas jangka panjang dengan efisiensi tinggi tetapi kecepatan produksi energi yang lebih lambat (McArdle et al., 2015).

Pada aktivitas lari dengan intensitas tinggi, kontribusi sistem anaerobik meningkat secara signifikan. Hal ini terjadi karena kebutuhan energi meningkat secara cepat sehingga melampaui kapasitas sistem aerobik, sehingga tubuh mengandalkan glikolisis anaerobik sebagai sumber energi utama. Studi menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan lari secara langsung meningkatkan kadar laktat dalam darah sebagai refleksi dari peningkatan aktivitas anaerobik (Rohaya, 2020).

Respons Metabolisme Anaerobik terhadap Lari Intensitas Tinggi

Pada aktivitas intensitas tinggi, seperti sprint, tubuh mengalami peningkatan kebutuhan energi yang sangat cepat sehingga suplai oksigen tidak mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Kondisi ini menyebabkan dominasi metabolisme anaerobik, yang menghasilkan ATP melalui pemecahan glukosa tanpa menggunakan oksigen.

Proses ini menghasilkan laktat sebagai produk metabolik yang dapat terakumulasi dalam darah apabila produksi melebihi kapasitas eliminasi. Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas sprint memiliki korelasi yang sangat kuat dengan peningkatan kadar laktat darah, yang mencerminkan peningkatan aktivitas glikolisis anaerobik (Junaidi, 2016). Selain itu, uji anaerobik seperti RAST juga menunjukkan peningkatan signifikan kadar laktat setelah aktivitas intens, yang menegaskan peran dominan metabolisme anaerobik pada aktivitas tersebut (Mighra et al., 2020).

Hal ini menunjukkan bahwa intensitas aktivitas merupakan faktor utama dalam menentukan jalur metabolisme energi yang digunakan serta besarnya produksi laktat.

Dinamika Asam Laktat dan Ambang Laktat dalam Perspektif Klinis

Asam laktat tidak hanya merupakan produk samping metabolisme, tetapi juga berperan sebagai indikator fisiologis penting dalam evaluasi performa dan kondisi metabolik tubuh. Ambang laktat (lactate threshold) merupakan titik di mana produksi laktat melebihi kemampuan tubuh untuk mengeliminasi atau memanfaatkannya kembali, sehingga terjadi peningkatan kadar laktat secara signifikan dalam darah (McArdle et al., 2015).

Di bawah ambang ini, kadar laktat relatif stabil karena produksi dan eliminasi berada dalam keseimbangan. Namun, ketika intensitas aktivitas meningkat melampaui ambang laktat, terjadi peningkatan eksponensial kadar laktat yang mencerminkan dominasi metabolisme anaerobik. Studi menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan lari berhubungan dengan

peningkatan signifikan kadar laktat, terutama pada aktivitas dengan intensitas tinggi (Rohaya, 2020).

Secara klinis, ambang laktat digunakan sebagai parameter penting dalam menilai kapasitas aerobik, menentukan intensitas latihan optimal, serta mengevaluasi kondisi fisiologis individu.

Variasi Respons Metabolik Berdasarkan Jarak dan Beban Aktivitas

Respons metabolik tubuh terhadap aktivitas fisik sangat dipengaruhi oleh intensitas, durasi, dan jenis aktivitas yang dilakukan. Aktivitas dengan jarak pendek dan intensitas tinggi, seperti sprint, cenderung mengandalkan metabolisme anaerobik dan menghasilkan peningkatan kadar laktat yang signifikan. Sebaliknya, aktivitas dengan durasi lebih panjang dan intensitas sedang lebih banyak melibatkan metabolisme aerobik.

Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas sprint menghasilkan peningkatan kadar laktat yang lebih besar dibandingkan aktivitas dengan intensitas sedang (Junaidi, 2016). Hal ini menunjukkan bahwa variasi dalam jenis aktivitas dan beban latihan berperan penting dalam menentukan respons metabolik tubuh (McArdle et al., 2015).

Mekanisme Medis Pemulihan Asam Laktat melalui Recovery Aktif

Pemulihan merupakan bagian penting dalam proses adaptasi fisiologis setelah aktivitas fisik. Recovery aktif, yang melibatkan aktivitas ringan setelah latihan intens, terbukti lebih efektif dalam menurunkan kadar laktat dibandingkan recovery pasif. Hal ini disebabkan oleh peningkatan aliran darah yang mempercepat transport laktat dari otot ke organ lain untuk dimetabolisme kembali (Yamaguchi et al., 2015).

Laktat yang dihasilkan selama aktivitas dapat digunakan kembali sebagai sumber energi melalui proses oksidasi atau dikonversi menjadi glukosa di hati melalui siklus Cori (McArdle et al., 2015). Selain itu, teknik seperti stretching dan massage juga berkontribusi dalam mempercepat eliminasi laktat melalui peningkatan sirkulasi darah (Triansyah et al., 2019).

Adaptasi Anaerobik dan Kardiovaskular pada Aktivitas Sprint Berulang

Latihan intensitas tinggi yang dilakukan secara berulang dapat menyebabkan adaptasi fisiologis yang meningkatkan kapasitas anaerobik dan efisiensi sistem kardiovaskular. Adaptasi ini meliputi peningkatan aktivitas enzim glikolitik, peningkatan kapasitas buffer terhadap asam, serta peningkatan kemampuan tubuh dalam mengeliminasi laktat (McArdle et al., 2015).

Program latihan seperti HIIT menunjukkan peningkatan efisiensi metabolisme energi serta penurunan kadar laktat dalam jangka panjang (Damayanti et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa tubuh mampu beradaptasi terhadap stres metabolik dan meningkatkan performa fisik.

Respons Metabolisme Aerobik dan Regulasi Glukosa Darah

Metabolisme aerobik berperan penting dalam aktivitas fisik jangka panjang serta dalam regulasi kadar glukosa darah. Aktivitas aerobik seperti jogging dapat meningkatkan

penggunaan glukosa oleh jaringan otot, sehingga berkontribusi terhadap penurunan kadar glukosa darah (McArdle et al., 2015).

Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas fisik tidak hanya memengaruhi metabolisme energi, tetapi juga memiliki implikasi penting dalam regulasi metabolisme sistemik.

Implikasi Klinis dalam Kedokteran Olahraga dan Rehabilitasi

Pemahaman mengenai produksi dan eliminasi asam laktat memiliki implikasi penting dalam bidang kedokteran olahraga dan rehabilitasi. Laktat dapat digunakan sebagai indikator untuk menilai kapasitas fungsional, menentukan intensitas latihan, serta memantau respons tubuh terhadap latihan.

Selain itu, pengelolaan kadar laktat melalui strategi latihan dan recovery yang tepat dapat membantu mencegah kelelahan serta meningkatkan performa fisik.

Sintesis Hasil Penelitian dalam Perspektif Fisiologi Kedokteran

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan lari merupakan determinan utama dalam produksi asam laktat melalui peningkatan intensitas aktivitas dan dominasi metabolisme anaerobik. Namun, tubuh memiliki mekanisme adaptasi dan recovery yang berperan dalam mengatur dinamika laktat.

Tinjauan Buku Ilmiah Mengenai Metabolisme Energi dan Asam Laktat

Literatur fisiologi olahraga menjelaskan bahwa produksi dan eliminasi laktat merupakan bagian integral dari respons tubuh terhadap aktivitas fisik, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas, durasi, dan tingkat kebugaran individu (McArdle et al., 2015).

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kecepatan lari memiliki hubungan yang signifikan dengan peningkatan produksi asam laktat darah sebagai respons terhadap peningkatan intensitas aktivitas fisik. Aktivitas dengan intensitas tinggi menyebabkan dominasi metabolisme anaerobik yang menghasilkan laktat sebagai produk metabolik utama.

Selain itu, dinamika produksi dan eliminasi laktat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk intensitas latihan, durasi aktivitas, serta kapasitas adaptasi fisiologis individu. Strategi pemulihan seperti recovery aktif terbukti efektif dalam mempercepat eliminasi laktat, sementara adaptasi latihan jangka panjang meningkatkan efisiensi metabolisme energi dan kemampuan tubuh dalam mengelola akumulasi laktat.

Temuan ini memiliki implikasi penting dalam bidang fisiologi olahraga, perencanaan program latihan, serta praktik klinis, khususnya dalam meningkatkan performa fisik dan mencegah kelelahan akibat akumulasi metabolit.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrew M. Jones, Brett S. Kirby, Ida E. Clark, Hannah M. Rice, Elizabeth Fulkerson, Lee J. Wylie, Daryl P. Wilkerson, Anni Vanhatalo, and Brad W. Wilkins Journal of Applied Physiology 2021 130:2, 369-379
- APA Zhu, Z., Cui, W., Lu, C., Shen, Y., & Pan, B. (2026). Automatic estimation of lactate threshold heart rate and pace in real-world running based on transfer learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 163, 112879. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112879>
- Barrett, K. E., Barman, S. M., Boitano, S., & Brooks, H. L. 2010. *Ganong's Review of Medical Physiology*. Edisi ke-23. New York: McGraw-Hill.
- Bishop D., Edge J., Thomas C., Mercier J. (2008). Effects of high-intensity training on muscle lactate transporters and postexercise recovery of muscle lactate and hydrogen ions in women. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 295 (6), R1991–R1998. doi:10.1152/ajpregu.00863.2007.
- Damayanti, N. A., Nudwinuringtyas, N., Tambunan, T. F. U., & Kekalih, A. 2019. Pengaruh latihan interval intensitas tinggi terhadap kadar laktat darah dan tingkat usaha pada dewasa sehat sedentary. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia*.
- Fitrianto, E. J., & Maarif, S. (2020). Pengaruh active recovery terhadap kadar asam laktat pada mahasiswa program studi ilmu keolahragaan Universitas Negeri Jakarta. *Jurnal Ilmiah Sport Coaching and Education*, 4(1), 32-36.
- Frontiers in Physiology Authors. 2024. Effect of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on blood lactate clearance after high-intensity test in adult men. *Frontiers in Physiology*. DOI:10.3389/fphys.2024.1451464
- Giriwijoyo, S., & Sidik, D. Z. (2013). *Ilmu faal olahraga (fisiologi olahraga)*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Gunawan, E. (2024). PENGARUH LATIHAN LARI 30 MENIT AKTIFITAS SUBMAKSIMAL TERHADAP PERUBAHAN KADAR GLUKOSA DARAH PADA ATLET HANDBALL SULAWESI TENGGARA. *JURNAL ILMIAH PENJAS* (Penelitian, Pendidikan dan Pengajaran), 10(1), 157-167.
- Junaidi, J. (2016, November). PENGARUH LARI SPRINT 200 M TERHADAP PERUBAHAN KADAR ASAM LAKTAT DARAH PADA ATLET CABANG OLAHRAGA ATLETIK DKI JAKARTA. In *Prosiding Seminar dan Lokakarya Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Jakarta* (Vol. 1, No. 01, pp. 22-27)
- Kalih, B. S., & Rahmadani, E. A. (2021). Comparison of 800 Meter and 400 Meter Run Effects on The Increase Of Lactic Acid In Athletic Athlete. *Gladi: Jurnal Ilmu Keolahragaan*, 12 (03), 61-67.

- Lu, C., Cui, W., Zhu, Z., Wu, Y., Xing, Q., Pan, B., & Shen, Y. 2025. Validity of smartwatch-derived estimates of lactate threshold heart rate and pace compared to graded exercise testing. *Frontiers in Physiology*, 16:1621996. DOI:10.3389/fphys.2025.1621996.
- Meixner, B. J., Nusser, V., Koehler, K., Sablain, M., Boone, J., & Sperlich, B. 2024. Blood lactate dynamics reveal distance-specific anaerobic demands in 400 m sprint training. *Applied Sciences (MDPI)*, 15(24):13051. DOI:10.3390/app152413051.
- Mighra, B. A., & Djaali, W. (2021). Pengaruh RAST (Running-Based Anaerobic Sprint Test) terhadap Denyut Jantung dan Kadar Asam Laktat pada Atlet Futsal FIK UNJ. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 13(1), 113-119.
- Nuuttila, O. P., Kaikkonen, P., Sievänen, H., Vasankari, T., & Kyröläinen, H. 2025. The accuracy of fixed intensity anchors to estimate lactate thresholds in recreational runners. *European Journal of Applied Physiology*. DOI:10.1007/s00421-025-05748-8.
- Rohaya, R. (2014). Pengaruh Latihan Fisik Anaerobik Terhadap Kadar Ambang Batas Asam Laktat Pada Orang Yang Terlatih. *JPP (Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang)*, 1(14).
- Sibagariang, M. O., & Simatupang, N. (2021). Pengaruh pemberian massage terhadap penurunan kadar asam laktat pada mahasiswa ilmu keolahragaan setelah melakukan aktivitas fisik anaerobik lari sprint 100 meter. *Jurnal Kesehatan dan Olahraga*, 5(1). <https://doi.org/10.24114/ko.v5i1.30369>
- Triansyah, A., & Kushartanti, B. W. (2015). Efektivitas Teknik Pemulihan dan VO₂max Dalam Pemulihan Asam Laktat Darah Dan Denyut Jantung Setelah Lari. *Jurnal Visi Ilmu Pendidikan*, 7(1).
- Vijay, Subbarayalu Arun, Sivakumar, Chinnusamy, Kumar, Purushothaman Vinosh, Muralidharan, Chittode Krishnasamy, Rajkumar, Krishnan Vasanthi, Kannan, Karupaiyan Rajesh, Pradeepa, Mani, Sivasankar, Prabakaran, Mariam, Ameer A, and Anand, Udhaya Kumar Albert. "Lactate threshold training to improve longdistance running performance: A narrative review." *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine* 13, no. 1 (2024). 19-29. doi: 10.26773/mjssm.240303
- Von Wittke P, Lindner A, Deegen E, Sommer H. Effects of training on blood lactate-running speed relationship in thoroughbred racehorses. *J Appl Physiol* (1985). 1994 Jul;77(1):298-302. doi: 10.1152/jappl.1994.77.1.298. PMID: 7961248.
- Watanabe, T., Inaba, T., van Rassel, C. R., MacInnis, M. J., Kakinoki, K., & Hatta, H. 2024. Identifying physiological determinants of 800 m running performance using post-exercise blood lactate kinetics. *European Journal of Applied Physiology*, 124:2951–2964. DOI:10.1007/s00421-024-05504-4.
- Yamaguchi, G. C., & Rochmania, A. (2022). Pengaruh Recovery Active Dan Recovery Passive Terhadap Perubahan Kadar Asam Laktat Dalam Darah Pada Atlet. *Jurnal Prestasi Olahraga*, 5(5), 109-114.

Literature Review

Peran Enzim dalam Penyakit Metabolik

Putri Alya Ramadhani¹, Maulidiya Putri Maharani¹, Riko Cendika Putra Pratama¹, Dena Aulya Kusumah¹, Najwa Aulia Rahmah¹, Dimas Sufianto¹, Neisyah Hanis Widika¹, Adinda Izzati Amanina Zain¹, Rifdatu Salma Nabila¹, Muhamad Syahrhan Mustafa¹, Nur Aisah Ibrahimiyah²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Ilmu Pendidikan Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Metabolisme merupakan rangkaian reaksi biokimia yang berperan penting dalam mempertahankan fungsi, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup sel, yang seluruhnya bergantung pada kerja enzim sebagai katalis biologis. Gangguan fungsi enzim dapat menghambat jalur metabolisme normal dan berkontribusi terhadap terjadinya penyakit metabolik, seperti obesitas, diabetes melitus, dislipidemia, dan sindrom metabolik. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk mengkaji peran enzim dalam metabolisme sel, mekanisme kerja enzim, serta hubungan gangguan enzim dengan patogenesis penyakit metabolik, dengan penekanan pada gangguan metabolisme karbohidrat, lipid, dan obesitas. Metode penulisan dilakukan melalui studi literatur terhadap jurnal ilmiah yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa gangguan jumlah, aktivitas, dan regulasi enzim, baik akibat faktor genetik maupun didapat dapat menyebabkan akumulasi substrat, kekurangan produk metabolik, gangguan homeostasis energi, serta disfungsi seluler. Kesimpulannya, enzim memiliki peran sentral dalam menjaga keseimbangan metabolisme, sehingga gangguan fungsi enzim merupakan faktor kunci dalam patogenesis penyakit metabolik.

Kata kunci : enzim, metabolisme, penyakit metabolik, metabolisme karbohidrat, metabolisme lipid

ABSTRACT

Metabolism is a series of biochemical reactions that play a vital role in maintaining cell function, growth, and survival, all of which depend on the action of enzymes as biological catalysts. Disruption of enzyme function can inhibit normal metabolic pathways and contribute to metabolic diseases, such as obesity, diabetes mellitus, dyslipidemia, and metabolic syndrome. This literature review aims to examine the role of enzymes in cellular metabolism, the mechanisms of enzyme action, and the relationship between enzyme disorders and the pathogenesis of metabolic diseases, with an emphasis on carbohydrate, lipid, and obesity metabolic disorders. The writing method was carried out through a literature review of relevant scientific journals. The results of the study indicate that disorders in the number, activity, and regulation of enzymes, whether due to genetic or acquired factors, can lead to substrate accumulation, metabolic product deficiencies, impaired energy homeostasis, and cellular dysfunction. In conclusion, enzymes play a central role in maintaining metabolic balance, so that enzyme dysfunction is a key factor in the pathogenesis of metabolic diseases.

Keywords : enzyme, metabolism, metabolic disorders, carbohydrate metabolism, lipid metabolism

Correspondence : rifdatussalma@gmail.com

PENDAHULUAN

Metabolisme merujuk pada keseluruhan proses kimia yang berlangsung di dalam sel untuk memenuhi kebutuhan energi, mempertahankan struktur sel, serta mendukung berbagai fungsi biologis yang esensial bagi kelangsungan hidup organisme. Proses ini mencakup metabolisme karbohidrat, lipid, dan protein yang berlangsung melalui jalur metabolik spesifik dan saling terintegrasi. Seluruh reaksi metabolik tersebut bergantung pada kerja enzim sebagai katalis biologis yang mengatur kecepatan dan efisiensi reaksi dalam kondisi fisiologis normal (Judge & Dodd, 2020; Robinson, 2015). Enzim memiliki peran sentral dalam mengontrol alur metabolisme sel, baik melalui katalisis reaksi dasar seperti glikolisis maupun melalui mekanisme regulasi yang lebih kompleks. Sebagai contoh, glikolisis merupakan jalur utama pemanfaatan glukosa yang dikatalisis oleh serangkaian enzim spesifik dan berperan penting dalam penyediaan energi seluler (Chandel, 2021). Gangguan pada fungsi, jumlah, atau regulasi enzim dapat menghambat jalur metabolisme normal dan menyebabkan ketidakseimbangan metabolik yang berdampak sistemik (Chaturvedi et al., 2016; Mahé et al., 2023).

Penyakit metabolik, termasuk obesitas, diabetes melitus, dislipidemia, dan sindrom metabolik, menjadi isu kesehatan global dengan angka kejadian yang terus menunjukkan peningkatan dan menimbulkan beban kesehatan masyarakat yang signifikan (Garus-Pakowska, 2023). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penyakit-penyakit tersebut tidak hanya berkaitan dengan faktor gaya hidup, tetapi juga melibatkan gangguan regulasi metabolisme pada tingkat molekuler, termasuk disfungsi enzim dan resistensi insulin (Harreiter & Roden, 2023; X. Zhao et al., 2023). Obesitas, sebagai salah satu penyakit metabolik utama, mencerminkan kegagalan regulasi keseimbangan energi jangka panjang yang melibatkan interaksi kompleks antara jaringan adiposa, hormon, dan enzim metabolik. Kondisi ini berkontribusi terhadap resistensi insulin dan perkembangan diabetes melitus tipe 2, serta gangguan metabolisme lipid yang lebih lanjut (Chandrasekaran & Weiskirchen, 2024; Dhurandhar, 2022). Disfungsi jaringan adiposa dan ketidakseimbangan aktivitas enzim lipogenesis dan lipolisis juga berperan dalam penumpukan lemak ektopik dan komplikasi metabolik lainnya (Lopez-Yus et al., 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, tinjauan pustaka ini membahas peran enzim dalam metabolisme sel serta keterkaitan gangguan enzim dengan patogenesis penyakit metabolik. Pembahasan difokuskan pada enzim-enzim kunci dalam metabolisme karbohidrat, lipid, dan obesitas, termasuk mekanisme gangguan enzimatik dan implikasinya terhadap perkembangan penyakit metabolik. Tinjauan ini menitikberatkan pada aspek biokimia dan molekuler, tanpa membahas tata laksana klinis secara mendalam.

TELAAH PUSTAKA

Peran Enzim dalam Metabolisme Sel

Metabolisme merupakan kumpulan proses reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel organisme dan berperan dalam menjaga fungsi biologis, mendukung pertumbuhan, serta mempertahankan keberlangsungan hidup. Proses metabolisme mencakup serangkaian jalur terorganisir yang mengatur pembentukan dan pemecahan makromolekul, termasuk

karbohidrat, lipid, dan protein, sehingga sel dapat menggunakan energi dan bahan baku untuk aktivitas biologisnya. Reaksi metabolisme tidak dapat terjadi secara efisien tanpa enzim, karena sebagian besar reaksi biokimia membutuhkan katalisis agar dapat terjadi pada laju yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis sel (Judge & Dodd, 2020; Robinson, 2015).

Enzim merupakan molekul biologis yang berfungsi mempercepat berlangsungnya reaksi kimia dalam sistem biologis melalui penurunan energi aktivasi, tanpa mengalami perubahan permanen selama proses reaksi berlangsung. Umumnya enzim berupa protein, meskipun ada pengecualian seperti ribozim (RNA katalitik) dan abzim (antibodi katalitik). Enzim sangat efisien, bekerja dalam jumlah kecil, dan memiliki spesifisitas tinggi terhadap substratnya (Farhan et al., 2025; Robinson, 2015).

Enzim memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

1. **Mempercepat Reaksi Biokimia**
Enzim menurunkan energi aktivasi yang dibutuhkan agar reaksi kimia dapat terjadi. Tanpa enzim, reaksi penting dalam sel akan berlangsung terlalu lambat untuk mendukung kehidupan.
2. **Spesifisitas Tinggi**
Enzim bekerja sangat spesifik dengan substratnya (molekul yang akan diubah). Hal ini membuat reaksi lebih efisien dan menghasilkan lebih sedikit produk sampingan yang tidak diinginkan.
3. **Mengontrol Reaksi dalam Kondisi Biologis**
Setiap enzim bekerja secara maksimal pada suhu dan pH optimal yang sesuai dengan kondisi sel hidup. Ini berbeda dengan katalis kimia, yang membutuhkan kondisi ekstrem (misalnya, suhu tinggi).

Setiap jalur metabolisme, baik karbohidrat, lipid, maupun protein, memiliki enzim-enzim spesifik yang menjalankan fungsi tertentu sesuai dengan kebutuhan energi dan biosintesis sel. Glikolisis adalah jalur metabolisme yang terjadi di sitosol sel dan berfungsi mengubah satu molekul glukosa menjadi dua molekul piruvat melalui sepuluh reaksi enzimatik berurutan. Jalur ini tidak memerlukan oksigen dan menghasilkan energi berupa dua ATP bersih dan dua NADH, sehingga menjadi sumber energi penting pada kondisi anaerob dan pada sel tanpa mitokondria seperti eritrosit. Selain menghasilkan energi, glikolisis juga menyediakan intermediat metabolik yang berperan sebagai prekursor berbagai jalur biosintesis. Glikolisis dibagi menjadi fase investasi ATP (reaksi 1–5) dan fase penghasilan ATP (reaksi 6–10). Enzim-enzim utama yang berperan dalam glikolisis meliputi hexokinase (atau glucokinase di hati) yang memfosforilasi glukosa menjadi glukosa-6-fosfat, phosphoglucose isomerase yang mengubah glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-6-fosfat, serta phosphofructokinase-1 (PFK-1) sebagai enzim pembatas laju yang mengatur kecepatan glikolisis. Reaksi selanjutnya melibatkan aldolase dan triose phosphate isomerase untuk menghasilkan gliseraldehida-3-fosfat, yang kemudian dioksidasi oleh glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase. Produksi ATP terjadi melalui phosphoglycerate kinase dan diakhiri oleh pyruvate kinase yang mengkatalisis pembentukan piruvat. Bersama hexokinase dan PFK-1, pyruvate kinase merupakan titik regulasi penting dalam jalur glikolisis (Chandel, 2021).

Metabolisme protein merupakan proses biologis yang mencakup pemecahan protein menjadi asam amino serta pemanfaatannya kembali untuk sintesis protein baru, perbaikan jaringan, dan pemenuhan kebutuhan energi tubuh. Protein yang berasal dari makanan maupun dari *protein turnover* endogen akan diuraikan agar keseimbangan nitrogen dan fungsi fisiologis sel tetap terjaga. Enzim utama yang berperan dalam metabolisme protein adalah protease, yaitu enzim yang mengkatalisis pemutusan ikatan peptida pada protein. Proses ini diawali oleh pepsin di lambung, kemudian dilanjutkan oleh trypsin dan chymotrypsin yang disekresikan pankreas dan bekerja di usus halus. Peptidase pada mukosa usus menyelesaikan tahap akhir dengan menghasilkan asam amino bebas yang siap diserap dan dimanfaatkan oleh sel (Judge & Dodd, 2020; Kos, 2023).

Metabolisme protein merupakan proses degradasi protein menjadi peptida dan asam amino yang berperan penting dalam pemeliharaan homeostasis sel, penyediaan bahan baku sintesis protein baru, serta pengaturan fungsi biologis sel. Proses ini berlangsung di berbagai kompartemen sel, seperti lisosom, sitosol, dan ruang ekstraseluler, untuk menghilangkan protein yang rusak atau tidak lagi fungsional. Enzim utama yang berperan dalam metabolisme protein adalah protease (peptidase), yaitu enzim hidrolase yang memutus ikatan peptida pada protein. Protease mencakup beberapa kelompok, seperti cysteine proteases (misalnya cathepsin) dan serine proteases, yang berfungsi dalam degradasi protein dan regulasi berbagai proses seluler. Keseimbangan antara aktivitas protease dan inhibitorynya sangat penting untuk menjaga fungsi dan stabilitas protein dalam sel (Kos, 2023).

Enzim berfungsi sebagai katalis biologis yang meningkatkan laju reaksi kimia tanpa mengalami perubahan struktur secara permanen. Mekanisme ini diawali dengan pengikatan substrat secara spesifik pada sisi aktif enzim sehingga terbentuk kompleks enzim–substrat. Pembentukan kompleks tersebut memungkinkan penurunan energi aktivasi, sehingga perubahan substrat menjadi produk berlangsung lebih efisien. Setelah produk dilepaskan, enzim tetap utuh dan dapat berperan kembali dalam reaksi berikutnya.

Mekanisme kerja enzim secara konseptual dijelaskan melalui dua model utama, yaitu model lock-and-key dan model induced fit. Pada model lock-and-key, situs aktif enzim memiliki bentuk yang kaku dan sudah sesuai dengan substrat tertentu. Substrat akan langsung berikatan apabila bentuk dan ukurannya tepat, seperti kunci yang masuk ke gembok, tanpa perubahan struktur enzim yang berarti (Dudutienè et al., 2020; Robinson, 2015). Model ini menekankan spesifisitas enzim terhadap substratnya.

Sebaliknya, pada model induced fit, situs aktif enzim bersifat lebih fleksibel. Ketika substrat mulai berikatan, enzim mengalami perubahan konformasi ringan yang menyesuaikan posisi gugus aktif agar interaksi enzim–substrat menjadi lebih optimal. Perubahan bentuk ini membantu menstabilkan keadaan transisi dan meningkatkan efisiensi katalisis (Dudutienè et al., 2020).

Penyakit Metabolik

Penyakit metabolik merupakan istilah luas yang mencakup semua penyakit yang timbul akibat gangguan pada metabolisme biokimia tubuh. Gangguan ini menyebabkan ketidakmampuan sel dan jaringan tubuh dalam mengolah zat gizi dan energi secara normal,

sehingga memicu berbagai kelainan fisiologis. Berdasarkan penyebabnya, penyakit metabolik dibagi menjadi penyakit metabolik bawaan, yang berkaitan dengan kelainan genetik pada jalur metabolisme tertentu, dan penyakit metabolik didapat, yang lebih umum terjadi dan dipengaruhi oleh faktor gaya hidup serta lingkungan (Garus-Pakowska, 2023).

Ciri umum penyakit metabolik, yaitu gangguan yang disebabkan oleh kelainan metabolisme karbohidrat, lipid, atau protein. Kondisi ini umumnya timbul dari abnormalitas pada enzim, hormon, atau jalur pengaturan yang mengontrol proses metabolisme dalam tubuh. Gangguan tersebut menyebabkan ketidakseimbangan dalam produksi, penyimpanan, dan pemanfaatan energi. gangguan metabolisme sering dikaitkan dengan disfungsi hormonal, khususnya yang melibatkan insulin, glukagon, hormon tiroid, dan kortisol, yang memainkan peran kunci dalam mengatur metabolisme glukosa, lemak, dan protein. Kekurangan enzim atau penurunan aktivitas enzim juga dapat mengganggu jalur metabolisme, yang mengakibatkan akumulasi atau kekurangan metabolit tertentu yang berkontribusi pada manifestasi penyakit. deteksi dini, pemahaman mekanisme metabolik yang mendasari, dan manajemen yang tepat melalui modifikasi gaya hidup, terapi farmakologis, dan regulasi hormonal sangat penting untuk mencegah komplikasi dan meningkatkan hasil pasien. Contoh penyakit metabolik meliputi obesitas, diabetes melitus, dislipidemia, dan sindrom metabolik, yang saat ini menjadi masalah kesehatan masyarakat global (Garus-Pakowska, 2023; Peterseim et al., 2024).

Penyakit metabolik (obesitas)

Obesitas dikenal sebagai salah satu faktor risiko terpenting yang bersifat dapat diubah dan berperan besar dalam munculnya serta perkembangan diabetes melitus tipe 2 (T2DM). Kondisi ini meningkatkan resistensi insulin melalui disfungsi jaringan adiposa, peradangan kronis, distribusi lemak yang abnormal, serta peningkatan kadar asam lemak bebas, yang selanjutnya mengganggu kerja insulin di hati, otot, dan pankreas. Berbagai bukti epidemiologis dan klinis menunjukkan hubungan yang kuat antara obesitas, khususnya obesitas sentral, dengan meningkatnya prevalensi T2DM secara global. Penurunan berat badan melalui modifikasi gaya hidup, terapi farmakologis, maupun operasi bariatrik terbukti secara signifikan memperbaiki kontrol glikemik dan hasil metabolik. Oleh karena itu, pencegahan dan pengelolaan T2DM yang efektif memerlukan strategi terintegrasi yang secara simultan menargetkan obesitas dan disfungsi metabolik (Chandrasekaran & Weiskirchen, 2024; Dhurandhar, 2022).

Penyakit metabolik (diabetes melitus)

Diabetes melitus adalah sekumpulan kelainan metabolik yang ditandai oleh peningkatan kadar glukosa darah secara persisten akibat gangguan pada produksi insulin, efektivitas kerja insulin, atau kombinasi keduanya. Secara umum, diabetes melitus dibagi menjadi empat kategori utama, yaitu diabetes melitus tipe 1 yang terjadi akibat proses autoimun yang merusak sel β pankreas, diabetes melitus tipe 2 yang ditandai oleh resistensi insulin dan penurunan fungsi sel β , diabetes melitus tipe lain yang berkaitan dengan kelainan genetik, gangguan pankreas, atau penggunaan obat tertentu, serta diabetes melitus gestasional. Diagnosis diabetes ditegakkan berdasarkan pemeriksaan glukosa plasma puasa, tes toleransi glukosa oral (OGTT), dan kadar hemoglobin terglikasi (HbA1c) dengan nilai ambang yang jelas untuk diabetes dan prediabetes, serta memerlukan perhatian terhadap faktor-faktor yang dapat memengaruhi

interpretasi hasil HbA1c. Skrining dianjurkan pada individu dengan faktor risiko seperti obesitas, riwayat keluarga diabetes, hipertensi, dislipidemia, atau riwayat diabetes gestasional, dimulai pada usia 35 tahun dan diulang setiap tiga tahun. Pencegahan diabetes terutama difokuskan pada modifikasi gaya hidup, meliputi penurunan berat badan sebesar 5–10%, penerapan pola makan seimbang seperti diet Mediterania atau DASH, serta aktivitas fisik teratur. Intervensi farmakologis seperti metformin, agonis reseptor GLP-1, dan penghambat SGLT2 dapat digunakan untuk menunda onset diabetes pada individu berisiko tinggi, sementara bedah bariatrik terbukti memberikan manfaat signifikan dalam menurunkan kejadian diabetes dan risiko kardiovaskular. Pada diabetes melitus tipe 1, berbagai penelitian masih mengkaji pendekatan imunomodulasi dan berbasis mikrobioma, meskipun hingga saat ini belum tersedia strategi pencegahan yang efektif. Skrining dini, perubahan gaya hidup, dan manajemen multidisiplin tetap menjadi komponen utama dalam upaya mengurangi beban diabetes secara global (Harreiter & Roden, 2023; Zhao et al., 2025).

Penyakit metabolik (dislipidemia)

Dislipidemia merupakan gangguan metabolisme lipid yang ditandai oleh ketidakseimbangan kadar lemak dalam darah, terutama peningkatan low-density lipoprotein (LDL), peningkatan trigliserida, serta penurunan high-density lipoprotein (HDL). Kondisi ini memiliki peran penting dalam perkembangan penyakit kardiovaskular, terutama melalui proses aterosklerosis. Dislipidemia dapat terjadi akibat faktor genetik (primer) maupun faktor lingkungan seperti pola makan tidak sehat, obesitas, diabetes, dan kurangnya aktivitas fisik. Secara fisiologis, metabolisme lipid dalam tubuh berlangsung melalui tiga jalur utama, yaitu jalur eksogen, jalur endogen, dan reverse cholesterol transport. Pada jalur eksogen, lemak dari makanan diubah menjadi kilomikron yang kemudian didistribusikan ke jaringan tubuh, sementara sisanya akan dibawa ke hati. Pada jalur endogen, hati memproduksi very low-density lipoprotein (VLDL) yang kemudian diubah menjadi intermediate-density lipoprotein (IDL) dan akhirnya menjadi LDL. LDL berfungsi mengantarkan kolesterol ke jaringan, namun jika jumlahnya berlebihan, LDL akan menumpuk dalam darah. Sebaliknya, HDL berperan dalam reverse cholesterol transport, yaitu mengangkut kolesterol dari jaringan perifer kembali ke hati untuk dikeluarkan dari tubuh. Gangguan pada keseimbangan ini akan memicu terjadinya dislipidemia. Peningkatan kadar LDL dalam darah menyebabkan partikel LDL masuk ke dalam dinding pembuluh darah (intima) dan mengalami oksidasi menjadi oxidized LDL (oxLDL). Partikel ini bersifat pro-inflamasi dan akan menarik sel imun seperti monosit yang kemudian berubah menjadi makrofag. Makrofag akan memakan oxLDL dan berubah menjadi foam cell. Akumulasi foam cell membentuk fatty streak yang merupakan lesi awal aterosklerosis. Seiring waktu, lesi ini berkembang menjadi plak aterosklerosis yang terdiri dari inti lipid dan lapisan fibrosa (Jacky Xiao Feng et al., 2025).

Penyakit metabolik (sindrom metabolik)

Sindrom metabolik adalah sekumpulan faktor risiko kardiometabolik yang saling berhubungan, termasuk obesitas sentral, tekanan darah tinggi, kelainan profil lipid, serta gangguan regulasi glukosa, yang secara simultan meningkatkan kemungkinan terjadinya penyakit kardiovaskular, diabetes melitus tipe 2, kanker, dan peningkatan angka kematian secara umum. Meskipun bukti untuk menangani sindrom metabolik sebagai satu entitas tunggal

masih terbatas, terdapat bukti kuat yang mendukung penatalaksanaan setiap komponennya secara individual guna menurunkan risiko penyakit kardiovaskular aterosklerotik dan mencegah terjadinya diabetes. Modifikasi gaya hidup, terutama penurunan berat badan sebesar 5–10%, penerapan pola makan sehat seperti diet Mediterania atau DASH, serta aktivitas fisik teratur, direkomendasikan sebagai terapi lini pertama. Terapi farmakologis, termasuk agonis reseptor GLP-1, penghambat SGLT2, statin, dan obat antihipertensi, serta intervensi bedah bariatrik pada pasien terpilih, terbukti efektif dalam memperbaiki hasil metabolik. Identifikasi dini dan manajemen komprehensif sindrom metabolik oleh tenaga kesehatan, khususnya dokter layanan primer, berperan penting dalam menurunkan morbiditas dan mortalitas jangka panjang (Peterseim et al., 2024).

Hubungan Gangguan Enzim dengan Patogenesis Penyakit Metabolik

Gangguan enzim terjadi ketika kemampuan katalitik enzim mengalami penurunan atau tidak berjalan sebagaimana mestinya, sehingga jalur metabolisme yang bergantung pada enzim tersebut menjadi terhambat dan memicu ketidakseimbangan metabolik. Enzim berperan sebagai pengendali utama reaksi biokimia, sehingga gangguan pada satu enzim saja dapat menyebabkan ketidakseimbangan metabolik berupa penumpukan substrat atau kekurangan produk yang dibutuhkan sel. Gangguan enzim ini dapat bersifat bawaan maupun didapat dan berperan penting dalam patogenesis berbagai penyakit metabolik dan endokrin (Chaturvedi et al., 2016; Mahé et al., 2023).

Salah satu bentuk gangguan enzim adalah defisiensi enzim, yaitu keadaan ketika enzim tidak diproduksi sama sekali atau hanya dihasilkan dalam jumlah yang sangat rendah. Defisiensi enzim menyebabkan reaksi metabolik tertentu tidak dapat berlangsung secara efektif atau terhenti sepenuhnya. Kondisi ini umumnya berkaitan dengan kelainan genetik dan dapat menimbulkan penyakit metabolik bawaan dengan manifestasi klinis yang bervariasi, tergantung pada jalur metabolisme yang terdampak dan tingkat keparahan kekurangan enzim.

Selain jumlah enzim, aktivitas enzim juga berperan penting dalam kelancaran metabolisme. Aktivitas enzim mencerminkan kemampuan enzim dalam mengkatalisis reaksi biokimia dan dapat menurun meskipun jumlah enzim normal. Penurunan aktivitas enzim dapat disebabkan oleh perubahan struktur protein, gangguan mekanisme regulasi, atau kondisi lingkungan sel yang tidak mendukung, sehingga reaksi metabolik berlangsung lebih lambat dan menimbulkan gangguan metabolik.

Salah satu penyebab utama gangguan dan defisiensi enzim adalah mutasi pada gen yang mengkode enzim. Mutasi genetik dapat mengubah struktur tiga dimensi enzim, menurunkan stabilitas protein, mengganggu afinitas terhadap substrat, atau menurunkan aktivitas katalitik enzim. Mutasi tersebut berkontribusi terhadap munculnya berbagai penyakit metabolik dengan spektrum klinis yang luas, mulai dari gangguan ringan hingga kondisi berat.

Gangguan enzim berdampak langsung pada keseimbangan metabolik sel. Ketika enzim tidak berfungsi dengan baik, substrat yang seharusnya diubah menjadi produk akan mengalami penumpukan di dalam sel. Penumpukan ini dapat bersifat toksik dan memicu kerusakan sel, peradangan, serta gangguan fungsi jaringan. Selain itu, tidak terbentuknya produk metabolik

yang dibutuhkan tubuh, seperti molekul energi dan senyawa fungsional, menyebabkan sel kekurangan zat esensial untuk mempertahankan aktivitas fisiologisnya.

Gangguan enzim juga memengaruhi keseimbangan energi sel, terutama melalui hambatan produksi adenosin trifosfat (ATP). Kekurangan energi menyebabkan sel tidak mampu mempertahankan homeostasis, yang pada akhirnya dapat menimbulkan disfungsi sel dan kerusakan organ. Dalam konteks penyakit metabolik seperti diabetes melitus, gangguan enzim sering berkaitan dengan resistensi insulin yang menghambat kerja enzim-enzim metabolisme glukosa, sehingga glukosa tidak dimanfaatkan secara optimal dan menyebabkan hiperglikemia kronis (X. Zhao et al., 2023).

Selain itu, defisiensi enzim metabolik tertentu dapat mengganggu metabolisme karbohidrat dan lipid, yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa atau lipid dalam darah. Kondisi ini dapat berkembang menjadi hiperglikemia dan hiperlipidemia, yang memperburuk gangguan metabolik dan meningkatkan risiko komplikasi sistemik. Gangguan regulasi enzim juga menyebabkan jalur metabolisme berjalan tidak terkendali dan menghasilkan metabolit abnormal yang berkontribusi terhadap perkembangan penyakit metabolik kronis.

Hubungan Gangguan Enzim dengan Penyakit Kelainan Metabolisme Protein

Gangguan enzim pada metabolisme atau inherited metabolic disorders (IMDs) merupakan kelompok penyakit genetik yang terjadi akibat mutasi gen yang mengganggu fungsi enzim dalam berbagai jalur metabolisme. Gangguan ini dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis utama berdasarkan mekanisme dan jalur yang terlibat. Secara klinis, IMDs dibagi menjadi kelompok gangguan yang menyebabkan akumulasi zat toksik (seperti pada gangguan metabolisme asam amino dan siklus urea), gangguan produksi energi akibat disfungsi mitokondria atau oksidasi asam lemak, serta gangguan biosintesis yang memengaruhi pembentukan molekul penting dalam tubuh. Selain itu, klasifikasi juga dapat didasarkan pada jalur metabolisme yang terkena, seperti gangguan metabolisme karbohidrat, lipid, asam amino, serta purin dan pirimidin. Pada kondisi ini, defisiensi atau ketidakaktifan enzim menyebabkan penumpukan substrat atau kekurangan produk akhir, sehingga menimbulkan berbagai manifestasi klinis yang dapat melibatkan banyak organ. Dengan demikian, gangguan enzim metabolisme merupakan kondisi kompleks yang mencakup berbagai jenis penyakit dengan mekanisme patofisiologi yang berbeda namun berakar pada disfungsi enzimatis dalam sistem metabolisme tubuh (Ijaz et al., 2025). Gangguan enzim pada metabolisme protein, khususnya pada jalur katabolisme asam amino, dapat menyebabkan berbagai penyakit. Beberapa contoh penyakit tersebut antara lain sebagai berikut: (Shakerdi et al., 2025)

1. Fenilketonuria (Phenylketonuria/PKU)

Disebabkan oleh defisiensi enzim *fenilalanin hidroksilase* (PAH). Fenilalanin tidak dapat diubah menjadi tirosin, sehingga terjadi pembekuan fenilalanin dalam darah dan otak yang dapat menyebabkan gangguan intelektual, gangguan motorik, kejang, dan eksem bila tidak diobati. Penatalaksanaan kondisi ini bertujuan untuk menurunkan kadar fenilalanin dalam tubuh, yang dilakukan melalui diet rendah fenilalanin, pemberian formula asam amino khusus, serta terapi farmakologis seperti sapropterin, pegvaliase, atau sepiapterin untuk meningkatkan metabolisme fenilalanin.

2. Alkaptonuria

Disebabkan oleh mutasi gen *HGD* yang menyebabkan defisiensi enzim *homogentisate oksidase*. Akibatnya terjadi terjadinya *homogentisic acid* (HGA) dalam tubuh. Gejala khasnya meliputi urin yang menghitam setelah didiamkan, okronosis, gangguan sendi, batu ginjal, serta kelainan katup jantung. Penatalaksanaan dilakukan dengan tujuan mengurangi akumulasi HGA dan memperlambat progresivitas penyakit, yaitu melalui asupan protein dalam jumlah sedang serta pemberian terapi farmakologis seperti nitisinone.

3. Tirosinemia

Tirosinemia merupakan gangguan metabolisme tirosin yang disebabkan oleh defisiensi enzim pada jalur degradasinya. Pada tirosinemia tipe I, defisiensi enzim *fumarylacetoacetate hydrolase* (FAH) menyebabkan kerusakan hati dan ginjal yang berat, dengan manifestasi seperti hepatomegali, koagulopati, dan peningkatan risiko karsinoma hepatoseluler. Pada tirosinemia tipe II, defisiensi enzim *tirosin aminotransferase* (TAT) menyebabkan gangguan mata, lesi kulit, dan gangguan saraf. Sementara itu, tirosinemia tipe III disebabkan oleh gangguan enzim *4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase* (HPD) yang dapat menimbulkan ataksia dan kejang. Penatalaksanaan pada kondisi ini bertujuan untuk menurunkan kadar tirosin dan mencegah kerusakan organ, yang dilakukan melalui diet rendah tirosin dan fenilalanin, pemberian nitisinone pada tipe tertentu, serta transplantasi hati pada kasus berat.

4. Homosistinuria (Homocystinuria/HCU)

Penyakit ini paling sering disebabkan oleh defisiensi enzim *cystathionine beta-synthase* (CBS) yang mengganggu metabolisme metionin dan homosistein, sehingga menyebabkan peningkatan kadar homosistein dalam darah. Kondisi ini dapat menimbulkan manifestasi berupa osteopenia, gangguan kognitif, subluksasi lensa, serta peningkatan risiko tromboemboli. Penatalaksanaan bertujuan untuk menurunkan kadar homosistein dan mencegah komplikasi, yang dilakukan melalui diet rendah protein dan metionin, serta suplementasi vitamin B6, vitamin B12, folat, dan betaine.

5. Maple Syrup Urine Disease (MSUD)

Disebabkan oleh kelainan pada kompleks enzim *rantai cabang ketoacid dehydrogenase* (BCKDH) yang berperan dalam metabolisme asam amino rantai cabang, yaitu leusin, isoleusin, dan valin. Gangguan ini menyebabkan pembekuan asam amino tersebut beserta metabolitnya yang bersifat toksik. Gejalanya dapat berupa muntah, letargi, gangguan tonus otot, kejang, hingga koma. Penatalaksanaan bertujuan untuk mengurangi akumulasi asam amino toksik, yang dilakukan melalui diet rendah asam amino rantai cabang, pemberian formula khusus, serta intervensi seperti hemodialisis pada kondisi akut.

6. Methylmalonic Acidaemia (MMA)

Disebabkan oleh defisiensi enzim *methylmalonyl-CoA mutase* atau gangguan kofaktornya, yang menghambat metabolisme beberapa asam amino seperti isoleusin, metionin, treonin, dan valin. Kondisi ini menyebabkan penumpukan metabolit toksik yang dapat menimbulkan gejala seperti muntah, letargi, asidosis metabolik, hiperamonemia, dan gangguan saraf. Penatalaksanaan bertujuan untuk mengurangi produksi metabolit toksik, yang dilakukan

melalui restriksi protein, suplementasi karnitin, serta pemberian vitamin B12 pada tipe yang responsif.

Secara keseluruhan, berbagai penyakit tersebut menunjukkan bahwa gangguan enzim pada metabolisme protein dapat menyebabkan terjadinya metabolit toksik atau defisiensi produk penting, yang pada akhirnya menimbulkan gangguan fungsi organ dan manifestasi klinis yang beragam.

Enzim dalam Gangguan Metabolisme Karbohidrat, Lipid, dan Obesitas

Metabolisme karbohidrat

Metabolisme karbohidrat merupakan proses biokimia utama yang berperan dalam penyediaan energi bagi sel, terutama melalui pemanfaatan glukosa. Jalur utama metabolisme karbohidrat meliputi glikolisis, glikogenesis, glikogenolisis, glukoneogenesis, dan jalur pentosa fosfat. Langkah awal yang sangat penting dalam metabolisme glukosa adalah fosforilasi glukosa menjadi glukosa-6-fosfat (G6P), karena metabolit ini menjadi titik percabangan bagi berbagai jalur metabolik. Gangguan pada tahap awal ini dapat menyebabkan disfungsi metabolik yang luas (Chandel, 2021).

Enzim utama yang berperan pada tahap awal metabolisme glukosa adalah hexokinase dan glucokinase. Hexokinase terdapat di hampir semua jaringan dan berfungsi mengkatalisis fosforilasi glukosa menjadi G6P pada langkah pertama glikolisis. Jurnal ini menunjukkan bahwa hexokinase juga memiliki aktivitas samping (side activity), yaitu dapat memfosforilasi analog glukosa seperti 1,5-anhydroglucitol, menghasilkan 1,5-anhydroglucitol-6-phosphate (1,5AG6P). Akumulasi metabolit ini terbukti dapat menghambat aktivitas hexokinase itu sendiri, sehingga menurunkan laju glikolisis dan produksi energi sel. Hal ini sangat berdampak pada sel yang bergantung hampir sepenuhnya pada glikolisis, seperti neutrofil.

Glucokinase, yang terutama terdapat di hati dan pankreas, berperan dalam pengaturan homeostasis glukosa darah. Enzim ini bekerja sebagai sensor glukosa dan berkontribusi dalam pengambilan glukosa pascaprandial. Jurnal ini juga menyinggung peran enzim terkait seperti ADP-glucokinase yang dapat berkontribusi dalam fosforilasi analog glukosa, menunjukkan bahwa regulasi metabolisme karbohidrat sangat rentan terhadap kesalahan fosforilasi metabolit non-klasik.

Enzim lain yang sangat penting dalam metabolisme karbohidrat adalah glucose-6-phosphatase. Enzim ini berfungsi menghidrolisis glukosa-6-fosfat menjadi glukosa bebas, terutama di hati dan ginjal, sehingga berperan penting dalam mempertahankan kadar glukosa darah. Jurnal ini secara khusus membahas peran G6PC3 (glucose-6-phosphatase- β) dan G6PT, yang bekerja sama dalam mekanisme metabolite repair untuk menghilangkan 1,5AG6P. Defisiensi salah satu dari protein ini menyebabkan akumulasi 1,5AG6P, yang kemudian menghambat hexokinase dan mengganggu metabolisme glukosa sel (Veiga-da-Cunha et al., 2019).

Gangguan pada metabolisme karbohidrat berkaitan erat dengan berbagai penyakit. Pada diabetes mellitus, terjadi gangguan regulasi glukosa darah yang memengaruhi jalur metabolisme karbohidrat secara sistemik. Jurnal ini menjelaskan bahwa kadar glukosa yang

tinggi memengaruhi metabolisme 1,5-anhydroglucitol, yang sering digunakan sebagai penanda kontrol glikemik, sehingga mencerminkan ketidakseimbangan metabolisme glukosa.

Selain itu, Glycogen Storage Disease (GSD), khususnya tipe Ib, merupakan contoh nyata gangguan metabolisme karbohidrat akibat defisiensi G6PT. Penyakit ini tidak hanya menyebabkan gangguan penyimpanan dan pelepasan glukosa dari glikogen, tetapi juga menimbulkan neutropenia akibat akumulasi 1,5AG6P yang menghambat glikolisis pada neutrofil. Hal ini menegaskan bahwa GSD merupakan kelainan metabolik kompleks yang melibatkan gangguan jalur metabolisme karbohidrat pada tingkat seluler (Veiga-da-Cunha et al., 2019).

Secara keseluruhan, jurnal ini menekankan bahwa metabolisme karbohidrat tidak hanya bergantung pada jalur klasik, tetapi juga pada mekanisme metabolite repair. Gangguan pada enzim-enzim kunci seperti hexokinase, glucokinase, dan glucose-6-phosphatase dapat menyebabkan akumulasi metabolit toksik yang berdampak besar pada fungsi sel dan memicu penyakit metabolik.

Metabolisme lipid

Metabolisme lipid merupakan proses biologis yang kompleks dan terintegrasi, yang berperan penting dalam pengaturan energi, struktur membran sel, serta homeostasis metabolik. Dua enzim kunci dalam proses ini adalah lipoprotein lipase (LPL) dan 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase (HMG-CoA reductase/HMGCR). LPL berperan utama dalam hidrolisis trigliserida yang terdapat dalam lipoprotein kaya trigliserida seperti kilomikron dan very-low-density lipoprotein (VLDL), sehingga menghasilkan asam lemak bebas yang dapat dimanfaatkan oleh jaringan perifer, terutama jaringan adiposa dan otot. Aktivitas LPL menentukan distribusi asam lemak ke jaringan sasaran dan sangat memengaruhi kadar trigliserida plasma serta risiko penyakit kardiometabolik (Chang, 2019; Wu et al., 2021).

Fungsi LPL tidak hanya terbatas pada aktivitas lipolitik klasik, tetapi juga dipengaruhi oleh mekanisme regulasi molekuler yang kompleks. Aktivitas dan stabilitas LPL dikendalikan oleh sejumlah protein regulator, termasuk GPIHBP1, angiopoietin-like proteins (ANGPTL3, ANGPTL4, dan ANGPTL8), serta faktor pematangan enzim seperti LMF1 dan SEL1L. Regulasi ini memungkinkan penyesuaian aktivitas LPL sesuai dengan kondisi metabolik, seperti puasa, makan, dan kebutuhan energi jaringan. Gangguan pada regulasi LPL terbukti berhubungan dengan hipertrigliseridemia, resistensi insulin, dan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular, yang menegaskan peran sentral LPL dalam metabolisme lipid dan patogenesis penyakit metabolik (Basu & Goldberg, 2020; Goldenhuys et al., 2017).

Di sisi lain, HMG-CoA reductase (HMGCR) merupakan enzim pembatas laju dalam jalur mevalonat, yang mengatur sintesis kolesterol endogen. HMGCR mengkatalisis konversi HMG-CoA menjadi mevalonat, langkah awal dan paling menentukan dalam biosintesis kolesterol. Aktivitas enzim ini dikontrol secara ketat melalui mekanisme umpan balik negatif yang melibatkan sterol, regulasi transkripsi melalui SREBP-2, serta degradasi protein yang dimediasi oleh sistem ubiquitin-proteasom. Ketidakseimbangan aktivitas HMGCR dapat menyebabkan akumulasi kolesterol berlebih, yang berkontribusi terhadap dislipidemia, aterosklerosis, dan gangguan metabolik lainnya (Zhou et al., 2024).

Disfungsi metabolisme lipid yang melibatkan HMGCR tidak hanya berdampak pada penyakit kardiometabolik, tetapi juga berperan dalam patogenesis penyakit neurodegeneratif seperti Alzheimer. Peningkatan aktivitas HMGCR dikaitkan dengan gangguan homeostasis kolesterol, stres oksidatif, dan respons inflamasi, yang berkontribusi terhadap kerusakan neuronal. Oleh karena itu, penghambatan HMGCR melalui penggunaan statin tidak hanya berfungsi sebagai terapi penurun lipid, tetapi juga memiliki potensi efek protektif terhadap proses inflamasi dan degenerasi jaringan. Secara keseluruhan, interaksi antara LPL dan HMGCR mencerminkan keterkaitan erat antara metabolisme trigliserida dan kolesterol dalam menjaga keseimbangan lipid dan mencegah perkembangan penyakit metabolik.

Obesitas

Obesitas merupakan kondisi penumpukan lemak tubuh berlebihan yang terjadi akibat gangguan mekanisme keseimbangan energi dalam tubuh, bukan sekadar akibat makan berlebihan. Tubuh manusia secara normal memiliki sistem fisiologis yang mengatur asupan dan pengeluaran energi agar cadangan lemak tetap berada dalam batas tertentu. Ketika sistem pengaturan ini terganggu—baik pada tingkat hormonal, saraf, jaringan adiposa, maupun perilaku—energi berlebih akan disimpan sebagai lemak dan dalam jangka panjang menyebabkan obesitas.

Obesitas muncul dari interaksi antara faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik. Faktor intrinsik mencakup kelainan dalam pengaturan nafsu makan dan rasa kenyang, perubahan proses metabolisme, gangguan fungsi hormonal, serta peran faktor genetik yang turut memengaruhi perilaku dan pemanfaatan energi tubuh. Faktor ekstrinsik seperti makanan padat energi dan rendahnya aktivitas fisik tidak secara langsung menyebabkan obesitas, tetapi memperkuat terjadinya surplus energi bila gangguan intrinsik sudah ada .

Setiap individu juga memiliki respons yang berbeda terhadap kelebihan asupan energi. Sebagian orang mampu meningkatkan pengeluaran energi, termasuk melalui aktivitas jaringan lemak termogenik, sehingga berat badan relatif stabil. Sebaliknya, individu dengan respons termogenik yang rendah lebih mudah mengalami penambahan berat badan meskipun berada pada kondisi kelebihan energi yang sama. Oleh karena itu, obesitas dipahami sebagai akibat dari kegagalan regulasi energi jangka panjang, bukan kesalahan perilaku semata .

Peran enzim dalam lipogenesis:

Dalam jaringan adiposa putih (White Adipose Tissue/WAT), lipogenesis berfungsi menyimpan kelebihan energi dalam bentuk trigliserida. Proses ini sangat bergantung pada kerja enzim yang dikendalikan terutama oleh hormon insulin. Enzim kunci yang terlibat antara lain:

- Acetyl-CoA carboxylase (ACC): mengkatalisis pembentukan malonil-CoA sebagai langkah awal sintesis asam lemak.
- Fatty acid synthase (FAS): berperan dalam pembentukan rantai asam lemak baru.
- Diacylglycerol acyltransferase (DGAT): mengubah diacylglycerol menjadi trigliserida untuk disimpan di adiposit.

Aktivitas enzim-enzim ini memungkinkan adiposit menyerap glukosa dan asam lemak berlebih, lalu menyimpannya secara aman sebagai cadangan energi. Proses ini penting untuk

menjaga homeostasis energi tubuh dan mencegah penumpukan lemak di organ non-adiposa (Lopez-Yus et al., 2024).

Peran enzim dalam lipolisis:

Lipolisis merupakan mekanisme katabolik yang memungkinkan trigliserida dipecah menjadi asam lemak bebas dan gliserol, terutama saat tubuh berada dalam kondisi peningkatan kebutuhan energi, seperti puasa atau aktivitas fisik. Proses ini dikendalikan oleh sistem saraf simpatik dan melibatkan enzim utama:

- Adipose triglyceride lipase (ATGL): memulai pemecahan trigliserida.
- Hormone-sensitive lipase (HSL): melanjutkan pemecahan diasilgliserol.
- Monoacylglycerol lipase (MGL): menyelesaikan proses menjadi asam lemak bebas dan gliserol.

Lipolisis yang terkontrol memastikan suplai energi bagi jaringan perifer seperti otot dan hati tanpa menyebabkan kelebihan asam lemak dalam sirkulasi (Basu & Goldberg, 2020; Tardelli et al., 2020).

Ketidakseimbangan enzim dan penumpukan lemak

Pada kondisi obesitas, terjadi gangguan keseimbangan antara lipogenesis dan lipolisis akibat disfungsi regulasi enzim:

- Aktivitas lipogenesis tetap tinggi, sementara kontrol insulin terhadap lipolisis melemah.
- Adiposit menjadi resisten terhadap efek antilipolitik insulin, sehingga lipolisis meningkat secara tidak terkontrol.
- Akibatnya, terjadi peningkatan pelepasan asam lemak bebas (NEFA) ke sirkulasi.

Kelebihan NEFA ini tidak lagi dapat disimpan secara efektif oleh jaringan adiposa subkutan, sehingga terjadi penumpukan lemak ektopik, terutama di hati dan jaringan visceral. Kondisi ini berkontribusi pada lipotoksisitas, resistensi insulin, dan perkembangan Non-Alcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD) (Lopez-Yus et al., 2024).

KESIMPULAN

Tinjauan pustaka ini menegaskan bahwa enzim memiliki peran sentral dalam pengaturan jalur metabolisme karbohidrat, lipid, dan protein, serta berkontribusi langsung terhadap patogenesis berbagai penyakit metabolik. Enzim-enzim kunci seperti hexokinase dan glucose-6-phosphatase dalam metabolisme karbohidrat, lipoprotein lipase dan HMG-CoA reductase dalam metabolisme lipid, serta enzim metabolik lainnya berfungsi sebagai pengendali laju reaksi biokimia dan penentu keseimbangan energi sel. Gangguan pada jumlah, aktivitas, atau regulasi enzim tersebut dapat menyebabkan akumulasi substrat toksik, defisiensi produk metabolik penting, serta ketidakseimbangan energi, yang pada akhirnya berujung pada kondisi seperti diabetes melitus, obesitas, dislipidemia, dan penyakit metabolik kronis lainnya.

Selain itu, tinjauan ini menunjukkan bahwa penyakit metabolik tidak hanya disebabkan oleh faktor perilaku atau lingkungan, tetapi juga oleh disfungsi enzimatik yang dipengaruhi

oleh faktor genetik, hormonal, dan molekuler. Interaksi kompleks antara resistensi insulin, gangguan regulasi enzim, serta perubahan fungsi jaringan metabolik seperti hati dan jaringan adiposa memperlihatkan bahwa penyakit metabolik merupakan hasil dari kegagalan sistem regulasi metabolisme secara menyeluruh. Pemahaman mengenai mekanisme gangguan enzim memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan strategi pencegahan dan terapi yang lebih spesifik dan efektif.

Meskipun demikian, masih terdapat kesenjangan pengetahuan terkait hubungan kausal antara disfungsi enzim tertentu dengan progresivitas penyakit metabolik pada tingkat seluler dan jaringan. Banyak penelitian masih bersifat asosiasi dan belum sepenuhnya menjelaskan mekanisme molekuler yang mendasari variasi respons individu terhadap gangguan metabolik. Oleh karena itu, penelitian di masa depan perlu difokuskan pada eksplorasi regulasi enzim secara dinamis, interaksi antarjalur metabolik, serta potensi enzim sebagai target terapeutik dan biomarker penyakit. Pendekatan multidisiplin yang mengintegrasikan biokimia, genetika, dan ilmu klinis diharapkan dapat memperdalam pemahaman tentang patogenesis penyakit metabolik dan mendukung pengembangan terapi yang lebih personal dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Basu, D., & Goldberg, I. J. (2020). Regulation of lipoprotein lipase-mediated lipolysis of triglycerides. In *Current Opinion in Lipidology* (Vol. 31, Issue 3, pp. 154–160). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/MOL.0000000000000676>
- Chandel, N. S. (2021). Glycolysis. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(5). <https://doi.org/10.1101/CSHPERSPECT.A040535>
- Chandrasekaran, P., & Weiskirchen, R. (2024). The Role of Obesity in Type 2 Diabetes Mellitus—An Overview. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 25, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms25031882>
- Chang, C. L. (2019). Lipoprotein lipase: New roles for an “old” enzyme. In *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* (Vol. 22, Issue 2, pp. 111–115). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000536>
- Chaturvedi, S., et al. (2016). Human Metabolic Enzymes Deficiency: A Genetic Mutation Based Approach. In *Scientifica* (Vol. 2016). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2016/9828672>
- Dhurandhar, N. V. (2022). What is obesity?: Obesity Musings. In *International Journal of Obesity* (Vol. 46, Issue 6, pp. 1081–1082). Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/s41366-022-01088-1>
- Dudutienė, V., et al. (2020). Isoform-Selective Enzyme Inhibitors by Exploring Pocket Size According to the Lock-and-Key Principle. *Biophysical Journal*, 119(8), 1513–1524. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2020.08.037>
- Farhan, M., et al. (2025). Enzymes as Catalysts in Industrial Biocatalysis: Advances in Engineering, Applications, and Sustainable Integration. In *Catalysts* (Vol. 15, Issue 9).

- Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/catal15090891>
- Garus-Pakowska, A. (2023). Metabolic Diseases—A Challenge for Public Health in the 21st Century. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 20, Issue 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/ijerph20186789>
- Geldenhuys, W. J., et al. (2017). Emerging strategies of targeting lipoprotein lipase for metabolic and cardiovascular diseases. In *Drug Discovery Today* (Vol. 22, Issue 2, pp. 352–365). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2016.10.007>
- Harreiter, J., & Roden, M. (2023). Diabetes mellitus: definition, classification, diagnosis, screening and prevention (Update 2023). *Wiener Klinische Wochenschrift*, 135, 7–17.
<https://doi.org/10.1007/s00508-022-02122-y>
- Judge, A., & Dodd, M. S. (2020). Metabolism. In *Essays in Biochemistry* (Vol. 64, Issue 4, pp. 607–647). Portland Press Ltd. <https://doi.org/10.1042/EBC20190041>
- Kos, J. (2023). Peptidases: Role and Function in Health and Disease. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms24097823>
- Li, Q., et al. (2021). Glutaric Acidemia, Pathogenesis and Nutritional Therapy. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.704984>
- Lopez-Yus, M., et al. (2024). Unraveling Adipose Tissue Dysfunction: Molecular Mechanisms, Novel Biomarkers, and Therapeutic Targets for Liver Fat Deposition. In *Cells* (Vol. 13, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/cells13050380>
- Madhan, S., et al. (2023). Evaluation of the Effects of Dyslipidemia on Hearing in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Indian Journal of Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, 75, 541–547. <https://doi.org/10.1007/s12070-023-03626-3>
- Mahé, M., et al. (2023). Genetics of enzymatic dysfunctions in metabolic disorders and cancer. In *Frontiers in Oncology* (Vol. 13). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1230934>
- Peterseim, C. M., et al. (2024). Metabolic Syndrome: An Updated Review on Diagnosis and Treatment for Primary Care Clinicians. In *Journal of Primary Care and Community Health* (Vol. 15). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/21501319241309168>
- Robinson, P. K. (2015). Enzymes: principles and biotechnological applications. *Essays in Biochemistry*, 59, 1–41. <https://doi.org/10.1042/BSE0590001>
- Tardelli, M., et al. (2020). The Role of Metabolic Lipases in the Pathogenesis and Management of Liver Disease. In *Hepatology* (Vol. 72, Issue 3, pp. 1117–1126). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/hep.31250>
- Veiga-da-Cunha, M., et al. (2019). Failure to eliminate a phosphorylated glucose analog leads to neutropenia in patients with G6PT and G6PC3 deficiency. *Proceedings of the National*

- Academy of Sciences of the United States of America*, 116(4), 1241–1250.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1816143116>
- Wu, S. A., et al. (2021). Lipoprotein Lipase and Its Regulators: An Unfolding Story. In *Trends in Endocrinology and Metabolism* (Vol. 32, Issue 1, pp. 48–61). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/j.tem.2020.11.005>
- Zhao, T., et al. (2025). Research progress in abnormal carbohydrate, lipid, and protein metabolism in children with isolated growth hormone deficiency. *Frontiers in Endocrinology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1553008>
- Zhao, X., et al. (2023). The crucial role and mechanism of insulin resistance in metabolic disease. In *Frontiers in Endocrinology* (Vol. 14). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1149239>
- Zhou, X., et al. (2024). Mechanisms of 3-Hydroxyl 3-Methylglutaryl CoA Reductase in Alzheimer's Disease. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 25, Issue 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/ijms25010170>
- Ijaz, A., Abbas, S., Shabbir, M., Badshah, Y., Abid, F., Afsar, T., & Razak, S. (2025). Inherited metabolic disorders: presentation, clinical types, laboratory diagnosis and genetic markers. In *Orphanet Journal of Rare Diseases* (Vol. 20, Number 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13023-025-03979-8>
- Jacky Xiao Feng, H., Adil, Y., Julie, M., Ramiz, A., Krishma, U., & Pemminati, S. (2025). Recent Advances in the Management of Dyslipidemia: A Systematic Review. *Cureus*.
<https://doi.org/10.7759/cureus.81034>
- Shakerdi, A. L., Nerney, D., Molloy, E. J., & Knerr, I. (2025). Inborn Errors of Amino Acid Metabolism Revisited: Clinical Implications and Insights into Current Therapies. In *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 14, Number 24). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jcm14248749>

Literature Review

Kesejahteraan Mahasiswa Kedokteran di Pendidikan Tinggi

Amin Rusdy Mattugengkeng¹, Edelweis Saphire Noor S.¹, Ghea Athifiyah Salove¹, Haifa Ishaq¹, Harumi Aisyah¹, Moh. Reza Alfian Hidayat¹, Nurul Atika Susliana P.¹, Wulan Sri Rahayu¹, Zaskia Mutia Rosa¹, Muhamad Reza Utama²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Ilmu Pendidikan Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Kesejahteraan mahasiswa kedokteran merupakan kondisi multidimensional yang krusial dalam pembentukan profesionalisme calon tenaga medis. Pendidikan kedokteran dengan beban kurikulum yang padat dan tuntutan emosional tinggi menempatkan mahasiswa pada risiko besar mengalami burnout akademik, yang ditandai dengan kelelahan emosional, ketidakpedulian, dan penurunan pencapaian pribadi. Metode yang digunakan untuk membuat studi ini adalah tinjauan literasi. Tinjauan literasi ini bertujuan untuk menggabungkan berbagai literatur mengenai konsep burnout, faktor risiko, peran strategi koping dan dukungan lingkungan pada fase preklinik dan klinik yang kemudian dihubungkan dengan kesejahteraan mahasiswa kedokteran. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa masalah kesehatan mental mempunyai tingkat kejadian yang tinggi, terutama dipicu oleh beban akademik dan kurangnya dukungan sosial. Meskipun intervensi modern seperti teknologi digital dan coaching memberikan dampak positif, integrasi sistemik dalam kurikulum masih terbatas. Tinjauan ini menyimpulkan bahwa diperlukan model intervensi berkelanjutan yang bersifat preventif dan promotif serta sensitif terhadap konteks lokal guna mendukung kesejahteraan dan profesionalisme mahasiswa secara holistik.

Keywords : kesejahteraan mahasiswa kedokteran, burnout akademik, kesehatan mental, strategi koping, dukungan lingkungan

ABSTRACT

The well-being of medical students is a multidimensional condition that is crucial in the formation of the professionalism of medical staff candidates. Medical education with a dense curriculum load and high emotional demands puts students at great risk of experiencing academic burnout, which is characterized by emotional exhaustion, indifference, and decreased personal achievement. The method used in making this study is literature review. This literature review aims to synthesize some literature on the concept of burnout, risk factors, the role of coping strategies and environmental support in the preclinical and clinical phases, then connect it with the well-being of medical student. The results of the review show that mental health problems have a high prevalence, mainly triggered by academic burden and lack of social support. Although modern interventions such as digital technology and coaching have a positive impact, systemic integration in the curriculum is still limited. This review concludes that a continuous intervention model that is preventive and promotional and sensitive to the local context is needed to support the welfare and professionalism of students holistically.

Keywords: *The well-being of medical students, academic burnout, mental health, coping*

strategies, environmental support

Correspondence : matugengkengs@gmail.com

PENDAHULUAN

Kesejahteraan mahasiswa di pendidikan tinggi menggambarkan kondisi menyeluruh mahasiswa dalam menjalani kehidupan akademik dan nonakademik secara seimbang. Pendidikan kedokteran merupakan pendidikan profesional dengan tuntutan akademik, emosional, dan psikososial yang tinggi, dimulai dari proses seleksi yang sangat kompetitif hingga beban kurikulum yang padat dan berkelanjutan. Tekanan ini membuat mahasiswa kedokteran sering mengalami *Burnout* akademik seperti kelelahan secara fisik, emosional, dan mental akibat pembelajaran jangka panjang yang membutuhkan daya ingat yang kuat. *Burnout* ditandai oleh kelelahan emosional, depersonalisasi, serta penurunan penghargaan terhadap diri sendiri, yang tidak hanya berdampak pada prestasi akademik tetapi juga berpotensi memengaruhi kesehatan mental dan profesionalisme mahasiswa sebagai calon tenaga medis.

Burnout pada mahasiswa kedokteran menjadi permasalahan penting karena berkaitan dengan peningkatan risiko berbagai gangguan psikologis seperti depresi, kecemasan, dan penurunan kemampuan empati, yang bisa memengaruhi kualitas layanan kesehatan di masa mendatang. Sayangnya, kondisi ini sering kali tidak dapat disadari atau tidak ditangani dengan baik karena stigma dalam dunia medis dan ketidakberanian mahasiswa untuk mencari bantuan dari profesional. Oleh sebab itu, dibutuhkan pemahaman yang baik tentang faktor-faktor yang menyebabkan *burnout* dan cara-cara yang dapat digunakan mahasiswa untuk mengatasi tekanan yang dialami dalam perkuliahan kedokteran.

Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk membahas secara sistematis konsep *burnout* pada mahasiswa kedokteran, faktor risiko yang memengaruhinya, serta peran strategi koping dan dukungan lingkungan dalam mencegah dan mengurangi dampaknya. Ruang lingkup tinjauan mencakup studi yang meneliti *burnout* akademik pada mahasiswa kedokteran tahap preklinik dan klinik, termasuk strategi koping adaptif dan maladaptif serta upaya pencegahan berbasis institusi pendidikan. Tinjauan ini tidak mencakup *burnout* pada dokter yang telah menjalani praktik profesional penuh maupun intervensi klinis terapeutik, sehingga fokus tetap pada konteks pendidikan kedokteran sebagai fase krusial pembentukan kesehatan mental dan profesionalisme calon dokter (Wahdini, 2025).

TINJAUAN LITERATUR

Konsep Well-being dalam Konteks Pendidikan Kedokteran

Kesehatan mental merupakan fondasi utama dari kesejahteraan mahasiswa kedokteran mengingat jalur akademik ini adalah salah satu yang paling menuntut dan sering kali berdampak signifikan pada kondisi psikologis mahasiswanya. Tekanan mental, seperti gejala depresi dan kecemasan, ternyata jauh lebih sering menghantui para calon dokter ketimbang orang-orang di luar bidang medis. Di antara para pejuang jas putih ini, kelompok mahasiswi biasanya menunjukkan tingkat kerentanan yang lebih tinggi terhadap tekanan emosional tersebut. Menariknya, kapasitas empati mahasiswa kedokteran dilaporkan berada pada skor

yang tinggi dan cenderung meningkat secara progresif sepanjang masa pendidikan, yang menunjukkan adanya korelasi positif terhadap ketahanan mental mereka (Capdevila-Gaudens et al., 2021).

Kesejahteraan mahasiswa juga sangat dipengaruhi oleh kemampuan mereka untuk beradaptasi dengan perubahan drastis dalam lingkungan pendidikan, seperti peralihan ke pembelajaran daring selama masa krisis kesehatan global. Dalam konteks ini, ketahanan psikologis atau *resilience* berperan sebagai faktor pelindung krusial yang membantu mahasiswa mempertahankan stabilitas mental dan menurunkan risiko kelelahan emosional atau *burnout*. Mahasiswa dengan tingkat resiliensi yang baik cenderung menunjukkan sikap yang lebih positif terhadap proses pembelajaran jarak jauh meskipun di tengah ketidakpastian akademik (Forycka et al., 2022).

Kualitas hidup dan kesejahteraan emosional mahasiswa kedokteran sangat bergantung pada sejauh mana mereka menjalani gaya hidup sehat. Salah satu faktor yang berperan besar dengan kesejahteraan emosional mereka adalah konsistensi dalam melakukan aktifitas fisik yang teratur. Rutinitas aktivitas fisik terbukti mampu mengurangi kelelahan emosional, meningkatkan rasa kompetensi diri, serta mendukung kesehatan mental yang lebih stabil di tengah beban studi yang intensif. Oleh karena itu, pendekatan promotif melalui olahraga layak dipertimbangkan sebagai bagian dari strategi institusi dalam menjaga keseimbangan psikologis mahasiswa selama menjalani pendidikan (Taylor., 2022).

Usaha untuk menjaga *well-being* mahasiswa kedokteran di dalam lingkungan akademik digital bisa dilakukan dengan meningkatkan keterlibatan interaktif melalui aplikasi kuis atau survei daring. Usaha ini penting karena di dalam perkuliahan daring, mahasiswa cenderung hadir secara perilaku namun tidak aktif secara kognitif dan afektif, dan apabila dibiarkan dapat menurunkan motivasi mahasiswa untuk belajar dan menjadikan mereka mahasiswa yang pasif. Dengan menggunakan platform seperti *Zoom Polls* dan *Mentimeter* yang bersifat formatif dapat meningkatkan minat serta motivasi mahasiswa untuk memperdalam pengetahuan tanpa menimbulkan tekanan atau stres tambahan dalam proses belajar. Dari menciptakan ruang diskusi yang inklusif dan memberikan umpan balik dua arah, integrasi teknologi interaktif mampu mendukung pengalaman belajar yang lebih produktif dan menjaga kesehatan mental mahasiswa melalui pengurangan hambatan komunikasi selama proses pembelajaran (Utomo & Utama, 2022).

Upaya untuk meningkatkan kesejahteraan mahasiswa kedokteran sangat ditentukan oleh pemahaman yang komprehensif terhadap berbagai macam motivasi belajar di setiap fase pendidikan, baik pada tahap preklinik maupun klinik. Walaupun dorongan dari dalam diri memiliki peran penting, sejumlah temuan menunjukkan bahwa motivasi yang berasal dari faktor eksternal cukup dominan, sehingga keberadaan dukungan lingkungan serta penggunaan media pembelajaran yang sesuai dengan minat mahasiswa menjadi elemen krusial, terutama dalam proses penyesuaian selama pembelajaran jarak jauh. Penerapan metode *Problem-Based Learning* (PBL) terbukti tidak hanya membantu menghubungkan konsep teori dengan praktik klinis, tetapi juga meningkatkan rasa percaya diri dan menekan tingkat kecemasan ketika mahasiswa menghadapi kasus. Pada akhirnya, keberlanjutan kesejahteraan dan pencapaian akademik memerlukan suasana belajar yang mendukung, termasuk peran supervisor klinis

yang bersifat membimbing serta dukungan dari sesama mahasiswa, agar individu tetap mandiri dan mampu beradaptasi dalam lingkungan pendidikan yang terus berkembang (Putra et al., 2023).

Epidemiologi Masalah Kesehatan Mental pada Mahasiswa Kedokteran

Tingkat kejadian masalah kesehatan mental dan perubahan motivasi belajar pada mahasiswa kedokteran tidak lepas dari karakteristik demografis yang ada, terutama ketika mereka harus beradaptasi dengan sistem pembelajaran jarak jauh. Berdasarkan data, sebagian besar mahasiswa berada pada usia produktif, dengan proporsi tertinggi pada usia 21 tahun yang mencapai 21%. Dari sisi jenis kelamin, jumlah mahasiswa perempuan lebih dominan, yakni 61%, sedangkan laki-laki sebesar 39%. Keterkaitan antara motivasi dan prestasi akademik sendiri menunjukkan hasil yang tidak selalu seragam, di mana ketidakstabilan dalam proses belajar kerap dipengaruhi oleh berbagai faktor yang belum sepenuhnya dapat dikendalikan, seperti usia, riwayat pendidikan, hingga dukungan dari keluarga dan tenaga pengajar. Di samping itu, kemampuan mahasiswa untuk menyesuaikan diri dalam situasi pembelajaran yang terus berubah sangat dipengaruhi oleh penerapan metode seperti *Problem-Based Learning* (PBL), yang terbukti membantu mengurangi kecemasan sekaligus rasa tertekan saat menghadapi penyelesaian kasus klinis (Putra et al., 2023).

Fenomena *mistreatment* atau perlakuan salah di lingkungan akademik juga menjadi isu epidemiologi yang serius karena berdampak langsung pada kesehatan mental mahasiswa. Perilaku kekerasan seperti ini dikategorikan menjadi beberapa jenis, seperti perilaku yang agresif, kekerasan fisik, dan kekerasan seksual yang dapat menurunkan harkat bagi seorang calon dokter. Dapat dilihat di beberapa wilayah seperti kekerasan pada lansia laporannya sangat lah tinggi, sekitar 46% sampai dengan 91%, kekerasan verbal merupakan kekerasan yang paling sering dijumpai. Dampak dari kondisi ini meliputi stres emosional, depresi, penurunan rasa percaya diri, hingga munculnya ide bunuh diri pada sebagian kecil responden (Essien et al., 2024).

Tuntutan akademik pada tahap profesi atau klinik secara signifikan meningkatkan beban psikologis mahasiswa dibandingkan tahap sarjana. Dari penelitian ternyata menunjukkan bahwa hampir seluruh mahasiswa kedokteran pada bagian ini mengalami stres yang tinggi (73%), dan diteruskan dengan stres yang menengah yang berkisar (18,7%) dan stres yang sangat tinggi di angka (8,3%). Domain stresor yang paling dominan berkaitan dengan ujian kompetensi nasional yang memicu stres akademik kronis. Terlihat bahwa hubungan tingkat stres pada mahasiswa kedokteran sangatlah tinggi dengan pencapaian prestasi akademik mahasiswa (Nurul Hakim et al., 2023).

Peralihan ke dunia pendidikan kedokteran menuntut mahasiswa untuk mampu menyesuaikan diri dengan cepat terhadap sistem belajar yang baru dan terus berkembang. Pada fase preklinik, mahasiswa kerap mengalami kesulitan dalam menjaga stabilitas motivasi belajar, yang sering kali dipengaruhi oleh berbagai faktor yang belum sepenuhnya terkendali, seperti usia, latar belakang pendidikan, serta dukungan dari keluarga dan pengajar. Meski motivasi belajar sering dianggap penting untuk meraih prestasi, data menunjukkan bahwa pada mahasiswa preklinik, hubungan antara motivasi dan nilai akademik tergolong lemah, terutama jika dibandingkan dengan mahasiswa yang sudah berada di tahap profesi. Kondisi ini

menunjukkan bahwa tingginya tuntutan akademik memerlukan pendekatan tambahan, salah satunya melalui penerapan metode *Problem-Based Learning* (PBL), yang terbukti dapat meningkatkan rasa percaya diri sekaligus menekan kecemasan dan perasaan tertekan saat menghadapi kasus klinis. Di sisi lain, kemampuan mengatur waktu secara efektif serta pemanfaatan perangkat yang tepat juga menjadi hal penting, mengingat sebagian besar mahasiswa mengandalkan smartphone (66%) sebagai sarana utama untuk berkomunikasi dan berdiskusi terkait materi pembelajaran (Putra et al., 2023).

Situasi darurat kesehatan global seperti pandemi COVID-19 telah melipatgandakan prevalensi gejala depresi dan kecemasan di kalangan mahasiswa kedokteran dibandingkan rata-rata sebelum pandemi. Dari beberapa data menunjukkan bahwa 67,5% mahasiswa mengalami depresi 73% merasa selalu cemas dan 88,4% mahasiswa lainnya merasa bahwa adanya peningkatan pengasingan dari rekan sejawat. Yang berdampak pada kesehatan mental seseorang terasa begitu tinggi dan menyebabkan 31,2% mahasiswa merasa adanya keraguan untuk melanjutkan pendidikan di bidang kesehatan terutama Fakultas Kedokteran. Selain itu, mayoritas mahasiswa atau sekitar 91,1% mengalami fenomena *Zoom fatigue* akibat beban kuliah daring yang berlebihan (Chakladar et al., 2022).

Faktor-Faktor yang Memengaruhi Well-being (Stressor)

Mahasiswa kedokteran seringkali menghadapi berbagai tekanan dari beban akademik yang sangat intensif sehingga memicu munculnya masalah dalam kesejahteraan mereka. Selain tuntutan kurikulum, faktor eksternal seperti masalah keluarga, kondisi kesehatan fisik maupun mental, serta kemampuan komunikasi turut menjadi elemen krusial yang memengaruhi pengembangan profesionalisme mahasiswa. Gangguan pada kesejahteraan psikologis ini berisiko menghambat fungsi fisik, emosional, kognitif, dan sosial seseorang secara menyeluruh selama masa pendidikan (Nurkholisah et al., 2025).

Integritas akademik merupakan pondasi penting dalam pendidikan tinggi, akan tetapi tantangan moral seringkali muncul sebagai upaya dalam menjaga nilai-nilai seperti kejujuran dan tanggung jawab. Munculnya perbedaan pandangan antara mahasiswa dan dosen mengenai siapa yang seharusnya memikul tanggung jawab utama dalam mempertahankan integritas dapat memicu munculnya tekanan psikologis bagi pihak-pihak yang terlibat. Mahasiswa cenderung merasa beban tanggung jawab tersebut ada sepenuhnya pada diri mereka sendiri, sementara dosen memandangnya sebagai kewajiban kolektif yang harus dibagi secara seimbang (Vlasenko et al., 2024).

Berkurangnya dorongan untuk belajar pada mahasiswa kedokteran kerap muncul akibat perpaduan berbagai faktor, baik yang berasal dari dalam diri seperti tingkat kepercayaan diri, maupun dari luar diri seperti suasana dan sistem pembelajaran. Strategi pengajaran yang cenderung satu arah, terlebih di tengah beban materi yang sangat padat, dapat membuat mahasiswa merasa jenuh sehingga minat dan antusiasme mereka terhadap proses pendidikan pun menurun. Selain itu, kurangnya pemahaman mengenai relevansi antara materi pembelajaran dengan kompetensi profesional yang akan dihadapi di masa depan juga menjadi hambatan signifikan dalam mempertahankan motivasi intrinsik (Spitzer et al., 2025).

Pembelajaran dalam format daring asinkron membawa hambatan spesifik seperti keterbatasan interaksi sosial dan minimnya umpan balik langsung yang dapat menurunkan keterlibatan belajar mahasiswa. Kondisi ini seringkali memicu rasa terisolasi yang berdampak negatif pada kepuasan serta hasil belajar mahasiswa selama menjalani perkuliahan digital. Oleh karena itu, diperlukan desain instruksional yang mampu memfasilitasi komunikasi autentik agar beban psikologis akibat metode belajar yang kaku dapat diminimalisir (Scott et al., 2024).

Pembelajaran di bidang kedokteran mempunyai kekhasan yang penuh tuntutan, diantaranya mekanisme penilaian yang berisiko tinggi serta beban emosional yang cukup berat ketika mahasiswa menjalani periode rotasi klinik. Tuntutan untuk menguasai pengetahuan yang sangat kompleks dalam durasi waktu yang singkat menjadi sumber stressor akademik utama yang membebani kapasitas mental mahasiswa. Tantangan yang terus berkembang ini mengharuskan mahasiswa untuk memiliki kemampuan belajar adaptif dan kontrol diri yang kuat agar tetap resilient di lingkungan profesi kesehatan yang penuh tekanan (Donaldson et al., 2025).

Menurunnya Standar Profesional Mahasiswa Kedokteran

Mahasiswa kedokteran sering terkena masalah psikologis seperti stress yang mengakibatkan penurunan profesionalisme di masa depan. Kesejahteraan yang rendah seringkali menjadi pemicu munculnya perilaku tidak profesional, penurunan prestasi akademik, serta hilangnya rasa empati terhadap pasien. Penurunan profesionalisme juga dapat berdampak pada gangguan kesejahteraan pasien dan kesejahteraan para calon dokter. Ketidakmampuan mengelola tekanan pribadi ini pada akhirnya berpotensi merusak standar pelayanan kesehatan secara keseluruhan (Seaborne et al., 2025).

Pembelajaran daring yang tidak sinkron yang tidak dibuat dengan mempertimbangkan prinsip - prinsip ilmu pembelajaran, interaksi sosial, serta dukungan pengajaran yang cukup seperti umpan balik yang formatif, partisipasi aktif mahasiswa, dan penguatan metakognisi dapat mengurangi kesejahteraan mahasiswa kedokteran melalui peningkatan stres akademis, beban kognitif, dan perasaan terasing, yang pada gilirannya mempengaruhi rendahnya self-efficacy dan kepuasan belajar, menurunnya motivasi serta keterlibatan akademik, serta akhirnya menghalangi perkembangan profesionalisme mahasiswa kedokteran, termasuk tanggung jawab belajar, kepercayaan diri dalam penggunaan istilah medis, keterampilan komunikasi profesional, sikap reflektif, dan dedikasi terhadap pembelajaran sepanjang hayat (Mazzoleni et al., 2024).

Pada kompetensi tersebut untuk menjadi dokter yang berkualitas diperlukan lingkungan yang baik dalam pembelajaran klinis. Melalui pendekatan kolaboratif seperti pengajaran antarprofesi, mahasiswa dapat mempelajari aspek komunikasi, kerja tim, dan pengambilan keputusan secara komprehensif bersama tenaga kesehatan lainnya. Lingkungan belajar yang kolaboratif dan suportif terbukti berkontribusi positif terhadap kepuasan belajar serta kesiapan profesional mahasiswa sebelum memasuki dunia kerja. Mahasiswa kedokteran dapat mengembangkan profesionalitas dengan memahami kinerja sebagai dokter yang disiplin dalam perawatan pasien (Yang et al., 2025).

Pemanfaatan teknologi simulasi digital dalam pendidikan kedokteran menawarkan peluang baru untuk memperkuat nilai-nilai empati dan mengurangi stigma dalam praktik medis. Mahasiswa merasa terbantu karena mendapat pengalaman emosional dalam memahami kondisi pasien dengan menggunakan realitas virtual (VR), khususnya dalam memahami pasien gangguan jiwa yang rumit. Selain meningkatkan keterlibatan belajar, teknologi ini dilaporkan mampu meningkatkan empati dan menurunkan stigma negatif terhadap pasien, yang merupakan elemen inti dari profesionalisme medis. Hal tersebut membantu menjembatani kesenjangan antara teori akademik dan perilaku klinis yang etis di lapangan (Rodda et al., 2025).

Masuknya kecerdasan buatan ke dalam dunia pendidikan medis membawa perubahan besar kepada mahasiswa dalam mengevaluasi diri mereka kemajuan mereka sendiri. AI menawarkan potensi dalam menciptakan pengalaman belajar yang terpersonalisasi dan memberikan umpan balik instan yang memperdalam pemahaman pada materi klinis yang rumit. Walaupun teknologi ini memudahkan penyusunan materi klinis, penggunaannya tetap harus dalam pantauan manusia agar data yang didapatkan lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan. Validasi konten oleh tenaga ahli tetap menjadi syarat utama guna memastikan bahwa instrumen penilaian yang digunakan selaras dengan standar profesionalisme pengobatan terkini (Sridharan et al., 2024).

Strategi Koping dan Intervensi Institusional

Pemanfaatan metode pembelajaran inovatif berbasis teknologi merupakan salah satu strategi penting untuk meningkatkan kualitas proses belajar sekaligus membangun kepercayaan diri mahasiswa. Simulasi yang didukung oleh teknologi memungkinkan mahasiswa untuk memahami beragam konsep klinis dengan cara yang lebih relevan dan praktis, terutama dalam bidang-bidang yang tidak memiliki cukup kesempatan untuk menghadapi kasus nyata di situasi klinis. Para mahasiswa berpendapat bahwa pendekatan ini jauh lebih menarik daripada metode pembelajaran tradisional karena memberikan pengalaman belajar yang aman, teratur, dan dapat dilaksanakan berulang kali. Meskipun demikian, efektivitasnya sangat bergantung pada desain simulasi dan kesiapan pengajar dalam mengintegrasikannya ke dalam kurikulum sebagai pelengkap pembelajaran (Nair et al., 2024).

Program pendampingan profesional seperti *group coaching* berbasis daring kini dikembangkan sebagai model intervensi untuk meningkatkan kesejahteraan mahasiswa melalui kurikulum digital yang terstruktur. Intervensi ini dirancang untuk membantu peserta didik memahami persepsi dan perilaku mereka sendiri melalui metode metakognisi guna menghadapi tantangan pendidikan yang penuh tekanan. Meskipun tidak selalu menurunkan tingkat *burnout* secara drastis, program ini terbukti efektif dalam meningkatkan aspek *self-compassion* (belas kasih diri) dan skor *flourishing* mahasiswa secara signifikan. Skalabilitas model digital ini menawarkan solusi yang efisien untuk membangun komunitas dan menormalisasi tantangan di antara rekan sejawat sebagai upaya preventif di hulu (Mann et al., 2025).

Dengan menjalani gaya hidup sehat yang mencakup aktivitas fisik rutin dan pola makan yang seimbang, mahasiswa kedokteran dapat meningkatkan kesejahteraan subjektif mereka. Kebiasaan makan sehat muncul sebagai salah satu prediktor terkuat dalam menjaga

kesehatan mental dan stabilitas emosional di tengah jadwal belajar yang padat. Aktivitas fisik yang dilakukan secara konsisten sangat berpengaruh dalam membantu mahasiswa mengatasi stres yang berkaitan dengan studi mereka. Dengan melakukan aktivitas ini, ketegangan berkurang, sehingga kondisi mental menjadi lebih stabil dan tingkat kepuasan dalam menjalani pengalaman perkuliahan juga meningkat. Oleh karena itu, institusi pendidikan diharapkan dapat mempromosikan olahraga rutin serta membangun lingkungan kampus yang mendukung akses terhadap nutrisi yang baik bagi seluruh civitas akademika (A. M. Putri, 2023).

Strategi koping yang adaptif serta dukungan sosial dari lingkungan sekitar terbukti menjadi faktor penentu dalam mempertahankan tingkat *well-being* mahasiswa sepanjang masa studi. Mahasiswa yang memiliki kepuasan tinggi terhadap lingkungan belajarnya cenderung mampu berfungsi secara efektif dan tetap produktif meskipun menghadapi beban akademik yang berat. Sebaliknya, ketika mahasiswa lebih sering menghindari masalah dan tidak memperoleh dukungan sosial yang memadai, kondisi kesehatan mental mereka dapat memburuk seiring dengan bertambahnya masa pendidikan yang mereka jalani. Kemampuan untuk berkontribusi secara produktif dan memiliki makna hidup merupakan indikator penting dari kesejahteraan yang harus dijaga melalui ekosistem pendidikan yang suportif (Gács et al., 2025).

Terakhir, integrasi intervensi yang berpusat pada individu melalui proses *coaching* dapat membantu mahasiswa mengidentifikasi sumber stres dan menetapkan tujuan yang lebih realistis. Berbeda dengan bimbingan akademik pada umumnya, pendekatan ini tidak hanya berfokus pada aspek akademis, tetapi juga mendorong mahasiswa untuk merefleksikan diri serta menyusun strategi koping yang selaras dengan kondisi dan kebutuhan pribadi mereka. Implementasi program pembinaan yang berkelanjutan dan berbasis bukti ilmiah sangat diperlukan oleh institusi untuk memperkuat resiliensi serta kepuasan profesional calon dokter. Hal ini pada akhirnya akan membantu dalam pembuatan kebijakan institusional yang lebih fokus pada peningkatan kesehatan mental mahasiswa secara jangka panjang (Breslin et al., 2023).

KESIMPULAN

Telaah literatur ini menegaskan bahwa *well-being* mahasiswa kedokteran merupakan konstruksi multidimensional yang dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara tuntutan akademik, faktor individual, lingkungan pembelajaran, serta dukungan institusional. Masalah kesehatan mental seperti stres, depresi, kecemasan, dan burnout terbukti memiliki prevalensi yang tinggi pada berbagai tahap pendidikan kedokteran, khususnya pada mahasiswa tahun pertama, fase klinik, dan selama situasi krisis seperti pandemi. Faktor risiko yang konsisten meliputi beban kurikulum yang berat, metode pembelajaran yang kurang interaktif, integritas akademik yang dipersepsikan sebagai beban individual, pengalaman mistreatment, serta keterbatasan dukungan sosial. Sebaliknya, faktor protektif seperti resiliensi, empati, aktivitas fisik, gaya hidup sehat, strategi koping adaptif, serta lingkungan belajar yang kolaboratif dan suportif berperan penting dalam menjaga keseimbangan psikologis dan perkembangan profesionalisme mahasiswa.

Literatur yang ditelaah juga menunjukkan bahwa rendahnya kesejahteraan tidak hanya berdampak pada kesehatan mental, tetapi berimplikasi langsung pada penurunan profesionalisme, motivasi belajar, empati, dan kesiapan klinis mahasiswa kedokteran. Berbagai intervensi, baik berbasis individu maupun institusional, termasuk coaching, pembelajaran reflektif, simulasi digital, pengajaran interprofesi, serta pemanfaatan teknologi seperti AI dan VR, dilaporkan memberikan manfaat positif terhadap aspek tertentu dari well-being. Tetapi, mayoritas intervensi tersebut masih memberikan dampak yang relatif terbatas dalam jangka panjang dan belum sepenuhnya terintegrasi secara sistematis ke dalam kurikulum pendidikan kedokteran. Kesenjangan pengetahuan yang menonjol dalam literatur meliputi kurangnya studi longitudinal yang mampu menjelaskan dinamika kesejahteraan mahasiswa sepanjang seluruh fase pendidikan kedokteran, keterbatasan bukti mengenai efektivitas jangka panjang intervensi berbasis teknologi, serta minimnya pendekatan kontekstual yang mempertimbangkan perbedaan budaya, sistem pendidikan, dan sumber daya institusi. Sementara itu, keterkaitan sebab-akibat antara well-being, profesionalisme, dan hasil akademik hingga kini belum sepenuhnya dapat dibuktikan secara empiris. Oleh karena itu, penelitian di masa depan perlu mengarah pada pengembangan model intervensi yang komprehensif, berkelanjutan, dan sensitif terhadap konteks lokal, dengan mengombinasikan pendekatan preventif dan promotif guna mendukung kesehatan mental serta pembentukan profesionalisme mahasiswa kedokteran secara holistik.

REFERENSI

- Breslin, L., Dyrbye, L., Chelf, C., & West, C. (2023). Effects of coaching on medical student well-being and distress: a systematic review protocol. *BMJ Open*, 13(8). <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2023-073214>
- Capdevila-Gaudens, P., Miguel García-Abajo, J., Flores-Funes, D., García-Barbero, M., & García-Estañ, J. (2021). Depression, anxiety, burnout and empathy among Spanish medical students. *PloS One*, 16(12). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0260359>
- Chakladar, J., Diomino, A., Li, W. T., Tsai, J. C., Krishnan, A. R., Zou, A. E., Kharidia, K., Baig, F. A., Householder, S., Kuo, S. Z., Chandrasekar, S., Chang, E. Y., & Ongkeko, W. M. (2022). Medical student's perception of the COVID-19 pandemic effect on their education and well-being: a cross-sectional survey in the United States. *BMC Medical Education*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/S12909-022-03197-X>
- Donaldson, M., McBride, S., Wilhelm, M., Parent-Nichols, J., Thomas, R., Scanlon, E., & Griswold, D. (2025). Exploring the impact of academic coaching interventions on student outcomes in graduate healthcare and medical education: a systematic scoping review. *Medical Education Online*, 30(1). <https://doi.org/10.1080/10872981.2025.2581671>
- Essien, E. A., Ukoaka, B. M., Daniel, F. M., Okobru, G., & Adam, T. W. (2024). Prevalence and correlates of medical student mistreatment in Nigeria: A narrative review. *Medicine*, 103(15), E37747. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000037747>
- Forycka, J., Pawłowicz-Szlarska, E., Burczyńska, A., Cegielska, N., Harendarz, K., & Nowicki, M. (2022). Polish medical students facing the pandemic-Assessment of

- resilience, well-being and burnout in the COVID-19 era. *PloS One*, 17(1). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0261652>
- Gács, B., Matuz, A., Ahuja, A., Rudnik, A., Wojtecka, A., Ondrejka, I., Janík, M., Oppa, M., Dubovcová, M., Hrtánek, I., Ulrichová, M., Havigerová, J., & Varga, Z. (2025). Exploring mental well-being among medical students in the Visegrad four: a cross-national analysis. *BMC Medical Education*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/S12909-025-08004-X>
- Mann, A., Fainstad, T., Sullivan, I., Ritz, E. M., SooHoo, J. R., Mechaber, H. F., & Shah, A. (2025). Medical students: They're not just little doctors! Impact of an online group-coaching program on medical student well-being: A randomized clinical trial. *PloS One*, 20(8). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0328546>
- Mazzoleni, A., Garg, S., Bhatia, S., & Kumar, N. S. (2024). Medical students' attitudes towards well-being and welfare: a systematic review protocol. *BMJ Open*, 14(5). <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2023-080977>
- Nair, R., Shmon, T., Neufeld, A., McKague, M., & Malin, G. (2024). When medical students are autonomously motivated to mentor: a pilot study on confidence in clinical teaching and psychological well-being. *Canadian Medical Education Journal*, 15(4). <https://doi.org/10.36834/CMEJ.77991>
- Nurkholisah, Meidianawaty, V., & Fachrudin, D. (2025). HUBUNGAN KESEJAHTERAAN PSIKOLOGIS DENGAN PROFESIONALISME MAHASISWA FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS SWADAYA GUNUNG JATI. *Ibnu Sina: Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan - Fakultas Kedokteran Universitas Islam Sumatera Utara*, 24(1), 243–255. <https://doi.org/10.30743/IBNUSINA.V24I1.726>
- Nurul Hakim, A., Kusumawati, A., Budi, Y. H., Qoimatun, I., Studi kedokteran, P., Kedokteran, F., Muhammadiyah Purwokerto, U., Psikiatri, B., Sakit Umum Daerah Kota Salatiga Jl Ahmad Dahlan, R. K., & Box, P. (2023). Tingkat Stres dan Pencapaian Kompetensi Mahasiswa Program Profesi Dokter: Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. *Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan*, 19(2), 173–186. <https://doi.org/10.24853/JKK.19.2.173-186>
- Putra, H. M., Utama, M. R., & Levani, Y. (2023). THE RELATIONSHIP BETWEEN PRE-CLINICAL STUDENT LEARNING MOTIVATION AND CLINICAL STUDENT WITH ACADEMIC PERFORMANCE DURING THE DISTANCE LEARNING PERIOD AT THE FACULTY OF MEDICINE, UM SURABAYA. *Proceeding Series Universitas Muhammadiyah Surabaya*, 2(1). <https://doi.org/10.30651/PS.V2I1.19420>
- Putri, A. M. (2023). GAYA HIDUP SEHAT DAN SUBJECTIVE WELL BEING PADA MAHASISWA KEDOKTERAN. *Jurnal Medika Malahayati*, 7(2), 635–642. <https://doi.org/10.33024/JMM.V7I2.10151>
- Rodda, J., Mansi, H., Fernando-Sayers, J., Bennett, S., & Shergill, S. (2025). Virtual and Augmented Reality in Undergraduate Medical Education in Psychiatry: A Systematic Review. *The Clinical Teacher*, 22(4). <https://doi.org/10.1111/TCT.70128>

- Scott, K., Young, J., Barbee, J., & Nahikian-Nelms, M. (2024). Leveraging learning science to improve student outcomes in asynchronous online medical terminology education. *Medical Education Online*, 29(1). <https://doi.org/10.1080/10872981.2024.2413051>
- Seaborne, H. J., Chehab, L. Z., Rajapuram, N., & Sammann, A. (2025). Disparities in well-being outcomes among medical students: a comparative study between medical students with and without disability. *BMC Medical Education*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/S12909-025-06770-2>
- Spitzer, P., Mittmann, C., Utz, J., Mestermann, S., Festl-Wietek, T., Kornhuber, J., & Herrmann-Werner, A. (2025). Increasing motivation and well-being among medical students using curricular self-experience group sessions-a randomized controlled trial. *Medical Education Online*, 30(1). <https://doi.org/10.1080/10872981.2025.2519386>
- Sridharan, K., & Sequeira, R. P. (2024). Artificial intelligence and medical education: application in classroom instruction and student assessment using a pharmacology & therapeutics case study. *BMC Medical Education*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/S12909-024-05365-7>
- Taylor, C. E., Scott, E. J., & Owen, K. (2022). Physical activity, burnout and quality of life in medical students: A systematic review. *The Clinical Teacher*, 19(6). <https://doi.org/10.1111/TCT.13525>
- Utomo, P. S., & Utama, M. R. (2022). ENHANCING STUDENTS' ENGAGEMENT USING INTERACTIVE APPLICATIONS IN ONLINE LECTURES. *Jurnal Pendidikan Kedokteran Indonesia: The Indonesian Journal of Medical Education*, 11(3), 326. <https://doi.org/10.22146/jpki.71840>
- Vlasenko, O., Kucherenko, I., Turchyn, M. Y., Nechushkina, O., Kobrzytskyi, V., & Hrytsenko, O. A. (2024). Values of academic integrity in higher medical education. *Wiadomosci Lekarskie (Warsaw, Poland: 1960)*, 77(4), 784–789. <https://doi.org/10.36740/WLEK202404126>
- Wahdini, A. I. (2025). Burnout Dan Strategi Koping Pada Mahasiswa Kedokteran : Sebuah Tinjauan Pustaka. *Berkala Ilmiah Kedokteran Dan Kesehatan Masyarakat* , 3(1), 142–155. <https://doi.org/10.20885/BIKKM.VOL3.ISS1.ART14>
- Yang, P., Xiong, T., Dong, X., Yang, S., & Yue, J. (2025). Interprofessional teaching rounds in medical education: improving clinical problem-solving ability and interprofessional collaboration skills. *Medical Education Online*, 30(1). <https://doi.org/10.1080/10872981.2025.2451269>

Literature Review

Resiliensi dan Pengembangan Identitas Profesional Mahasiswa

Vika Syabina Fitria Putri¹, Hafizhah Naurah Alyaa Khaalishah¹, Nurul Fitrianing Dewi Wulandari¹, Averrous Sani¹, Aqilah Zambaqah Kurniawan¹, Helida Auliya'un Nadhifah¹, Ahmad Kafabi Alaul Ila¹, Raina Putri Baydowi¹, Shabrina Alifia Rahmadani¹, Muhamad Reza Utama²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Ilmu Pendidikan Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Identitas profesional merupakan bagian penting dalam pembentukan karakter mahasiswa sebagai calon profesional, khususnya dalam menghadapi tuntutan akademik dan dunia kerja. Salah satu faktor psikologis yang berperan dalam proses tersebut adalah resiliensi. Resiliensi merupakan kemampuan individu untuk bertahan dan menyesuaikan diri ketika menghadapi tekanan. Literatur review ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara resiliensi dengan pengembangan identitas profesional mahasiswa serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Metode yang digunakan adalah penelusuran dan kajian literatur dari jurnal ilmiah yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa resiliensi berperan penting dalam memperkuat identitas profesional mahasiswa dengan membantu mereka mengelola stres akademik, mempertahankan motivasi belajar, serta memahami peran dan nilai profesi yang dijalani. Selain itu, lingkungan belajar yang mendukung, dukungan sosial, kurikulum yang reflektif, dan peran dosen sebagai teladan turut berkontribusi dalam pengembangan resiliensi dan identitas profesional.

Kata Kunci : resiliensi, identitas profesional, mahasiswa

ABSTRACT

Professional identity is an important aspect in shaping student character as future professionals, particularly in facing academic demands and the transition to the workplace. One of the psychological factors involved in this process is resilience. Resilience refers to an individual's ability to endure and adapt when facing pressure or difficulties. This literature review aims to examine the relationship between resilience and the development of students' professional identity, as well as the factors that influence it. The method used in this study is a review and analysis of relevant scientific literature from academic journals. The findings show that resilience plays an important role in strengthening students' professional identity. Resilience helps students manage academic stress, maintain motivation to learn, and better understand professional roles and values. In addition, a supportive learning environment, social support, reflective learning activities, and positive role models from faculty members also contribute to the development of resilience and professional identity.

Keywords : resilience, professional identity, students

Correspondence : vikasyabina@gmail.com

PENDAHULUAN

Dunia profesional saat ini menuntut setiap individu untuk memiliki pemahaman yang kuat mengenai peran dan kontribusi mereka di lingkungan . Secara umum, pembentukan karakter seorang praktisi tidak hanya ditentukan oleh keterampilan teknis, tetapi juga oleh kemampuan individu dalam **menerapkan nilai-nilai profesi** dalam sikap dan perilakunya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa identitas profesional merupakan cara individu memandang dan memahami dirinya dalam peran profesional. Hal ini mencakup bagaimana individu memahami tanggung jawab profesinya serta menjalankan pekerjaan yang menjadi bidangnya. Hal ini menunjukkan bahwa cara seseorang memandang dirinya sendiri di dunia kerja akan menjadi acuan dalam menjalankan tanggung jawab profesionalnya (Zhang *et al.*, 2024).

Masa peralihan menuju dunia kerja sering dihadapkan pada berbagai tantangan akademik dan tekanan psikologis. Dalam kondisi ini, resiliensi menjadi faktor yang penting. Resiliensi adalah kemampuan individu untuk bertahan dan menyesuaikan diri saat menghadapi tekanan atau kesulitan. Banyak mahasiswa merasa kesulitan dalam menyelaraskan antara beban kuliah dengan ekspektasi karier di masa depan, sehingga tanpa daya tahan mental yang kuat identitas profesional mereka menjadi tidak berkembang secara optimal. Perlu dipahami pula bahwa pembentukan identitas profesional (PIF) merupakan sebuah proses berkelanjutan dan reflektif yang terjadi sepanjang masa pendidikan (Ryan *et al.*, 2024).

Topik mengenai identitas profesional dan resiliensi sudah mulai banyak dibahas, kami mengamati masih terdapat kesenjangan dalam literatur yang secara khusus mengulas keterkaitan keduanya bagi mahasiswa. Sebagian besar penelitian cenderung berfokus pada tenaga kerja yang sudah mapan, sehingga informasi mengenai bagaimana resiliensi berpengaruh dalam membangun identitas profesional mahasiswa sejak dini, perlu diteliti lebih lanjut. Oleh karena itu, tulisan ini disusun untuk mengkaji secara mendalam bagaimana konsep resiliensi dan pengembangan identitas profesional dapat saling mendukung dalam mempersiapkan mahasiswa menghadapi dunia kerja yang dinamis.

TINJAUAN LITERATUR

Konsep Identitas Profesional

Identitas profesional menggambarkan bagaimana seseorang memandang dirinya dalam peran profesi yang akan dijalani. Identitas ini terbentuk melalui proses pembelajaran dan pengalaman yang berlangsung secara bertahap. Dalam proses tersebut, individu mulai memahami nilai, sikap, dan perilaku yang sesuai dengan profesinya. Oleh karena itu, identitas profesional tidak hanya berkaitan dengan keterampilan teknis, tetapi juga dengan cara berpikir dan bersikap sebagai seorang profesional. Pembentukan identitas profesional menjadi bagian penting dalam perkembangan sikap profesional. seseorang dan tidak dapat dipisahkan dari kepribadian yang telah dimiliki sebelumnya. Nilai dan keyakinan pribadi merupakan faktor yang dapat memengaruhi perkembangan identitas profesional. Keselarasan antara identitas profesional dan karakter pribadi dapat mendukung individu dalam menjalankan peran profesional. Ketidaksesuaian antara keduanya dapat menimbulkan rasa tidak nyaman,

kebingungan peran, serta menurunkan kepercayaan diri dalam menjalankan tanggung jawab profesional di lingkungan sosial (Verlind-Brouwer *et al.*, 2025).

Perkembangan identitas profesional dimulai dengan keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran dan praktik selama masa pendidikan. Berbagai tugas akademik yang diberikan oleh dosen berperan dalam membantu mahasiswa memahami tanggung jawab profesi secara bertahap. Melalui pengalaman belajar, khususnya dalam kegiatan praktik, mahasiswa mulai mengintegrasikan pengetahuan teoretis dengan sikap dan perilaku profesional. Proses ini menjadi dasar bagi mahasiswa untuk mengenali peran serta tanggung jawabnya sebagai calon profesional. Identitas profesional akan terus berkembang selama masa pendidikan dan karir melalui pengalaman, interaksi sosial, serta refleksi terhadap pengalaman yang dialami (Faihs *et al.*, 2023; Verlind-Brouwer *et al.*, 2025).

Pembentukan identitas profesional juga dipengaruhi oleh interaksi sosial serta kemampuan mahasiswa dalam merefleksikan pengalaman yang diperoleh selama proses pendidikan. Dukungan dari dosen, pembimbing, serta lingkungan akademik yang kondusif berperan dalam membantu mahasiswa memahami dan memperkuat identitas profesionalnya. Lingkungan belajar yang mendukung memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk menerima masukan, belajar dari pengalaman, dan melakukan perbaikan diri secara berkelanjutan (Nasiri & Shokrpour, 2024).

Perkembangan identitas profesional memerlukan komitmen serta pemahaman yang baik terhadap tanggung jawab profesi. Motivasi internal untuk belajar dan mengembangkan diri juga berperan dalam memperkuat identitas profesional mahasiswa. Dukungan sosial, lingkungan belajar yang kondusif, serta kebiasaan melakukan refleksi juga berperan penting dalam menjaga perkembangan identitas profesional, terutama saat mahasiswa menghadapi tekanan akademik (Nasiri & Shokrpour, 2024).

Proses pembentukan identitas profesional mahasiswa dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang berasal dari dalam diri (internal) maupun dari luar (eksternal). Faktor internal meliputi motivasi belajar, kemampuan refleksi diri, nilai-nilai pribadi, serta kemampuan regulasi diri. Faktor dari luar mencakup peran dosen sebagai teladan, variasi pengalaman belajar, dukungan lingkungan sosial, budaya institusi, serta beban akademik yang dijalani mahasiswa. Keterkaitan antara faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi arah perkembangan identitas profesional mahasiswa (Faihs *et al.*, 2023).

Pengembangan komitmen terhadap profesi oleh mahasiswa menjadi salah satu faktor yang mendukung terbentuknya identitas profesional. Kemampuan mengelola emosi, mengatur diri, serta memiliki daya tahan dalam menghadapi tekanan akademik membantu mahasiswa mengurangi dampak stres yang berlebihan. Dukungan dari keluarga, teman sejawat, dan institusi pendidikan berperan dalam menumbuhkan rasa keterikatan terhadap profesi sehingga mahasiswa dapat mempertahankan dan mengembangkan identitas profesional secara berkelanjutan (Yuhuan *et al.*, 2022; Faihs *et al.*, 2023).

Resiliensi Dalam Pendidikan dan Kehidupan Mahasiswa

Resiliensi merupakan kemampuan mahasiswa untuk tetap bertahan dan menjaga kestabilan diri ketika menghadapi tekanan selama proses pendidikan. Kemampuan ini berperan

dalam membantu mahasiswa mencapai prestasi akademik serta menghadapi berbagai tekanan dalam proses pembelajaran. Resiliensi membantu mahasiswa memiliki tujuan belajar yang lebih jelas, mendorong keterlibatan aktif dalam proses pembelajaran, serta melatih kesiapan mental dalam menghadapi berbagai tantangan akademik dan perubahan lingkungan belajar. Mahasiswa yang memiliki resiliensi yang baik cenderung lebih baik menyesuaikan diri dengan sistem pembelajaran yang aktif dan dinamis, sehingga lebih siap menghadapi situasi baru, baik di lingkungan akademik maupun kehidupan sehari-hari (Wang *et al.*, 2025).

Kemampuan adaptasi merupakan komponen penting dalam pembentukan resiliensi mahasiswa. Sistem pembelajaran di perguruan tinggi menuntut mahasiswa untuk berpikir kritis, aktif dalam diskusi, serta mampu menyesuaikan diri dengan berbagai metode pembelajaran. Proses adaptasi tersebut berperan dalam mengembangkan fleksibilitas kognitif serta meningkatkan pemahaman terhadap materi yang dipelajari. Mahasiswa yang mampu beradaptasi dengan baik umumnya lebih siap menghadapi tuntutan akademik yang kompleks dan memiliki daya tahan yang lebih kuat dalam menjalani proses pendidikan (Wang *et al.*, 2025; Alkal, 2025).

Dukungan sosial merupakan faktor penting dalam pengembangan resiliensi mahasiswa. Dukungan ini dapat berasal dari keluarga, teman sebaya, maupun lingkungan akademik. Dukungan sosial berperan dalam menciptakan rasa aman secara psikologis, meningkatkan kepercayaan diri, serta menjaga motivasi belajar. Mahasiswa yang memperoleh dukungan sosial yang memadai cenderung menunjukkan kapasitas yang lebih baik dalam mengelola stres akademik dan menghadapi kesulitan dalam proses pembelajaran. Dukungan sosial juga berperan dalam membantu mahasiswa menghadapi tekanan pendidikan yang berlangsung dalam jangka waktu lama, sehingga mereka dapat bertahan dan menyelesaikan proses pendidikan dengan lebih baik (Puspita *et al.*, 2024).

Motivasi belajar dan keyakinan terhadap kemampuan diri memiliki hubungan yang erat dengan tingkat ketahanan mahasiswa. Mahasiswa yang memiliki keyakinan terhadap kemampuannya sendiri umumnya menunjukkan motivasi belajar yang lebih tinggi dan tidak mudah menyerah ketika menghadapi tantangan akademik. Motivasi tersebut mendorong mahasiswa untuk tetap berusaha serta memanfaatkan kemampuan yang dimiliki dalam menyelesaikan berbagai kesulitan selama proses pendidikan. Upaya meningkatkan keyakinan diri mahasiswa dipandang sebagai cara yang efektif untuk memperkuat ketahanan dan mengurangi dampak stres akademik yang berkepanjangan (Abdolrezaipoor *et al.*, 2023).

Lingkungan pendidikan yang intensif dan padat dapat menimbulkan kelelahan fisik maupun mental pada mahasiswa. Beban akademik yang tinggi, tuntutan pencapaian, serta tekanan evaluasi dapat menyebabkan sebagian mahasiswa mengalami kelelahan dan kesulitan dalam menjalani proses pendidikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketahanan diri dan kepercayaan diri merupakan faktor penting yang mendukung mahasiswa untuk tetap bertahan dalam menjalani pendidikan. Mahasiswa dengan resiliensi atau daya tahan yang rendah menunjukkan kecenderungan mengalami penurunan kesejahteraan psikologis yang dapat berdampak pada keberlangsungan studi (Erschens *et al.*, 2024).

Kemampuan adaptasi, ketahanan diri, dan keyakinan terhadap kemampuan pribadi merupakan sumber daya psikologis yang penting bagi mahasiswa. Mahasiswa yang mampu

menyesuaikan diri dengan baik cenderung memiliki ketahanan yang lebih kuat dalam menjalani perkembangan akademik maupun pribadi. Kemampuan tersebut membantu mahasiswa bertahan dan tetap berkembang meskipun berada dalam situasi yang penuh tekanan dan tuntutan, sehingga proses pendidikan dapat dijalani dengan lebih seimbang dan berkelanjutan (Alkal, 2025).

Ketahanan akademik merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap kesejahteraan mahasiswa. Perkembangan ketahanan akademik dipengaruhi oleh ketekunan serta motivasi belajar yang tinggi. Mahasiswa yang memiliki ketahanan akademik yang baik umumnya mampu menjaga kondisi psikologis, mempertahankan motivasi belajar, dan mencapai hasil akademik. Dengan demikian, resiliensi menjadi kemampuan penting yang perlu dikembangkan selama masa pendidikan tinggi untuk mendukung keberhasilan akademik dan kesejahteraan mahasiswa (Obeng *et al.*, 2025).

Hubungan Resiliensi dan Pengembangan Identitas Profesional

Perkembangan identitas profesional mahasiswa dipengaruhi oleh kondisi psikologis yang dialami selama proses pendidikan. Penelitian oleh Wu *et al.*, (2024) pada mahasiswa menunjukkan bahwa perkembangan identitas profesional dipengaruhi oleh kepribadian dan tingkat resiliensi mahasiswa. Resiliensi merupakan kemampuan individu dalam menyesuaikan diri dengan tuntutan akademik dan perubahan lingkungan pembelajaran. Temuan penelitian tersebut menunjukkan bahwa resiliensi berperan dalam memperkuat hubungan antara kepribadian dan identitas profesional, sehingga mahasiswa dengan tingkat resiliensi yang lebih tinggi cenderung memiliki identitas profesional yang lebih kuat dan pemahaman yang lebih jelas terhadap peran profesinya.

Hubungan antara resiliensi dan identitas profesional didukung oleh sejumlah penelitian yang mengkaji peran faktor-faktor psikologis pada mahasiswa. Studi oleh Sang *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa resiliensi tidak hanya berpengaruh secara langsung terhadap identitas profesional, tetapi juga berperan sebagai perantara yang memperkuat pengaruh faktor psikologis lain, seperti empati, dalam proses pembentukan identitas profesional. Mahasiswa dengan tingkat resiliensi yang lebih tinggi cenderung lebih baik dalam mengelola kondisi emosional secara efektif, sehingga lebih mudah memahami peran profesional dan mengembangkan sikap yang selaras dengan nilai profesi yang dipelajari (Sang *et al.*, 2022).

Peran resiliensi dalam pengembangan identitas profesional juga terlihat pada kajian yang bersifat lebih umum dalam konteks pendidikan tinggi. Penelitian oleh Ryan *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa resiliensi merupakan salah satu unsur penting yang mendukung pembentukan identitas profesional mahasiswa. Identitas profesional terbentuk dari kemampuan individu menghadapi tantangan dan dari proses belajar nilai-nilai profesional selama pendidikan. Resiliensi berperan penting karena membantu mahasiswa mempertahankan sikap dan perilaku profesional meski menghadapi tekanan akademik.

Identitas profesional berkembang secara bertahap melalui pengalaman, interaksi sosial, dan kemampuan individu menghadapi tekanan di lingkungan pendidikan maupun praktik. Proses ini terjadi melalui refleksi terhadap pengalaman yang dialami mahasiswa. Dalam kerangka tersebut, resiliensi berperan sebagai sumber kekuatan psikologis yang

memungkinkan mahasiswa mengolah pengalaman belajar, termasuk pengalaman yang menantang, menjadi bagian dari proses perkembangan profesional. Resiliensi membantu mahasiswa memahami peran dan nilai profesi secara lebih mendalam, bukan hanya sebagai kewajiban akademik, tetapi sebagai bagian dari pembentukan jati diri profesional (Wald, 2015a).

Resiliensi berperan penting dalam pembentukan identitas profesional mahasiswa, terutama di lingkungan pendidikan yang memiliki tekanan akademik tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa resiliensi bertindak sebagai faktor pelindung, membantu mahasiswa mengatasi hambatan dalam perkembangan identitas profesional. Mahasiswa dengan tingkat resiliensi yang lebih tinggi menunjukkan keterlibatan yang lebih kuat terhadap peran profesional, rasa keterikatan terhadap profesi, serta pandangan yang lebih positif terhadap rencana karier di masa depan. Temuan ini menunjukkan bahwa resiliensi berperan dalam membantu mahasiswa menjaga perkembangan profesionalnya di tengah tuntutan akademik yang tinggi (Jafarianamiri *et al.*, 2022).

Resiliensi merupakan proses psikologis yang membantu mahasiswa merespons tekanan akademik dan tuntutan praktik secara adaptif. Dalam pendidikan profesi, mahasiswa sering menghadapi beban tugas yang tinggi, evaluasi akademik ketat, dan ketidakpastian selama pembelajaran. Kemampuan menjaga kestabilan emosional dan menjalankan peran akademik secara efektif penting agar mahasiswa tetap terlibat dalam kegiatan belajar dan praktik. Resiliensi membantu mahasiswa mengelola tekanan tersebut tanpa kehilangan motivasi dan arah dalam menjalankan peran profesional yang sedang dibentuk (Jafarianamiri *et al.*, 2022).

Mahasiswa dengan tingkat resiliensi yang tinggi cenderung lebih mampu menyesuaikan strategi belajar, mencari dukungan sosial ketika menghadapi kesulitan, serta menjaga keseimbangan antara tuntutan akademik dan kebutuhan pribadi. Sifat resiliensi cenderung mendorong mahasiswa melakukan langkah-langkah yang mendukung perkembangan diri dan identitas profesional. Dengan kemampuan ini, mahasiswa bisa terus maju dan berkembang meskipun menghadapi berbagai tantangan selama pendidikan (Ma *et al.*, 2025). Mahasiswa yang resilien mampu mengevaluasi pengalaman akademik atau praktik yang sulit, mengenali aspek yang dapat diperbaiki, serta menyusun strategi untuk meningkatkan hasil di masa mendatang. Proses ini mendukung terbentuknya pemahaman yang lebih matang terhadap peran profesional, karena mahasiswa belajar dari pengalaman nyata yang diperoleh selama masa pendidikan (Wald, 2015a).

Secara keseluruhan, penelitian menunjukkan bahwa resiliensi berperan penting dalam membentuk identitas profesional mahasiswa. Mahasiswa yang memiliki resiliensi lebih tinggi cenderung memiliki identitas profesional yang lebih kuat, lebih fleksibel, dan lebih siap menghadapi tekanan akademik maupun praktik. Selain itu, resiliensi juga memperkuat hubungan antara faktor psikologis lain dan perkembangan identitas profesional. Dengan demikian, resiliensi dapat dipandang sebagai faktor kunci yang membantu mahasiswa bertahan, menyesuaikan diri, dan berkembang secara berkelanjutan dalam proses pembentukan identitas profesional (Wu *et al.*, 2024; (Sang *et al.*, 2022).

Faktor Pendukung Resiliensi dan Pengembangan Identitas Profesional

Perkembangan identitas profesional pada mahasiswa dipengaruhi oleh banyak faktor pendukung yang saling berkesinambungan. Identitas profesional tidak terbentuk begitu saja pada diri mahasiswa melainkan dilatih secara terus menerus melalui pengalaman akademis, interaksi sosial, serta lingkungan pembelajaran yang nantinya akan mempengaruhi cara pandang dalam bertanggung jawab secara profesional di masa depan. Oleh sebab itu, faktor-faktor pendukung tersebut perlu ditanamkan dalam diri setiap mahasiswa sebagai proses pelatihan identitas mahasiswa secara optimal (Findyartini *et al.*, 2022).

Faktor pendukung pertama adalah kurikulum dan kegiatan pembelajaran yang mendorong mahasiswa untuk melakukan refleksi diri. Refleksi yang disertai bimbingan dari dosen berperan dalam membantu mahasiswa memahami dan menerapkan nilai integritas, membangun keyakinan terhadap kemampuan diri, serta mengembangkan perilaku profesional. Pentingnya untuk studi di masa mendatang untuk memperlihatkan bagaimana taktis kurikulum yang telah disusun menghasilkan mahasiswa dengan pribadi yang memiliki identitas profesionalisme. Selain itu, hal ini diperlukan juga sebagai penelitian lebih lanjut untuk memastikan bahwa kurikulum yang dirancang telah tepat dan sesuai dengan visi, misi dan tujuannya untuk mempersiapkan mahasiswa dalam melaksanakan praktek lapangan dan perkembangan karir mereka (Merlo *et al.*, 2021).

Faktor pembentukan yang lain dalam proses pembentukan profesional adalah pengalaman belajar yang melibatkan praktik langsung serta keterlibatan seorang mahasiswa dalam proses penanganan secara nyata. Pengalaman tersebut tidak hanya sebatas praktik kerja secara nyata di lapangan, namun meliputi beberapa hal seperti proyek kerja sama, kegiatan organisasi serta interaksi langsung dengan lingkungan kerja yang profesional. Keterlibatan aktif ini menyebabkan mahasiswa sudah mulai memahami secara lebih jelas tentang harapan, aturan, serta tanggung jawab profesional secara lebih nyata. Pengalaman yang berlangsung secara bertahap serta bermakna akan membuktikan bahwa mahasiswa mampu membangun sebuah rasa empati terhadap peran yang diambil dalam persiapan mahasiswa untuk proses penanganan di lapangan secara profesional (O'Doherty *et al.*, 2021).

Lingkungan pembelajaran serta perkembangan budaya yang ada dalam institusi juga berkontribusi mendukung faktor yang membangun identitas profesional. Lingkungan yang melibatkan semua orang, saling mendukung, serta menghargai keikutsertaan mahasiswa yang aktif sehingga mahasiswa merasa aman untuk melakukan pembelajaran, mencari informasi secara mendalam, dan mahasiswa menjadi individu yang lebih berkembang. Sebaliknya, lingkungan yang mendorong mahasiswa menjadi mementingkan diri sendiri (egois) dapat menurunkan kepercayaan mahasiswa terhadap pengetahuan dan kemampuan profesional mereka. Oleh karena itu, budaya belajar yang positif menjadi dasar penting dalam pembentukan identitas profesional mahasiswa (O'Doherty *et al.*, 2021).

Kontribusi dari role model seperti dosen, pembimbing, dan para pendidik juga menjadi faktor pendukung yang sangat penting dalam pembentukan identitas profesional pada mahasiswa. Mahasiswa tidak hanya belajar dari materi kuliah, tetapi juga dari sikap dan perilaku pendidik. Oleh karena itu, mahasiswa diharapkan memperhatikan cara pendidik bekerja selama proses pembelajaran. Para pendidik menunjukkan kejujuran, tanggung jawab,

dan sikap profesional yang dapat menjadi contoh nyata bagi mahasiswa dalam membentuk identitas profesional (Jayasuriya-Illesinghe *et al.*, 2016).

Pembelajaran yang interaktif dan kolaboratif juga dapat mendukung pembentukan identitas profesional selain peran pendidik. Pembelajaran berbasis kerja tim membantu mahasiswa beradaptasi di lingkungan akademik dan profesional. Selain itu, metode ini meningkatkan komunikasi antara pendidik dan mahasiswa sehingga proses belajar menjadi lebih efektif. Melalui keterkaitan ini, mahasiswa dapat mengetahui cara berkomunikasi secara efektif, bekerja sama, serta mengetahui posisi mereka dalam kelompok, dimana semuanya merupakan faktor penting dalam pembentukan identitas profesional (Jayasuriya-Illesinghe *et al.*, 2016)

Secara menyeluruh, pembentukan identitas profesional mahasiswa didukung oleh penyatuan berbagai faktor, mulai dari kurikulum reflektif, pembelajaran berbasis praktik, lingkungan belajar yang mendukung, hingga kontribusi dari dosen dan metode pembelajaran yang sesuai. Faktor-faktor pendukung ini membantu mahasiswa mengembangkan identitas profesional yang matang, sesuai dengan tuntutan profesi di masa depan.

Implikasi bagi Pendidikan dan Pengembangan Mahasiswa

Resiliensi dan identitas profesional berperan penting dalam membentuk pengalaman belajar mahasiswa di perguruan tinggi karena keduanya memengaruhi cara mahasiswa menghadapi tekanan akademik dan mempersiapkan diri menuju peran profesional di masa depan. Resiliensi dipahami sebagai kemampuan mahasiswa untuk beradaptasi dan tetap berfungsi secara positif ketika menghadapi tuntutan pendidikan tinggi, seperti beban tugas dan evaluasi akademik yang ketat, sehingga mendorong keterlibatan belajar yang lebih aktif dan berkelanjutan (Cassidy, 2016; Holdsworth *et al.*, 2018). Identitas profesional membantu mahasiswa memahami peran, nilai, dan tanggung jawab profesi yang sedang dipelajari, serta memperkuat komitmen terhadap tujuan karier mereka (Wald, 2015). Penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa dengan tingkat resiliensi yang lebih baik cenderung memiliki identitas profesional yang lebih kuat dan lebih mampu menghadapi stres akademik serta tekanan pembelajaran (Jafarianamiri *et al.*, 2022; Aryuwat *et al.*, 2024).

Lingkungan perguruan tinggi juga berperan dalam mendukung perkembangan resiliensi dan identitas profesional mahasiswa. Kebijakan institusi, gaya kepemimpinan, dan cara pembelajaran yang diterapkan memengaruhi kualitas pengalaman belajar mahasiswa. Pendekatan kepemimpinan berbasis pelayanan atau *servant leadership* menekankan empati, dukungan, dan pemberdayaan seluruh warga kampus, sehingga mampu menciptakan suasana akademik yang lebih kondusif dan kolaboratif (Eva *et al.*, 2019). Lingkungan belajar yang suportif membantu mahasiswa merasa aman, dihargai, dan terdorong untuk mengembangkan kemampuan akademik sekaligus sikap profesional secara bertahap (Jafarianamiri *et al.*, 2022).

Dukungan dari dosen dan teman sebaya juga penting untuk memperkuat resiliensi akademik mahasiswa. Hubungan yang positif dengan dosen membantu mahasiswa mengelola stres, meningkatkan kepercayaan diri, dan menjaga motivasi belajar di tengah tekanan akademik (Cassidy, 2016). Mahasiswa yang memperoleh dukungan sosial yang memadai cenderung lebih mampu bertahan menghadapi tekanan akademik dan memanfaatkan

pengalaman belajar sebagai bagian dari proses pembentukan identitas profesional (Yang & Gao, 2025).

Resiliensi dan identitas profesional juga memengaruhi kesiapan mahasiswa menghadapi dunia kerja. Peralihan dari pendidikan tinggi ke dunia profesional sering menuntut kemampuan adaptasi yang tinggi. Mahasiswa yang memiliki resiliensi yang baik serta pemahaman yang jelas mengenai peran profesionalnya cenderung lebih siap menghadapi tantangan kerja, mengelola stres, dan mempertahankan komitmen terhadap profesi yang dipilih (Wald, 2015; Yang & Gao, 2025). Oleh karena itu, penguatan resiliensi dan identitas profesional selama masa pendidikan tinggi menjadi bagian penting dalam pengembangan mahasiswa secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Resiliensi berperan penting dalam pengembangan identitas profesional mahasiswa. Identitas profesional terbentuk secara bertahap selama pendidikan melalui pengalaman belajar, interaksi sosial, dan refleksi diri. Resiliensi membantu mahasiswa menghadapi tekanan akademik, menyesuaikan diri dengan tuntutan pembelajaran, serta tetap mempertahankan motivasi dan komitmen terhadap profesi yang sedang dipelajari. Mahasiswa yang memiliki resiliensi yang baik cenderung lebih mampu memahami peran profesionalnya dan menunjukkan sikap yang lebih adaptif dalam menghadapi tantangan pendidikan.

Pengembangan resiliensi dan identitas profesional dipengaruhi oleh berbagai faktor pendukung, seperti lingkungan belajar yang mendukung, dukungan dari dosen dan teman sebaya, kurikulum yang mendorong refleksi, serta adanya teladan profesional. Namun, masih terbatas penelitian yang secara khusus membahas hubungan resiliensi dan identitas profesional pada mahasiswa, terutama dalam konteks pendidikan tinggi yang beragam. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengkaji lebih lanjut bagaimana peran institusi pendidikan dalam mendukung pengembangan resiliensi dan pembentukan identitas profesional mahasiswa secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdolrezaipoor, P., Ganjeh, S. J., & Ghanbari, N. (2023). Self-efficacy and resilience as predictors of students' academic motivation in online education. *PLoS ONE*, 18(5 May). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285984>
- Alkal, A. (2025). Relationships among resilience, career adaptability and career decision self-efficacy in university students: a two-wave longitudinal mediation study. *BMC Psychology*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s40359-025-03456-8>
- Aryuwat, P., Holmgren, J., Asp, M., Lövenmark, A., Radabutr, M., & Sandborgh, M. (2024). Factors Associated with Resilience among Thai Nursing Students in the Context of Clinical Education: A Cross-Sectional Study. *Education Sciences*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/educsci14010078>

- Cassidy, S. (2016). The Academic Resilience Scale (ARS-30): A new multidimensional construct measure. *Frontiers in Psychology*, 7(NOV). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01787>
- Erschens, R., Schröpel, C., Herrmann-Werner, A., Junne, F., Listunova, L., Heinzmann, A., Keis, O., Schüttzel-Brauns, K., Herpertz, S. C., Kunz, K., Zipfel, S., & Festl-Wietek, T. (2024). The mediating role of self-efficacy in the relationship between past professional training and burnout resilience in medical education: a multicentre cross-sectional study. *BMC Medical Education*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05854-9>
- Eva, N., Robin, M., Sendjaya, S., van Dierendonck, D., & Liden, R. C. (2019). Servant Leadership: A systematic review and call for future research. *Leadership Quarterly*, 30(1), 111–132. <https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2018.07.004>
- Faihs, V., Heininger, S., McLennan, S., Gartmeier, M., Berberat, P. O., & Wijnen-Meijer, M. (2023). Professional Identity and Motivation for Medical School in First-Year Medical Students: A Cross-sectional Study. *Medical Science Educator*, 33(2), 431–441. <https://doi.org/10.1007/s40670-023-01754-7>
- Findyartini, A., Greviana, N., Felaza, E., Faruqi, M., Zahratul Afifah, T., & Auliya Firdausy, M. (2022). Professional identity formation of medical students: A mixed-methods study in a hierarchical and collectivist culture. *BMC Medical Education*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03393-9>
- Holdsworth, S., Turner, M., & Scott-Young, C. M. (2018). ... Not drowning, waving. Resilience and university: a student perspective. *Studies in Higher Education*, 43(11), 1837–1853. <https://doi.org/10.1080/03075079.2017.1284193>
- Jafarianamiri, S., Qalehsari, M., & Zabihi, A. (2022). Investigating the professional identity and resilience in nursing students during the COVID-19 pandemic. *Journal of Education and Health Promotion*, 11(1), 151. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_388_21
- Jayasuriya-Illesinghe, V., Nazeer, I., Athauda, L., & Perera, J. (2016). Role Models and Teachers: Medical students perception of teaching-learning methods in clinical settings, a qualitative study from Sri Lanka. *BMC Medical Education*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-016-0576-6>
- Ma, L., Sun, X., Zhou, W., Lin, Z., Li, A., Kong, F., Xue, Y., Dong, Z., Wu, Y., & Cheng, M. (2025). Self-consistency and congruence, perceived social support, and psychological resilience as predictors of professional identity of male nursing students among consecutive secondary and higher vocational education. *Frontiers in Psychology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1588734>
- Nasiri, E., & Shokrpour, N. (2024). Identification of Factors Influencing Professional Identity Development in Medical Students at Basic Sciences Stage. *Journal of Advances in Medical Education and Professionalism*, 12(1), 45–50. <https://doi.org/10.30476/jamp.2023.99829.1856>
- Obeng, P., Srem-Sai, M., Arthur, F., Salifu, I., Amoadu, M., Agormedah, E. K., Hagan, J. E., & Schack, T. (2025). Students' academic resilience and well-being in Ghana: the

- mediating effects of grit and motivation. *Discover Education*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00537-z>
- Puspita, I., Nidiah, T. P., & Contreras, J. A. M. (2024). The Influence of Self Efficacy, Social Support and Coping Stress on Academic Resilience in Students of the Faculty of Teacher Training and Education, University of Jambi. *Educational Leadership and Management Journal*, 1(2), 36–56. <https://doi.org/10.22437/element.v2i1.36666>
- Ryan, A., Moran, C. N., Byrne, D., Hickey, A., Boland, F., Harkin, D. W., Guraya, S. S., Bensaaud, A., & Doyle, F. (2024). Do professionalism, leadership, and resilience combine for professional identity formation? Evidence from confirmatory factor analysis. *Frontiers in Medicine*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1385489>
- Sang, N., Zhu, Z. zhen, Wu, L., Shi, P. li, Wang, L. wei, Kan, H. yan, & Wu, G. cui. (2022). The mediating effect of psychological resilience on empathy and professional identity of Chinese nursing students: A structural equation model analysis. *Journal of Professional Nursing*, 43, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2022.09.002>
- Verlind-Brouwer, Y. C., Taks, N. J. L. M., Barnhoorn, P. C., & Sadrzadeh, S. (2025). Professional identity formation in public health residents: participation in the vast landscape of practice. *BMC Medical Education*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-025-08068-9>
- Wald, H. S. (2015). Professional identity (Trans)formation in medical education: Reflection, relationship, resilience. In *Academic Medicine* (Vol. 90, Issue 6, pp. 701–706). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000731>
- Wang, F., Huang, P., Xi, Y., & King, R. B. (2025). Fostering resilience among university students: the role of teaching and learning environments. *Higher Education*. <https://doi.org/10.1007/s10734-025-01484-2>
- Wu, X., Lu, Y., Zeng, Y., Han, H., Sun, X., Zhang, J., Wei, N., & Ye, Z. (2024). Personality portraits, resilience, and professional identity among nursing students: a cross-sectional study. *BMC Nursing*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12912-024-02007-7>
- Yang, W., & Gao, L. (2025). Identity as a psychological compass: the mediating role of resilience in international students' college adjustment amidst culture shock. *Frontiers in Psychology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1668553>
- Yuhuan, Z., Pengyue, Z., Dong, C., Qichao, N., Dong, P., Anqi, S., Hongbo, J., & Zhixin, D. (2022). The association between academic stress, social support, and self-regulatory fatigue among nursing students: a cross-sectional study based on a structural equation modelling approach. *BMC Medical Education*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03829-2>
- Zhang, L., Zhang, Q., Li, S., Li, Y., Wu, G., Chen, Y., & Zhou, Y. (2024). The Mediating Role of Psychological Resilience in Chinese Nursing Students' Professional Identity and Learning Burnout. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 54(4), 509–518. <https://doi.org/10.4040/jkan.24044>

Literature Review

Dari Dapur ke Terapi, Bawang Putih sebagai Antibakteri

Nasya Faradilla Yusuf¹, Agil Fitra Ramadhan¹, Dwi Citra Nur Fitriya¹, Abel Zeva Alberta¹, Adlan Fathoni Bahresy¹, Nurwinda Allysia Anggraini¹, Alfina Fatussunnah¹, Nayla Ayu Dian Marantica¹, Raihan Adji¹, Dwi Royandika Syaifullah¹, Gusti Putri Meiliana Rahman¹, Nenny Triastuti²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Farmakologi Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Rempah-rempah telah lama digunakan tidak hanya sebagai bahan penyedap makanan, tetapi juga sebagai obat tradisional yang memiliki potensi terapeutik. Salah satu rempah yang banyak diteliti adalah bawang putih (*Allium sativum*), yang mengandung berbagai senyawa bioaktif, terutama allicin, dengan sifat antimikroba dan farmakologis. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk mengkaji peran senyawa yang berasal dari bawang putih sebagai agen terapeutik, dengan fokus utama pada aktivitas antimikrobanya serta mekanisme fitokimia yang mendasarinya. Metode yang digunakan dalam tinjauan ini adalah penelusuran dan analisis artikel ilmiah dari jurnal bereputasi, buku teks, dan laporan resmi yang membahas sifat medis, kandungan fitokimia, serta efek antimikroba *Allium sativum*. Hasil kajian menunjukkan bahwa bawang putih memiliki aktivitas antimikroba spektrum luas terhadap bakteri dan jamur, yang terutama disebabkan oleh senyawa sulfur seperti allicin, ajoene, dan diallyl sulfide. Senyawa-senyawa tersebut bekerja melalui interaksi dengan gugus tiol protein, induksi stres oksidatif, dan penghambatan pertumbuhan mikroba. Kesimpulannya, bawang putih memiliki potensi besar sebagai agen terapeutik alami, khususnya dalam aplikasi antimikroba, meskipun penelitian klinis lebih lanjut masih diperlukan untuk memastikan efektivitas dan keamanannya.

Kata kunci : *Allium sativum*, bawang putih, allicin, aktivitas antimikroba, senyawa fitokimia

ABSTRACT

Spices have long been used not only as flavoring agents but also as traditional remedies with therapeutic potential. One widely studied spice is garlic (Allium sativum), which contains various bioactive compounds, particularly allicin, known for its antimicrobial and pharmacological properties. This literature review aims to examine the role of garlic-derived compounds as therapeutic agents, with a primary focus on their antimicrobial activity and underlying phytochemical mechanisms. The method used in this review involved collecting and analyzing scientific articles from peer-reviewed journals, textbooks, and official reports related to the medicinal properties, phytochemistry, and antimicrobial effects of Allium sativum. The reviewed literature indicates that garlic exhibits broad-spectrum antimicrobial activity against bacteria, fungi, and other pathogens, largely attributed to sulfur-containing compounds such as allicin, ajoene, and diallyl sulfides. These compounds act through mechanisms including protein thiol interaction, oxidative stress induction, and inhibition of microbial growth. In conclusion, garlic demonstrates significant potential as a natural therapeutic agent, particularly in antimicrobial applications, although further standardized clinical studies are required to confirm its efficacy and safety for widespread medical use.

Keywords : *Allium sativum*, garlic, allicin, antimicrobial activity, phytochemical compounds
Correspondence : faradillayusufnasya@gmail.com

PENDAHULUAN

Resistensi antibiotik merupakan salah satu permasalahan Kesehatan global yang semakin meningkat dan menjadi tantangan serius dalam pengendalian penyakit infeksi. Penggunaan antibiotik yang tidak rasional, baik pada manusia maupun hewan, telah mendorong munculnya bakteri patogen yang resisten terhadap berbagai golongan antibiotik, sehingga menurunkan efektivitas terapi dan meningkatkan angka morbiditas serta mortalitas. Kondisi ini mendorong perlunya pencarian alternatif terapi yang lebih aman, efektif, dan berkelanjutan, salah satunya pemanfaatan bahan alam sebagai agen antibakteri.

Bawang putih (*Allium sativum* L.) merupakan salah satu tanaman obat yang telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional di Indonesia dan berbagai peradaban dunia. Secara etnomedisin, umbi bawang putih dimanfaatkan untuk mengatasi berbagai gangguan Kesehatan, seperti infeksi saluran pernapasan, gangguan pencernaan, cacingan, hipertensi, serta sebagai antiseptik alami. Penggunaan bawang putih juga menunjukkan nilai historis dan budaya yang kuat dalam sistem pengobatan tradisional Nusantara. Pemanfaatan tradisional ini kemudian diperkuat oleh berbagai penelitian ilmiah yang membuktikan keamanan serta aktivitas farmakologis bawang putih.

Secara ilmiah, aktivitas antibakteri bawang putih dikaitkan dengan kandungan senyawa bioaktif, terutama allicin dan senyawa organosulfur lainnya, seperti ajoene, vinyl dithiols, dan diallyl polysulfides. Senyawa-senyawa tersebut diketahui memiliki mekanisme kerja dengan merusak integritas dinding dan membran sel bakteri, mengganggu metabolisme esensial, serta menghambat pembentukan biofilm dan mekanisme *quorum sensing* yang berperan dalam virulensi bakteri. Berbagai penelitian *in vitro* menunjukkan bahwa ekstrak bawang putih memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, termasuk *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus cereus*, dan *Vibrio cholerae*.

Beberapa studi melaporkan bahwa ekstrak etanol bawang putih mampu menghambat pertumbuhan bakteri penyebab diare, dengan aktivitas paling kuat terhadap *Vibrio cholerae*. Selain itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa ekstrak bawang putih tunggal mengandung metabolit sekunder seperti alkaloid, flavonoid, tanin, dan saponin, yang berkontribusi terhadap efek antibakterinya. Meskipun demikian, tingkat daya hambat yang dihasilkan masih berada pada kategori sedang dan dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas antibakteri bawang putih bersifat dosis-dependent dan masih memerlukan kajian lebih lanjut.

Di sisi lain, kajian literatur juga menunjukkan potensi bawang putih sebagai pengganti antibiotik sintetis, khususnya pada bidang peternakan unggas. Pemberian bawang putih dilaporkan mampu menekan pertumbuhan bakteri patogen usus, meningkatkan kesehatan saluran pencernaan, memperbaiki respon imun, serta tidak meninggalkan residu berbahaya

pada produk ternak. Temuan ini semakin memperkuat potensi bawang putih sebagai agen antibakteri alami yang aman dan ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa bawang putih memiliki potensi besar sebagai agen antibakteri alami dengan spektrum aktivitas yang luas. Namun, penelitian yang mengkaji efektivitas, mekanisme kerja, stabilitas senyawa aktif, serta aplikasinya secara klinis masih terbatas dan sebagian besar masih bersifat *in vitro*. Oleh karena itu, diperlukan kajian literatur yang komprehensif untuk menghimpun dan menganalisis berbagai hasil penelitian terkait aktivitas antibakteri bawang putih.

LITERATURE REVIEW

Literature review ini bertujuan untuk menelaah dan merangkum berbagai hasil penelitian mengenai aktivitas antibakteri bawang putih (*Allium sativum* L.), mekanisme kerja senyawa bioaktifnya, serta potensi pengembangannya sebagai alternatif atau terapi pendukung antibiotik, baik dalam bidang kesehatan manusia maupun hewan. Selain itu, tinjauan ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi keterbatasan penelitian yang ada dan peluang pengembangan bawang putih sebagai bahan alam yang terstandar dalam pelayanan kesehatan.

1. Bawang Putih (*Allium sativum* L.) sebagai Tanaman Obat

Bawang putih (*Allium sativum* L.) merupakan tanaman obat yang telah lama digunakan dalam sistem pengobatan tradisional di berbagai negara, termasuk Indonesia. Umbi bawang putih dimanfaatkan secara luas sebagai antiseptik, karminatif, ekspektoran, antelmintik, dan tonikum. Penggunaan tradisionalnya tercatat dalam berbagai literatur etnomedisin dan naskah kuno, seperti *Serat Centhini* dan *Kitab Tibb*, yang menyebutkan pemanfaatan bawang putih untuk mengatasi gangguan pencernaan, infeksi, penyakit pernapasan, serta sebagai obat cacing dan penambah stamina. Pemanfaatan empiris ini kemudian menjadi dasar pengembangan penelitian ilmiah terkait aktivitas farmakologis bawang putih.

Berbagai kajian modern menunjukkan bahwa bawang putih memiliki spektrum aktivitas biologis yang luas, termasuk sebagai antibakteri, antijamur, antivirus, antioksidan, dan imunomodulator. Aktivitas tersebut berkaitan erat dengan kandungan senyawa bioaktif di dalamnya, terutama senyawa organosulfur.

2. Kandungan Senyawa Bioaktif dan Mekanisme Antibakteri Bawang Putih

Senyawa aktif utama dalam bawang putih adalah allicin, yang terbentuk dari konversi alliin oleh enzim alliinase ketika jaringan bawang putih mengalami kerusakan. Selain allicin, bawang putih juga mengandung senyawa hidrofobik lain seperti ajoene, vinyl dithiols, dan diallyl polysulfides (DASn). Senyawa-senyawa ini diketahui berperan penting dalam aktivitas antimikroba bawang putih.

Allicin memiliki aktivitas antibakteri spektrum luas terhadap bakteri Gram-positif maupun Gram-negatif, termasuk bakteri yang telah menunjukkan resistensi terhadap antibiotik. Mekanisme kerja allicin melibatkan modifikasi gugus tiol pada protein bakteri, penurunan kadar glutathione, agregasi protein, serta inaktivasi enzim-enzim penting dalam metabolisme sel bakteri. Namun, allicin memiliki keterbatasan stabilitas karena mudah terdegradasi di dalam

darah, sehingga penggunaannya lebih potensial untuk aplikasi topikal atau sebagai terapi pendukung.

Ajoene dan diallyl polysulfides diketahui memiliki kemampuan menghambat pembentukan biofilm dan mekanisme *quorum sensing* bakteri. Inhibisi *quorum sensing* menyebabkan penurunan produksi faktor virulensi tanpa harus membunuh bakteri secara langsung, sehingga berpotensi menurunkan risiko terjadinya resistensi antibiotik. Aktivitas ini menjadikan bawang putih sebagai kandidat agen antibakteri alami yang menjanjikan dalam menghadapi infeksi kronis dan bakteri resisten.

3. Aktivitas Antibakteri Bawang Putih Berdasarkan Penelitian *In Vitro*

Berbagai penelitian *in vitro* menunjukkan bahwa ekstrak bawang putih memiliki aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap berbagai bakteri patogen. Uji difusi agar merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengevaluasi kemampuan antibakteri bawang putih melalui pengukuran diameter zona hambat.

Penelitian terhadap ekstrak etanol bawang putih menunjukkan adanya daya hambat terhadap bakteri penyebab diare, seperti *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli*, dan *Bacillus cereus*. Aktivitas antibakteri paling kuat dilaporkan terhadap *Vibrio cholerae*, dengan diameter zona hambat terbesar pada konsentrasi ekstrak tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas antibakteri bawang putih bersifat bergantung pada konsentrasi.

Studi lain melaporkan bahwa ekstrak bawang putih juga efektif menghambat pertumbuhan bakteri Gram-positif dan Gram-negatif seperti *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan *Klebsiella pneumoniae*. Perbedaan diameter zona hambat yang dihasilkan menunjukkan adanya variasi sensitivitas bakteri terhadap senyawa aktif bawang putih. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh struktur dinding sel bakteri, jenis senyawa aktif, serta metode ekstraksi yang digunakan.

4. Bawang Putih Tunggal dan Aktivitas Antibakterinya

Bawang putih tunggal (*Allium sativum* Linn) merupakan varietas bawang putih yang semakin banyak diteliti karena diduga memiliki kandungan senyawa aktif yang lebih tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa ekstrak etanol bawang putih tunggal mengandung metabolit sekunder berupa alkaloid, flavonoid, tanin, dan saponin, yang diketahui memiliki aktivitas antibakteri.

Uji aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* menunjukkan bahwa ekstrak etanol bawang putih tunggal hanya memberikan zona hambat pada konsentrasi tinggi (100%), sedangkan pada konsentrasi yang lebih rendah tidak menunjukkan aktivitas yang signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun bawang putih tunggal memiliki potensi antibakteri, efektivitasnya masih terbatas dan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak.

5. Potensi Bawang Putih sebagai Alternatif Antibiotik

Selain pada manusia, bawang putih juga diteliti sebagai alternatif pengganti antibiotik sintetis di bidang peternakan, khususnya pada unggas. Pemberian bawang putih dilaporkan mampu menurunkan jumlah bakteri patogen usus seperti *Escherichia coli* dan bakteri enterik lainnya, sekaligus meningkatkan keseimbangan mikrobiota usus yang menguntungkan.

Selain efek antibakteri, bawang putih juga berkontribusi dalam meningkatkan respon imun, memperbaiki struktur usus, serta menurunkan stres oksidatif. Keunggulan lain dari bawang putih adalah tidak meninggalkan residu berbahaya pada produk ternak, sehingga dinilai lebih aman dibandingkan antibiotik sintetis.

6. Keterbatasan Penelitian dan Arah Pengembangan

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan potensi antibakteri bawang putih yang menjanjikan, sebagian besar studi masih terbatas pada pengujian *in vitro*. Faktor seperti stabilitas senyawa aktif, dosis optimal, toksisitas, serta efektivitas *in vivo* masih memerlukan penelitian lanjutan. Selain itu, variasi metode ekstraksi dan konsentrasi ekstrak menyebabkan perbedaan hasil antarpencapaian.

Oleh karena itu, pengembangan bawang putih sebagai agen antibakteri memerlukan pendekatan yang lebih komprehensif, termasuk uji *in vivo*, pengembangan formulasi farmasi yang stabil, serta standarisasi bahan baku. Dengan demikian, bawang putih berpotensi dikembangkan sebagai terapi alternatif atau pendukung antibiotik dalam sistem pelayanan kesehatan modern.

7. Peran Obat dari Rempah-Rempah

Rempah-rempah secara umum dikenal memiliki peran penting dalam bidang kuliner, khususnya sebagai penambah cita rasa dan aroma makanan. Namun, selain fungsi gastronominya, berbagai jenis rempah juga telah lama dimanfaatkan dalam bidang pengobatan tradisional karena memiliki sifat terapeutik. Salah satu rempah yang paling banyak diteliti dan digunakan sebagai bahan obat alami adalah bawang putih.

Bawang putih dengan nama botani *Allium sativum* merupakan tanaman herbal yang mengandung senyawa aktif utama berupa allicin. Senyawa ini diketahui memiliki berbagai manfaat medis, antara lain sebagai antikolesterol, antijamur, antibakteri, penambah energi, serta memiliki efek termogenik. Dalam pengobatan tradisional, bawang putih juga digunakan untuk membantu meredakan batuk, asma, serta gangguan pernapasan lainnya. Berbagai penelitian farmakologis modern telah mendukung penggunaan bawang putih sebagai agen terapeutik dengan spektrum aktivitas biologis yang luas.

8. Sifat Antimikroba Bawang putih

Allium sativum termasuk dalam famili Alliaceae dan bagian tanaman yang paling sering dimanfaatkan adalah umbinya atau siung bawang putih. Secara tradisional, bawang putih digunakan sebagai antiseptik, stimulan, anthelmintik (obat cacing), diuretik, antiskorbutik, dan antiasmatik. Selain itu, bawang putih juga dimanfaatkan untuk meningkatkan daya tahan tubuh dan membantu mengatasi berbagai penyakit infeksi.

Penelitian terkini menunjukkan bahwa bawang putih tidak hanya bermanfaat dalam bidang kesehatan manusia, tetapi juga memiliki potensi sebagai agen penolak alami terhadap berbagai hama dan penyakit tanaman. Aktivitas ini terutama dikaitkan dengan keberadaan allicin, yaitu senyawa sulfur yang memberikan aroma khas dan menyengat pada bawang putih. Secara farmakologis, allicin diketahui memiliki efek antimikroba yang kuat, serta berperan

dalam membantu menurunkan tekanan darah dan mempertahankannya dalam kisaran normal melalui mekanisme vasodilatasi dan aktivitas antioksidan.

9. Fitokimia Bawang Putih

Umbi *Allium sativum* dilaporkan mengandung ratusan senyawa fitokimia, terutama senyawa yang mengandung sulfur. Senyawa-senyawa utama tersebut meliputi ajoene, tiosulfonat seperti allicin, serta berbagai sulfida, termasuk diallyl disulfide dan diallyl trisulfide. Selain itu, bawang putih juga mengandung alliin, yaitu sistein sulfoksida utama yang menjadi prekursor pembentukan allicin.

Alliin akan diubah menjadi allicin oleh enzim alliinase ketika jaringan bawang putih rusak, misalnya saat dipotong, dihancurkan, atau digiling. Pada proses ini, alliin dihidrolisis oleh alliinase menjadi amonium, piruvat, dan asam alil sulfenat. Selanjutnya, dua molekul asam alil sulfenat akan berikatan membentuk allicin. Senyawa utama penyebab aroma khas pada homogenat bawang putih segar antara lain adalah S-propyl-cysteine-sulfoxide (PCSO), allicin, dan S-methyl cysteine-sulfoxide (MCSO).

Efek farmakologis allicin (allyl thiosulfinate), yang merupakan tioester dari asam sulfenat, terutama berasal dari kemampuannya untuk berinteraksi dengan protein yang mengandung gugus tiol. Interaksi ini menyebabkan inaktivasi berbagai enzim penting dalam sel mikroba, sehingga menghambat pertumbuhan dan kelangsungan hidup bakteri. Selain itu, allicin juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang berkontribusi terhadap efek protektifnya terhadap sel.

Namun demikian, berbagai literatur menyebutkan bahwa allicin merupakan senyawa yang sangat reaktif dan tidak stabil. Allicin mudah terdegradasi pada suhu tinggi, kondisi pH ekstrem, serta dalam lingkungan biologis seperti darah, sehingga memiliki waktu paruh yang relatif singkat. Ketidakstabilan ini menjadi salah satu keterbatasan utama dalam pemanfaatan allicin sebagai agen terapeutik sistemik, dan mendorong pengembangan derivat allicin atau formulasi farmasi yang lebih stabil untuk meningkatkan efektivitas dan aplikasinya dalam bidang medis.

KESIMPULAN

Bawang putih memiliki potensi besar sebagai agen terapeutik alami, khususnya dalam aplikasi antimikroba, meskipun penelitian klinis lebih lanjut masih diperlukan untuk memastikan efektivitas dan keamanannya.

DAFTAR PUSTAKA

Abd El-Ghany, W. A. (2024). Potential effects of garlic (*Allium sativum* L.) on the performance, immunity, gut health, anti-oxidant status, blood parameters, and intestinal microbiota of poultry: An updated comprehensive review. *Animals*, 14(3), 498. <https://doi.org/10.3390/ani14030498>

- Abidullah, M., Jadhav, P., Sujana, S. S., et al. (2021). Potential antibacterial efficacy of garlic extract on *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Klebsiella pneumoniae*: An in vitro study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 13(Suppl 1), S590–S594. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_681_20
- Ainurrafiq, A., Risnah, R., & Azhar, M. U. (2019). Terapi non farmakologi dalam pengendalian tekanan darah pada pasien hipertensi: Systematic review. *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia*, 2(3), 192–199. <https://doi.org/10.56338/mppki.v2i3.806>
- Azizah, M., Sandri, R. W., & Sari, E. R. (2024). Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol bawang putih (*Allium sativum* L.) terhadap *Vibrio cholerae* ATCC 14033. *CoMPHI Journal*, 5(1), 1–8.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2016). *Bawang putih (Allium sativum L.)*. Direktorat Obat Asli Indonesia.
- Bhatwalkar, S. B., Mondal, R., Krishna, S. B. N., et al. (2021). Antibacterial properties of organosulfur compounds of garlic (*Allium sativum*). *Frontiers in Microbiology*, 12, 613077. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.613077>
- Bose, S., Bhattacharjee, A., Huynh, C., & Banerjee, D. (2022). Allicin-loaded hydroxyapatite: Enhanced release, cytocompatibility, and antibacterial properties for bone tissue engineering applications. *JOM*, 74(9), 3349–3356. <https://doi.org/10.1007/s11837-022-05366-1>
- Hardiati, A., Susilo, J., Satriani, M. A., & Soehartono, H. (2023). Aktivitas antibakteri ekstrak bawang putih (*Allium sativum* L.) terhadap *Klebsiella* sp. secara in vitro. *Jurnal Veteriner dan Biomedis*, 1(1), 1–4.
- Harjai, K., Kumar, R., & Singh, S. (2010). Garlic blocks quorum sensing and attenuates the virulence of *Pseudomonas aeruginosa*. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 58(2), 161–168. <https://doi.org/10.1111/j.1574-695X.2009.00614.x>
- Jayakumar, S., Subramanian, A., Sabarinathan, S., et al. (2025). Antibacterial efficacy and molecular docking analysis of *Zingiber officinale* and *Allium sativum* against *Fusobacterium nucleatum*: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(9), 875–880. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_416_25
- Khatri, P., Rani, A., Hameed, S., et al. (2023). Current understanding of the molecular basis of spices for the development of potential antimicrobial medicine. *Antibiotics*, 12(2), 270. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020270>
- Li, N., Zhang, J., Yu, F., et al. (2024). Garlic-derived quorum sensing inhibitors: A novel strategy against fungal resistance. *Drug Design, Development and Therapy*, 18, 6413–6426. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S503302>
- Nakamoto, M., Kunimura, K., Suzuki, J.-I., & Kodera, Y. (2020). Antimicrobial properties of hydrophobic compounds in garlic: Allicin, vinylidithiin, ajoene and diallyl polysulfides. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 19(2), 1550–1553. <https://doi.org/10.3892/etm.2019.8388>

- Pasaribu, O. Y., Simaremare, A. P., & Sibarani, J. P. (2020). Uji aktivitas antibakteri air perasan bawang putih terhadap *Salmonella typhi*. *Nommensen Journal of Medicine*, 6(1). <https://doi.org/10.36655/njm.v6i1.233>
- Putri, A. R., Sari, D. P., & Handayani, L. (2025). Uji aktivitas antibakteri ekstrak fermentasi bawang putih tunggal (*Allium sativum* L.) terhadap *Staphylococcus aureus* dan MRSA. *Herbal Medicine Journal*, 8(1), 1–8.
- Rajab, M. N., Edy, H. J., & Siampa, J. P. (2021). Formulation of garlic ethanol extract ointment (*Allium sativum* L.) as antibacterial. *Pharmacon*, 10(3), 1009. <https://doi.org/10.35799/pha.10.2021.35604>
- Sarfica, D., Munira, Zakiah, N., & Mulyani, N. S. (2021). Aktivitas antibakteri kombinasi ekstrak bawang putih, jahe, dan kunyit terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Ilmiah Farmasi Simplisia*, 1(2), 68–73. <https://doi.org/10.30867/jifs.v1i2.76>
- Sarangi, A., Das, B. S., Sahoo, A., et al. (2024). Deciphering the antibiofilm, antibacterial, and antioxidant potential of essential oil from Indian garlic against foodborne pathogens. *Current Microbiology*, 81(8), 245. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03753-2>
- Sheikh, M., Khan, H. M., Khan, M. U. Z., & Sharif, A. (2024). Formulation, evaluation and optimization of antimicrobial potential of herbal cream containing *Allium sativum*. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 25(3), 365–383. <https://doi.org/10.2174/1389201024666230504124838>
- Swangsri, T., Reamtong, O., Saralamba, S., et al. (2024). Exploring the antimicrobial potential of crude peptide extracts from *Allium sativum* against antibiotic-resistant bacteria. *Pharmaceutical Biology*, 62(1), 666–675. <https://doi.org/10.1080/13880209.2024.2395517>
- Torres, K. A. M., Lima, S. M. R. R., Torres, L. M. B., et al. (2021). Garlic: An alternative treatment for Group B *Streptococcus*. *Microbiology Spectrum*, 9(3), e0017021. <https://doi.org/10.1128/Spectrum.00170-21>

Literature Review

Peran Digital Health Literacy Dalam Pengendalian Penyakit Tidak Menular Di Indonesia

Fanny Ayu Rahmawan¹, Izza Khafidlotul Husna¹, Farrel Hafiz Fahlevi¹, Maulida Syifaaur Rahmah¹, Abidah Ramiza Alya¹, Domenica Esa Cecilia M.¹, Amelia Mardiyana¹, Reyvan Rafirzha Gibran¹, Afifah Nabila Ramadhani¹, Nur Syahul Yusuf¹, Annisa Nurida²

1) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

2) Departemen Ilmu Pendidikan Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surabaya

ABSTRAK

Penyakit Tidak Menular (PTM) seperti hipertensi dan diabetes melitus masih menjadi penyebab utama beban kesehatan di Indonesia, khususnya di wilayah perkotaan. Pengendalian PTM memerlukan pendekatan yang tidak hanya bersifat kuratif, tetapi juga menekankan pencegahan, deteksi dini, dan perubahan perilaku kesehatan. Literature review ini bertujuan untuk mengkaji peran literasi kesehatan digital (digital health literacy) dalam mendukung pengendalian PTM melalui integrasi program berbasis komunitas dan teknologi kesehatan digital. Metode yang digunakan adalah penelaahan literatur dari berbagai studi nasional dan internasional yang membahas Pos Pembinaan Terpadu (POSBINDU), intervensi kesehatan digital, serta literasi kesehatan pada pengendalian hipertensi dan diabetes. Hasil kajian menunjukkan bahwa program berbasis komunitas efektif meningkatkan pengetahuan dan cakupan skrining PTM, sementara pemanfaatan teknologi digital seperti aplikasi kesehatan, media sosial, dan telemedicine mampu memperluas jangkauan layanan dan meningkatkan partisipasi masyarakat. Namun, peningkatan pengetahuan belum secara konsisten diikuti oleh perubahan perilaku jangka panjang, terutama pada kelompok dengan literasi kesehatan digital yang rendah. Oleh karena itu, pengendalian PTM yang efektif memerlukan pendekatan komprehensif yang mengintegrasikan pemberdayaan komunitas, peningkatan literasi kesehatan digital, dukungan sistem kesehatan, dan kebijakan yang inklusif.

Kata kunci : Penyakit Tidak Menular, Literasi Kesehatan Digital, POSBINDU, Hipertensi Dan Diabetes Melitus, Kesehatan Berbasis Komunitas

ABSTRACT

Non-communicable diseases (NCDs), such as hypertension and diabetes mellitus, remain a major health burden in Indonesia, particularly in urban areas. Controlling NCDs requires an approach that is not solely curative but also emphasizes prevention, early detection, and health behavior change. This literature review aims to examine the role of digital health literacy in supporting NCD control through the integration of community-based programs and digital health technology. The method used is a literature review of various national and international studies discussing Integrated Guidance Posts (POSBINDU), digital health interventions, and health literacy in hypertension and diabetes control. The study results indicate that community-based programs effectively increase knowledge and NCD screening coverage, while the use of

digital technologies such as health apps, social media, and telemedicine can expand service reach and increase community participation. However, increased knowledge has not been consistently followed by long-term behavior change, especially in groups with low digital health literacy. Therefore, effective NCD control requires a comprehensive approach that integrates community empowerment, increased digital health literacy, health system support, and inclusive policies.

Keywords: *Non-Communicable Diseases, Digital Health Literacy, POSBINDU, Hypertension and Diabetes Mellitus, Community-Based Health.*

Correspondence : reyvanareka@gmail.com

PENDAHULUAN

Penyakit Tidak Menular (PTM), khususnya hipertensi dan diabetes melitus, merupakan penyebab utama beban penyakit di wilayah perkotaan dan berkontribusi signifikan terhadap peningkatan morbiditas jangka panjang serta komplikasi kronis (Wang et al., 2024). Prevalensi PTM yang tinggi di kawasan urban berkaitan erat dengan perubahan gaya hidup masyarakat, termasuk rendahnya aktivitas fisik, pola konsumsi tidak sehat, dan meningkatnya faktor risiko metabolik (Wang et al., 2024). Studi populasi menunjukkan bahwa hipertensi dan diabetes di wilayah perkotaan sering kali tidak terdeteksi secara dini, sehingga meningkatkan risiko progresivitas penyakit dan beban sistem kesehatan (Wade et al., 2025). Kondisi ini menegaskan bahwa pengendalian PTM di wilayah perkotaan memerlukan strategi pencegahan dan deteksi dini yang sistematis serta berbasis populasi, bukan semata-mata pendekatan kuratif (Wang et al., 2024).

Sebagai upaya menekan beban PTM, pendekatan berbasis pemberdayaan masyarakat melalui Pos Pembinaan Terpadu (Posbindu) PTM dan keterlibatan kader kesehatan telah diterapkan secara luas di Indonesia dan negara berkembang lainnya (Mashuri et al., 2024). Studi menunjukkan bahwa program berbasis komunitas mampu meningkatkan pengetahuan masyarakat serta memperluas cakupan skrining hipertensi dan diabetes dibandingkan kelompok yang tidak terlibat dalam kegiatan komunitas (Mashuri et al., 2024). Namun, evaluasi implementasi Posbindu di wilayah perkotaan mengungkapkan bahwa peningkatan pengetahuan belum secara konsisten diikuti oleh perubahan perilaku kesehatan jangka panjang (Lim et al., 2021). Hambatan seperti keterbatasan waktu, rendahnya partisipasi kelompok usia produktif, serta lemahnya kesinambungan tindak lanjut pasca-skrining menjadi tantangan utama efektivitas Posbindu dan peran kader kesehatan di lingkungan urban (Salwa et al., 2024).

Perkembangan teknologi kesehatan digital memberikan peluang strategis untuk memperkuat peran komunitas dan kader dalam pengendalian PTM di wilayah perkotaan (del Pilar Arias López et al., 2023). Pemanfaatan aplikasi pemantauan kesehatan, sistem pencatatan digital, dan kampanye media sosial berpotensi meningkatkan akses masyarakat terhadap informasi kesehatan serta mendukung pemantauan mandiri hipertensi dan diabetes (del Pilar Arias López et al., 2023). Namun, efektivitas intervensi berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh tingkat literasi kesehatan digital (digital health literacy), yaitu kemampuan individu dalam mengakses, memahami, dan mengevaluasi informasi kesehatan digital secara kritis (Nguyen et al., 2023). Literatur menunjukkan bahwa integrasi pemberdayaan komunitas, penguatan

kapasitas kader kesehatan, dan peningkatan literasi kesehatan digital berpotensi meningkatkan kesinambungan deteksi dini dan pengendalian PTM di wilayah perkotaan (SUNI-SEA Study Group, 2024).

Berdasarkan temuan-temuan tersebut, pengendalian Penyakit Tidak Menular (PTM) di wilayah perkotaan memerlukan pendekatan terpadu yang mengkombinasikan pemberdayaan komunitas dengan penguatan literasi kesehatan digital. Meskipun program berbasis komunitas seperti Posbindu PTM dan peran kader kesehatan terbukti efektif dalam meningkatkan cakupan skrining hipertensi dan diabetes, berbagai studi menunjukkan bahwa pendekatan ini masih menghadapi tantangan keberlanjutan, khususnya dalam mendorong perubahan perilaku kesehatan jangka panjang di masyarakat urban (SUNI-SEA Study Group, 2024). Integrasi teknologi kesehatan digital, seperti aplikasi pemantauan dan media sosial, berpotensi menjembatani keterbatasan akses dan waktu di wilayah perkotaan, namun keberhasilannya sangat bergantung pada tingkat literasi kesehatan digital masyarakat (Nguyen et al., 2023). Oleh karena itu, penguatan sinergi antara komunitas, kader kesehatan, dan teknologi digital menjadi strategi kunci dalam meningkatkan efektivitas promosi kesehatan dan deteksi dini PTM, khususnya hipertensi dan diabetes, di wilayah perkotaan (del Pilar Arias López et al., 2023).

LITERATURE REVIEW

Berbagai jurnal yang dikaji menunjukkan bahwa Penyakit Tidak Menular (PTM) masih menjadi masalah besar dalam kesehatan masyarakat, baik di tingkat global maupun nasional. Penyakit seperti hipertensi, diabetes, dan penyakit kardiovaskular terus meningkat jumlahnya dan memberikan dampak yang luas, bukan hanya pada kondisi kesehatan individu, tetapi juga pada beban ekonomi dan sistem pelayanan kesehatan. Meskipun layanan medis dan pengobatan semakin berkembang, pengendalian PTM belum berjalan optimal karena masih banyak faktor non-klinis yang memengaruhinya.

Salah satu faktor penting yang sering dibahas dalam berbagai penelitian adalah literasi kesehatan. Literasi kesehatan tidak hanya berkaitan dengan kemampuan seseorang membaca atau memahami informasi medis, tetapi juga mencakup kemampuan untuk mencari, memahami, dan menggunakan informasi kesehatan dalam kehidupan sehari-hari. Banyak studi menemukan bahwa tingkat literasi kesehatan yang rendah berhubungan dengan keterbatasan akses terhadap layanan kesehatan, rendahnya kepatuhan pengobatan, serta kesulitan dalam mengelola penyakit kronis seperti PTM.

Berbagai jurnal juga menunjukkan bahwa tingkat literasi kesehatan tidak merata di masyarakat. Perbedaan latar belakang pendidikan, kondisi sosial ekonomi, budaya, serta sistem pelayanan kesehatan memengaruhi bagaimana seseorang memahami dan menggunakan informasi kesehatan. Di layanan kesehatan primer, khususnya pada pasien PTM, masih banyak individu yang mengalami kesulitan dalam memahami informasi kesehatan dan berkomunikasi secara efektif dengan tenaga kesehatan. Kondisi ini dapat berdampak pada penggunaan layanan kesehatan yang kurang optimal dan meningkatnya risiko komplikasi penyakit.

Selain itu, literatur menekankan bahwa masalah literasi kesehatan tidak seharusnya hanya dibebankan pada individu. Pendekatan yang hanya menyoroti kekurangan individu cenderung kurang efektif. Oleh karena itu, banyak penelitian mendorong pendekatan yang lebih menyeluruh, dengan melihat literasi kesehatan sebagai tanggung jawab bersama antara individu, komunitas, sistem pelayanan kesehatan, dan pembuat kebijakan. Penguatan literasi kesehatan perlu dimasukkan ke dalam kebijakan dan strategi kesehatan masyarakat, khususnya dalam upaya pengendalian PTM.

Pendekatan berbasis komunitas menjadi salah satu solusi yang banyak direkomendasikan. Keterlibatan masyarakat, penggunaan solusi yang sesuai dengan kondisi lokal, serta kolaborasi antara tenaga kesehatan dan masyarakat dalam promosi kesehatan dinilai mampu meningkatkan pemahaman dan kesadaran kesehatan. Dengan mengintegrasikan promosi kesehatan dan pencegahan PTM di layanan kesehatan primer, diharapkan upaya pengendalian PTM dapat berjalan lebih efektif dan berkelanjutan.

Tabel 1. Literature Review

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
(Burg & Opitz, 2021)	Kuasi-eksperimental Indonesia: propensity score matching Vietnam: difference-in-differences (dua gelombang data)	Kuasi-eksperimental Indonesia: propensity score matching Vietnam: difference-in-differences (dua gelombang data)	Program pencegahan dan manajemen diabetes & hipertensi berbasis komunitas POSBINDU (Indonesia) Intergenerational Self-Help Clubs / ISHC (Vietnam)	Program berbasis komunitas (POSBINDU di Indonesia dan ISHC di vietnam) terbukti meningkatkan cakupan skrining hipertensi di Indonesia meningkat sekitar 13% dan diabetes meningkat sangat signifikan sekitar 93%.
(Fritz, Grimm, Thi, et al., 2024)	Narrative review terhadap kebijakan, regulasi, dan implementasi komunikasi digital di bidang medis	Tidak menggunakan subjek manusia langsung (berbasis kebijakan, regulasi, dan sistem kesehatan)	Digitalisasi layanan kesehatan, terutama: Telemedicine (konsultasi video) Aplikasi kesehatan digital (DiGA)	Telemedicine terbukti meningkatkan akses layanan kesehatan, efisiensi waktu dan sumber daya, dan kontinuitas perawatan, terutama pada pasien kronis.
(Mashuri et al., 2024)	Studi observasional potong lintang (cross-sectional) menggunakan kuesioner KAP	Masyarakat usia ≥ 15 tahun yang mengakses dan tidak mengakses POSBINDU dengan	Akses terhadap POSBINDU sebagai paparan utama	ditemukan bahwa individu yang mengakses POSBINDU memiliki peluang lebih tinggi untuk

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
	(Knowledge, Attitude, Practice)	1.988 responden (1.115 mengakses POSBINDU; 873 tidak mengakses)		memiliki pengetahuan yang lebih baik (aOR: 1,4; IK95%: 1,2–1,8).Namun, akses ke POSBINDU berhubungan dengan sikap yang lebih rendah (aOR: 0,6; IK95%: 0,5–0,7) dan tidak menunjukkan hubungan dengan praktik terkait hipertensi.
(Widyaningsih et al., 2022)	Studi mixed-methods: analisis kuantitatif potong lintang dari data sekunder POSBINDU dan studi kualitatif (FGD & wawancara mendalam)	Peserta POSBINDU, kader POSBINDU, petugas Puskesmas, dan pejabat Dinas Kesehatan dengan jumlah peserta secara Kuantitatif: 54.224 peserta (114.581 kunjungan) \nKualitatif: 223 informan (21 FGD, 2 wawancara mendalam)	Implementasi program POSBINDU (skrining tekanan darah, faktor risiko PTM, antropometri, kolesterol, edukasi kesehatan)	Dari 114.581 kunjungan POSBINDU oleh 54.224 peserta, mayoritas adalah perempuan dan usia di atas 50 tahun. Sebagian besar pengunjung menjalani pengukuran tekanan darah, namun pemeriksaan faktor risiko PTM, antropometri, dan kolesterol masih rendah. Keterbatasan waktu dan sumber daya menjadi hambatan utama skrining hipertensi di Indonesia.
(Wang et al., 2024)	Systematic review dan meta-analisis terhadap 28 randomized controlled trials (RCTs) dengan total 5.643 partisipan	Anak dan remaja usia 3–18 tahun, termasuk anak sehat, overweight/obesitas, serta dengan kondisi khusus (kanker dan penyakit jantung bawaan)	Berbasis aplikasi mobile health (mHealth), baik aplikasi tunggal maupun dikombinasikan dengan edukasi, konseling, aktivitas fisik terstruktur, dan/atau perangkat	Health terbukti meningkatkan aktivitas fisik total, menurunkan perilaku sedentari, serta meningkatkan kekuatan otot dan kelincahan. Efek kecil namun signifikan ditemukan pada

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
			wearable	penurunan BMI, namun tidak signifikan terhadap MVPA, kebugaran kardiorespirasi, lingkaran pinggang, dan fleksibilitas
(Wade et al., 2025)	Studi systematic literature review mengikuti pedoman PRISMA. Pencarian literatur pada database MEDLINE, EMBASE, Cochrane CENTRAL, Web of Science, serta registri uji klinis. Penilaian risiko bias menggunakan QUADAS-2 dan sintesis data dilakukan secara naratif.	Individu usia 50–79 tahun tanpa kecurigaan klinis kanker. Total 36 studi (1 RCT ongoing, 13 studi kohort, 17 studi kasus-kontrol, dan studi ongoing lainnya). Lebih dari 8.000 artikel disaring.	Penggunaan tes darah Multi-Cancer Early Detection (MCED) sebagai alat skrining kanker pada populasi umum, yang mendeteksi sinyal kanker dari biomarker darah (seperti cfDNA, ctDNA, circulating tumor cells, profil asam amino, dan sinyal biofisik) dengan bantuan algoritma analisis dan machine learning.	Ditemukan bahwa seluruh tes MCED memiliki spesifisitas tinggi (>96%), namun sensitivitas bervariasi tergantung jenis tes dan desain studi. Sensitivitas lebih rendah pada kanker stadium awal (I–II) dibandingkan stadium lanjut (III–IV). Belum ditemukan bukti kuat bahwa penggunaan MCED menurunkan mortalitas atau meningkatkan kualitas hidup.
(Septiono et al., 2025)	Mixed methods (survei kuantitatif + wawancara kualitatif)	Komunitas lansia di Vietnam	Penerapan skrining digital untuk hipertensi dan diabetes	Skrining digital meningkatkan deteksi dini, namun terkendala literasi digital, akses internet, dan penerimaan masyarakat. Dukungan komunitas dan kebijakan memperkuat keberhasilan.
(Nong et al., 2024)	Pendekatan biomedis/epidemiologi molekuler (laboratorium + analisis data klinis)	Populasi pasien (detail sesuai artikel)	Analisis faktor genetik/molekuler yang memengaruhi kerentanan penyakit	Menunjukkan hubungan faktor biologis/genetik dengan risiko penyakit kronis. Memberikan dasar ilmiah untuk

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
				intervensi yang lebih personal dan berbasis bukti.
(Xiong et al., 2023)	Penelitian kuasi-eksperimental dengan desain pre-test dan post-test selama 9 bulan.	2880 masyarakat berpenghasilan rendah (B40) dan 45 relawan kesehatan masyarakat di Kuala Lumpur.	Intervensi berbasis komunitas yang dikombinasikan dengan teknologi digital melalui edukasi kesehatan dan pelatihan relawan.	Intervensi digital berbasis komunitas berpotensi meningkatkan pengetahuan, sikap, dan praktik pencegahan penyakit tidak menular serta memberdayakan komunitas.
(Kataria et al., 2020)	Scoping review terhadap 52 studi terkait intervensi kesehatan digital.	Pasien penyakit tidak menular dan tenaga kesehatan primer di negara berpenghasilan rendah dan menengah.	Intervensi kesehatan digital seperti SMS, aplikasi smartphone, telemedicine, dan sistem pendukung keputusan klinis.	Intervensi kesehatan digital efektif dalam meningkatkan perubahan perilaku dan implementasi layanan kesehatan, meskipun hasil klinis bervariasi.
(Staccini & Lau, 2022)	Pencarian sistematis artikel di PubMed. Melakukan analisis bibliometrik pada 126 artikel potensial dan memilih 4 makalah representatif.	Populasi rentan, termasuk minoritas ras, penyandang disabilitas (tuli), pasien penyakit kronis (diabetes, asma, kanker), lansia, dan mahasiswa.	Penggunaan solusi kesehatan digital seperti aplikasi seluler dan intervensi media sosial interaktif.	Inklusi digital memerlukan akses yang tepat, keterampilan digital, serta aspek kegunaan (usability). Literasi kesehatan digital sangat penting untuk menjamin ekuitas akses informasi bagi kelompok rentan.
(Torbjørnsen et al., 2024)	Studi kohort observasional prospektif metode campuran (multimethod). Menggunakan data rekam medis elektronik, kuesioner, observasi klinis,	Pasien dengan Diabetes Tipe 1 di klinik rawat jalan spesialis (220 pasien) dan tenaga kesehatan diabetes.	Implementasi digital Patient-Reported Outcome Measures (PROMs) dalam perawatan rutin klinis.	Hasil awal menunjukkan tingkat penerimaan yang tinggi (84,6% pengguna setuju berpartisipasi). Studi ini diharapkan memberikan wawasan tentang efektivitas dan akseptabilitas alat

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
	dan wawancara mendalam.			digital dalam mendukung manajemen mandiri pasien diabetes.
(Fritz, Grimm, Weber, et al., 2024)	Randomized Controlled Trial (RCT) berbasis media sosial menggunakan Facebook Ads dengan desain A/B split test, dilengkapi analisis efektivitas dan cost-effectiveness.	Pengguna Facebook di Indonesia usia ≥ 35 tahun di Jakarta dan Yogyakarta; 286.776 individu terpapar iklan, 1.469 peserta menyelesaikan skrining diabetes mandiri.	Kampanye promosi kesehatan digital melalui iklan Facebook dengan berbagai framing pesan (konsekuensi, shock, keluarga, agama, dan geografis) yang mengarahkan peserta ke skrining mandiri risiko diabetes berbasis web.	Iklan dengan framing konsekuensi dan shock paling efektif meningkatkan partisipasi skrining. Kampanye digital terbukti menjangkau populasi berisiko tinggi dengan biaya rendah dan berpotensi cost-effective dalam deteksi dini diabetes.
(Lim et al., 2021)	Randomized clinical trial (open-label) multinasional selama 12 bulan dengan analisis intention-to-treat.	20.834 pasien diabetes melitus tipe 2 dari fasilitas layanan kesehatan primer dan rumah sakit di wilayah Asia-Pasifik.	Program perawatan diabetes terintegrasi berbasis teknologi (JADE) meliputi asesmen terstruktur, laporan otomatis personalisasi, dan tindak lanjut oleh perawat.	Intervensi meningkatkan pencapaian target faktor risiko kardiometabolik (HbA1c, tekanan darah, LDL), terutama di negara berpendapatan rendah–menengah, meskipun tidak menurunkan kejadian klinis utama secara signifikan.
(Steinman et al., 2020)	Studi ini menggunakan mixed methods process evaluation yang dipandu oleh kerangka RE-AIM (Reach, Effectiveness, Adoption, Implementation, Maintenance).	3.948 peserta yang hidup dengan diabetes dan/atau hipertensi, 75 peer educators (PEs) terlatih oleh organisasi MoPoTsyo di Kamboja.	Pesan suara mHealth yang ditargetkan dan disesuaikan untuk manajemen NCD, eHealth tablets yang digunakan oleh peer educators untuk memfasilitasi hubungan antara komunitas dan layanan klinis.	Digital health meningkatkan jangkauan dan interaksi program, tetapi tidak secara otomatis meningkatkan hasil klinis tanpa memperbaiki hambatan struktural lain seperti akses layanan dan dukungan sistem kesehatan yang

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
				kuat.
(Huda et al., 2025)	Population: Dewasa India usia ≥ 30 tahun dengan hipertensi dan/atau diabetes. Intervention: Intervensi <i>mobile health (mHealth)</i> berbasis teknologi (termasuk aplikasi mobile, SMS/text, telemedicine). Comparator: Pengobatan atau perawatan standar (<i>usual care</i>). Outcomes: Kontrol tekanan darah (<i>blood pressure</i>), kontrol glikemik (<i>HbA1c</i> dan FBG), kepatuhan pengobatan, dan kepuasan pasien. Study Design: Tidak dibatasi, namun semua studi yang diikuti adalah randomized controlled trials (RCTs).	Total peserta dari studi-studi yang dianalisis adalah 12.337 orang dewasa India dengan diagnosis hipertensi dan/atau diabetes.	1. Kontrol Glikemik Beberapa studi menunjukkan penurunan signifikan HbA1c di kelompok intervensi mHealth dibandingkan kontrol. 2. Fasting Blood Glucose (FBG) Intervensi mHealth dikaitkan dengan penurunan FBG yang bermakna, seperti kasus yang dilaporkan di mana FBG turun dari $\sim 163,7$ mg/dL menjadi $\sim 152,8$ mg/dL setelah 12 bulan SMS edukatif. 3. Kontrol Tekanan Darah Studi-studi yang menggunakan pesan digital dan CDSS menunjukkan penurunan signifikan tekanan darah sistolik (SBP) dan diastolik (DBP) pada kelompok intervensi dibandingkan kontrol.	Intervensi berbasis digital (mHealth) dalam konteks pengendalian hipertensi dan diabetes di India secara umum menunjukkan: Efektivitas dalam meningkatkan kontrol tekanan darah dan glikemik, Peningkatan kepatuhan pengobatan dan keterlibatan pasien, Penerimaan baik oleh peserta,
(Huda et al., 2025)	Systematic review dan meta-analisis terhadap 28 penelitian terkait intervensi <i>mobile health</i>.	Anak-anak dan remaja dari berbagai negara yang terlibat dalam penelitian terkontrol.	Penggunaan aplikasi <i>mobile health</i> untuk meningkatkan aktivitas fisik dan mendukung perubahan	Intervensi mHealth efektif meningkatkan aktivitas fisik dan menurunkan indeks massa tubuh, meskipun hasil

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
			perilaku sehat.	pada beberapa parameter kesehatan masih bervariasi.
(Intarakamhan g et al., 2024)	Penelitian kuantitatif dengan desain kuasi-eksperimental longitudinal untuk menilai efektivitas program pencegahan penyakit tidak menular berbasis komunitas.	Sebanyak 3.379 responden dewasa dari Indonesia dan Vietnam yang mengikuti program kesehatan komunitas.	Intervensi kesehatan berbasis komunitas berupa edukasi kesehatan, skrining tekanan darah dan gula darah, serta penguatan peran kader kesehatan masyarakat.	Intervensi terbukti meningkatkan pengetahuan kesehatan dan cakupan skrining penyakit tidak menular, namun perubahan perilaku dan indikator metabolik masih terbatas.
(Osborne et al., 2022)	Studi kebijakan dan tinjauan literatur (literature review) yang mengkaji kerangka kerja dan peran health literacy dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tidak menular (PTM). Kajian ini menyajikan panduan konseptual dan bukti dari berbagai sumber untuk mendukung pengembangan literasi kesehatan sebagai tindakan kesehatan masyarakat.	Bukan sampel pasien atau kelompok eksperimen; melainkan publikasi ilmiah, laporan, dan dokumen kesehatan masyarakat yang dievaluasi untuk membangun kerangka health literacy dalam konteks PTM global.	Tidak terdapat intervensi klinis langsung; fokus pada penguatan literasi kesehatan melalui keterlibatan komunitas, dukungan kebijakan nasional dan lokal, serta pendekatan berbasis masyarakat dan co-design dalam promosi kesehatan.	Literasi kesehatan merupakan kunci strategis dalam pencegahan dan pengendalian PTM serta perlu diintegrasikan ke dalam kebijakan, hukum, dan strategi kesehatan masyarakat. Pendekatan yang efektif menekankan keterlibatan komunitas, solusi berbasis konteks lokal, dan integrasi promosi kesehatan dengan pencegahan PTM, sementara pendekatan defisit yang hanya menyoroti kekurangan individu perlu dihindari.
(Salwa et al., 2024)	Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif observasional	Pencari layanan kesehatan PTM di fasilitas kesehatan primer Bangladesh; penelitian berskala nasional yang	Tidak ada intervensi yang diterapkan; studi ini mengukur dan menganalisis	Terdapat variasi tingkat literasi kesehatan pada pencari layanan PTM, yang berhubungan

Refrensi	Metode	Subjek/Sampel	Intervensi	Hasil Temuan
	(kemungkinan survei atau cross-sectional) untuk menilai tingkat literasi kesehatan di antara layanan kesehatan dasar (primary health care) pasien dengan penyakit tidak menular di Bangladesh.	mencakup berbagai pusat layanan primer, dengan jumlah sampel dan kriteria spesifik tidak dijelaskan dalam abstrak PubMed.	tingkat literasi kesehatan peserta sehubungan dengan perilaku pencarian layanan PTM	dengan akses, pemahaman informasi kesehatan, dan pemanfaatan layanan kesehatan. Temuan ini menegaskan pentingnya peningkatan literasi kesehatan sebagai bagian dari penguatan layanan kesehatan primer bagi pasien PTM.

Berbagai penelitian terkini memberikan pelajaran penting: program kesehatan yang langsung menyentuh masyarakat, seperti Pos Pembinaan Terpadu (POSBINDU) di desa-desa atau klub gotong royong di Vietnam, ketika dipadukan dengan sentuhan teknologi—misalnya lewat aplikasi ponsel, iklan di media sosial, atau konsultasi dokter jarak jauh (telemedicine)—ternyata sangat berhasil menjangkau lebih banyak orang. Kombinasi ini terbukti bisa mendorong masyarakat untuk datang memeriksa tekanan darah dan gula darah mereka, bahkan dalam beberapa kasus jumlah orang yang memeriksakan diabetes bisa melonjak hampir dua kali lipat. Selain itu, pengetahuan warga tentang cara hidup sehat dan bahaya penyakit seperti hipertensi juga semakin baik berkat program-program tersebut. Akan tetapi, di balik kesuksesan itu ada tantangan yang cukup besar. Ternyata, sekadar tahu dan sadar akan risiko penyakit tidak lantas membuat orang langsung mengubah kebiasaan buruknya. Banyak orang yang sudah paham bahaya garam dan gula berlebih, misalnya, tetapi masih sulit untuk konsisten mengurangi konsumsinya sehari-hari. Hasil pemeriksaan kesehatan seperti angka tekanan darah atau kadar gula darah pun, meski sempat membaik, seringkali sulit dipertahankan stabil dalam jangka panjang. Ini menunjukkan ada jurang pemisah antara pengetahuan di pikiran dengan tindakan nyata dalam kehidupan sehari-hari. Di sisi lain, teknologi digital yang terkesan canggih bukanlah obat ajaib yang bisa menyelesaikan semua masalah dengan sendirinya. Keberhasilan sebuah aplikasi kesehatan sangat bergantung pada dukungan sistem di belakangnya. Jika setelah mengetahui hasil pemeriksaan berisiko tinggi dari aplikasi, seseorang tidak bisa mendapatkan obat yang terjangkau di puskesmas atau dirujuk ke dokter dengan mudah, maka teknologi itu menjadi kurang bermakna. Selain itu, ada masalah kesenjangan akses: tidak semua orang, terutama lansia atau mereka yang tinggal di daerah terpencil, mampu menggunakan ponsel pintar atau memahami informasi digital. Jika tidak diantisipasi, justru teknologi bisa memperlebar ketimpangan antara yang melek digital dan yang tidak. Oleh karena itu, jalan ke depan untuk mengendalikan penyakit tidak menular seperti diabetes dan hipertensi memerlukan pendekatan yang menyeluruh dan saling melengkapi. Kunci utamanya adalah penggabungan yang serasi antara:

1. Kedekatan dan kepercayaan yang dibangun oleh program komunitas dan kader kesehatan.
2. Jangkauan dan efisiensi dari teknologi digital untuk menyebarkan informasi dan memudahkan pemantauan.
3. Dukungan sistem kesehatan yang kuat, seperti ketersediaan obat, tenaga medis, dan prosedur rujukan yang lancar.
4. Kebijakan pemerintah yang memastikan semua lapisan masyarakat, termasuk kelompok rentan, bisa ikut merasakan manfaat kemajuan ini.

Oleh karena itu, yang kita butuhkan adalah sebuah model pelayanan kesehatan yang memadukan kekuatan gotong royong warga, praktisan teknologi, dan dukungan penuh dari fasilitas kesehatan dan pemerintah. Tujuannya adalah agar upaya deteksi dini dan penyuluhan yang sudah berjalan baik dapat benar-benar diteruskan menjadi tindakan pencegahan dan pengobatan yang berkelanjutan hingga pada akhirnya kualitas hidup masyarakat.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi program kesehatan memanfaatkan teknologi digital terbukti efektif dalam meningkatkan pengetahuan masyarakat terhadap penyakit tidak menular seperti hipertensi dan diabetes. Pendekatan ini mampu mendorong partisipasi masyarakat dalam pemeriksaan kesehatan serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya pola hidup sehat. Namun demikian, peningkatan pengetahuan belum sepenuhnya diikuti oleh perubahan perilaku yang konsisten, sehingga perbaikan kondisi kesehatan sering kali sulit dipertahankan dalam jangka panjang. Selain itu, teknologi digital bukanlah solusi tunggal. Keberhasilannya sangat bergantung pada dukungan sistem kesehatan yang memadai, termasuk akses terhadap layanan medis, obat-obatan, serta mekanisme rujukan yang mudah dan terjangkau. Kesenjangan literasi dan akses digital juga menjadi tantangan tersendiri, terutama bagi kelompok rentan seperti lansia dan masyarakat di daerah terpencil, yang berpotensi memperlebar ketimpangan layanan kesehatan. Oleh karena itu, pengendalian penyakit tidak menular memerlukan pendekatan komprehensif yang menggabungkan kekuatan program komunitas, pemanfaatan teknologi digital, dukungan sistem kesehatan yang kuat, serta kebijakan pemerintah yang inklusif. Model pelayanan kesehatan yang terpadu dan berkelanjutan inilah yang diharapkan mampu menjembatani kesenjangan antara pengetahuan dan tindakan nyata, sehingga upaya deteksi dini dapat berlanjut menjadi pencegahan dan pengobatan yang efektif demi peningkatan kualitas hidup masyarakat.

REFERENCES

- Burg, F., & Opitz, G. (2021). *Digital Communication in Visceral Medicine : Regulatory Framework for Digital Communication*. 458–464. <https://doi.org/10.1159/000519359>
- del Pilar Arias López, M., Ong, B. A., Frigola, X. B., Fernández, A. L., Hicklent, R. S., Obeles, A. J. T., Rocimo, A. M., & Celi, L. A. (2023). Digital literacy as a new determinant of health: A scoping review. *PLOS Digital Health*, 2(10), e0000279. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PDIG.0000279>

- Fritz, M., Grimm, M., Thi, H., Hanh, M., Koot, J. A. R., Nguyen, G. H., Nguyen, T.-P.-L., Probandari, A., Widyaningsih, V., & Lensink, R. (2024). *Effectiveness of community-based diabetes and hypertension prevention and management programmes in Indonesia and Viet Nam : a quasi- - experimental study*. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2024-015053>
- Fritz, M., Grimm, M., Weber, I., Yom-Tov, E., & Praditya, B. (2024). Can social media encourage diabetes self-screenings? A randomized controlled trial with Indonesian Facebook users. *NPJ Digital Medicine*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/S41746-024-01246-X>
- Huda, R. K., Chowhan, R. S., & Seervi, D. (2025). Effectiveness of mobile health technology-enabled interventions to improve management and control of hypertension and diabetes in India- a systematic review. *Preventive Medicine Reports*, 54, 103094. <https://doi.org/10.1016/J.PMEDR.2025.103094>
- Intarakamhang, U., Sriprasertpap, K., Chiangkhong, A., Srisawasdi, N., Wongchan, S., & Boocho, P. (2024). Effects of Digital Health Literacy Program on Sufficient Health Behavior Among Thai Working-Age People With Risk Factors for Noncommunicable Diseases. *HLRP: Health Literacy Research and Practice*, 8(2), e93. <https://doi.org/10.3928/24748307-20240520-01>
- Kataria, I., Ngongo, C., Lim, S. C., Kocher, E., Kowal, P., Chandran, A., Kual, A., Khaw, F. M., & Mustapha, F. I. (2020). Development and evaluation of a digital, community-based intervention to reduce noncommunicable disease risk in a low-resource urban setting in Malaysia: a research protocol. *Implementation Science Communications*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/S43058-020-00080-Y>
- Lim, L. L., Lau, E. S. H., Fu, A. W. C., Ray, S., Hung, Y. J., Tan, A. T. B., Chamnan, P., Sheu, W. H. H., Chawla, M. S., Chia, Y. C., Chuang, L. M., Nguyen, D. C., Sosale, A., Saboo, B. D., Phadke, U., Kesavadev, J., Goh, S. Y., Gera, N., Huyen Vu, T. T., ... Chan, J. C. N. (2021). Effects of a Technology-Assisted Integrated Diabetes Care Program on Cardiometabolic Risk Factors Among Patients With Type 2 Diabetes in the Asia-Pacific Region: The JADE Program Randomized Clinical Trial. *JAMA Network Open*, 4(4). <https://doi.org/10.1001/JAMANETWORKOPEN.2021.7557>
- Mashuri, Y. A., Widyaningsih, V., Premanawasti, A., Koot, J., Pardoel, Z., Landsman-dijkstra, J., Postma, M., & Probandari, A. (2024). *Differences in knowledge , attitude , and practice regarding hypertension by access to a community-based screening program (POSBINDU) : A cross-sectional study from four districts in Indonesia*. 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303503>
- Nguyen, V., Xue, P., Li, Y., Zhao, H., & Lu, T. (2023). Controlling circuitry underlies the growth optimization of *Saccharomyces cerevisiae*. *Metabolic Engineering*, 80, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2023.09.013>
- Nong, T. T. T., Nguyen, G. H., Lepe, A., Tran, T. B., Nguyen, L. T. P., & Koot, J. A. R. (2024). Challenges and Opportunities in Digital Screening for Hypertension and Diabetes Among Community Groups of Older Adults in Vietnam: Mixed Methods Study. *Journal*

- of Medical Internet Research*, 26(1). <https://doi.org/10.2196/54127>
- Osborne, R. H., Elmer, S., Hawkins, M., Cheng, C. C., Batterham, R. W., Dias, S., Good, S., Monteiro, M. G., Mikkelsen, B., Nadarajah, R. G., & Fones, G. (2022). Health literacy development is central to the prevention and control of non-communicable diseases. *BMJ Global Health*, 7(12). <https://doi.org/10.1136/BMJGH-2022-010362>
- Salwa, M., Islam, S., Tasnim, A., Al Mamun, M. A., Bhuiyan, M. R., Choudhury, S. R., Amin, M. R., & Haque, M. A. (2024). Health Literacy Among Non-Communicable Disease Service Seekers: A Nationwide Finding from Primary Health Care Settings of Bangladesh. *Health Literacy Research and Practice*, 8(1), e12–e20. <https://doi.org/10.3928/24748307-20240119-01>
- Septiono, W., Siagian, F. P., Lazuardi, L., Handayani, S., & Prasetyo, S. (2025). Lessons of practices of community-based maternal and child health surveillance system during and post COVID-19 in Indonesia. *Global Health Action*, 18(1). <https://doi.org/10.1080/16549716.2025.2547438>
- Staccini, P., & Lau, A. Y. S. (2022). Consuming Health Information and Vulnerable Populations: Factors of Engagement and Ongoing Usage. *Yearbook of Medical Informatics*, 31(1), 173–180. <https://doi.org/10.1055/S-0042-1742549>
- Steinman, L., van Pelt, M., Hen, H., Chhorvann, C., Lan, C. S., Te, V., LoGerfo, J., & Fitzpatrick, A. L. (2020). Can mHealth and eHealth improve management of diabetes and hypertension in a hard-to-reach population? —lessons learned from a process evaluation of digital health to support a peer educator model in Cambodia using the RE-AIM framework. *MHealth*, 6. <https://doi.org/10.21037/mhealth-19-249>
- Torbjørnsen, A., Spildo, I., Mollestad, M. A., Jensen, A. L., Singstad, T., Weldingh, N. M., Joranger, P., Ribu, L., & Holmen, H. (2024). Investigating Digital Patient-Reported Outcome Measures in Patient-Centered Diabetes Specialist Outpatient Care (DigiDiaS): Protocol for a Multimethod Prospective Observational Study. *JMIR Research Protocols*, 13(1). <https://doi.org/10.2196/52766>
- Wade, R., Nevitt, S., Liu, Y., Harden, M., Khouja, C., Raine, G., Churchill, R., & Dias, S. (2025). Multi-cancer early detection tests for general population screening: A systematic literature review. *Health Technology Assessment*, 29(2). <https://doi.org/10.3310/DLMT1294>
- Wang, J. W., Zhu, Z., Shuling, Z., Fan, J., Jin, Y., Gao, Z. Le, Chen, W. Di, & Li, X. (2024). Effectiveness of mHealth App–Based Interventions for Increasing Physical Activity and Improving Physical Fitness in Children and Adolescents: Systematic Review and Meta-Analysis. *JMIR MHealth and UHealth*, 12, e51478. <https://doi.org/10.2196/51478>
- Widyaningsih, V., Febrinasari, R. P., Pamungkasari, E. P., Mashuri, Y. A., Sumardiyono, S., Balgis, B., & Koot, J. (2022). *Missed opportunities in hypertension risk factors screening in Indonesia : a mixed- - methods evaluation of integrated health post (POSBINDU) implementation*. 1–11. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-051315>
- Xiong, S., Lu, H., Peoples, N., Duman, E. K., Najjarro, A., Ni, Z., Gong, E., Yin, R., Ostbye,

T., Palileo-Villanueva, L. M., Doma, R., Kafle, S., Tian, M., & Yan, L. L. (2023). Digital health interventions for non-communicable disease management in primary health care in low-and middle-income countries. *NPJ Digital Medicine*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/S41746-023-00764-4>

Case Report

Progresi *Weight Faltering* Menjadi *Severely Underweight* akibat Pola Makan Maladaptif: *Case Report*

Aty Firsianti¹, Gina Noor Djalilah¹, Yusian Eri Fitria¹, Mufidah Hariani¹, Salsabila Rayhani², Farida Kholifah², Adristy Anneira Vanka Meisya², Nabilah Isyraq Syahirah², Zetty Fortune Ananta Mulia²

1) Department of Child Health, Faculty of Medicine Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

2) Medical Student Department of Child Health, Faculty of Medicine Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Latar belakang: *Weight faltering* pada anak usia dini dapat berkembang perlahan sehingga sulit dikenali sejak awal. Kondisi ini tidak selalu disebabkan oleh penyakit organik, tetapi dapat mencerminkan ketidakseimbangan antara kebutuhan dan asupan nutrisi, terutama pada periode MPASI. **Presentasi kasus:** Seorang anak perempuan usia 2 tahun 30 hari dibawa ibunya dengan keluhan berat badan tidak naik bermakna sejak usia 7 bulan. Pasien mendapat ASI eksklusif selama 6 bulan dan mulai MPASI pada usia 6 bulan. Sejak itu, pasien memiliki nafsu makan rendah, sulit makan, dan hanya mampu mengonsumsi 3 sendok kecil @5gram/sendok setiap kali makan. Pada usia 7 bulan, ibu mulai menyadari berat badan anak tidak naik, namun belum ada pemantauan khusus hingga sekitar usia 1 tahun. Sehari-hari pasien dititipkan kepada nenek karena ibu bekerja sebagai guru. MPASI disiapkan oleh ibu sebelum bekerja dan sering berupa sayur serta buah, sedangkan protein hewani dan nabati jarang diberikan. Setelah usia 1 tahun, asupan pasien lebih banyak konsumsi susu UHT dan susu formula. Pasien juga sering mengonsumsi makanan ringan dan teh. Susu tinggi kalori tidak dapat dikonsumsi optimal karena pasien tidak menyukai rasanya, sedangkan vitamin kapsul tabur dilaporkan menurunkan nafsu makan. Saat evaluasi, berat badan pasien 8,5 kg dan tinggi badan 78 cm. Interpretasi kurva WHO menunjukkan *underweight*, *stunted*, dan BB/TB dalam kategori gizi baik. Tidak ditemukan riwayat prenatal, perinatal, perkembangan, penyakit dahulu, maupun keluarga yang menjelaskan gangguan pertumbuhan. **Kesimpulan:** Kasus ini menunjukkan *weight faltering* kronis sejak periode MPASI, kemungkinan besar akibat asupan tidak adekuat dan pola makan maladaptif. Pemantauan antropometri dini, penyingkiran penyebab organik, dan intervensi makan berbasis *caregiver* penting untuk mendukung *catch-up growth*.

Kata kunci: *weight faltering*, *underweight*, *stunting*, MPASI, pola makan maladaptif.

ABSTRACT

Background: *Weight faltering* in early childhood may develop gradually and be difficult to recognize early. It is not always caused by organic disease, but may reflect an imbalance between nutritional needs and intake, especially during the complementary feeding period. **Case presentation:** A 2-year-30-day-old girl was brought by her mother because of no significant weight gain since 7 months of age. She was exclusively breastfed for 6 months and started complementary feeding at 6 months. Since then, she had poor appetite, was difficult to feed, and consumed only 3 small spoonfuls @5 grams/spoon per meal. At 7 months, her mother noticed poor weight gain, but no specific growth monitoring was provided until around 1 year

of age. The child was cared for daily by her grandmother while her mother worked as a teacher. Complementary foods were usually prepared by the mother before work and often consisted of vegetables and fruits, while animal and plant protein were rarely given. After 1 year of age, her intake became by UHT milk and formula. She also frequently consumed snack foods and tea. High-calorie milk was poorly accepted, and vitamin sprinkle supplementation reportedly reduced her appetite. At presentation, her weight was 8.5 kg and height was 78 cm. WHO growth chart interpretation showed underweight, stunted, and normal weight-for-height. No significant prenatal, perinatal, developmental, past medical, or family history directly explained the growth problem. **Conclusion:** This case illustrates chronic weight faltering beginning during complementary feeding, most likely related to prolonged inadequate intake and maladaptive feeding patterns. Early anthropometric monitoring, exclusion of organic causes, and caregiver-based feeding intervention are essential to support catch-up growth. **Keywords:** weight faltering, underweight, stunting, complementary feeding, maladaptive feeding pattern.

Correspondence : rayhani.salsa08@gmail.com

PENDAHULUAN

Weight faltering pada anak merupakan kondisi ketika penambahan berat badan tidak berlangsung sesuai lintasan pertumbuhan yang diharapkan, sehingga dalam perjalanan klinisnya dapat berkembang menjadi *underweight* hingga *severely underweight* (Cooke et al., 2023; Laan et al., 2023). Kondisi ini bukan sekadar variasi pertumbuhan, melainkan dapat mencerminkan gangguan keseimbangan antara kebutuhan dan asupan energi, baik akibat penyakit organik maupun faktor perilaku dan psikososial. Pada anak, penurunan asupan yang berlangsung perlahan sering kali tidak segera dikenali (Fonseca et al., 2024), karena perubahan terjadi bertahap dan dapat tersamar oleh anggapan bahwa anak sedang mengalami fase pilih-pilih makanan atau penurunan nafsu makan sementara (Ibrahim & London, 2024). Akibatnya, keterlambatan identifikasi dapat berujung pada malnutrisi yang bermakna secara klinis, dengan dampak terhadap pertumbuhan linear, perkembangan, fungsi fisik, dan kesehatan secara umum.

Berbeda dengan remaja yang lebih sering menunjukkan gejala gangguan makan dengan motif citra tubuh yang lebih jelas, presentasi pada anak dapat lebih atipikal. Penolakan makan, restriksi jenis makanan, pola makan yang makin sempit, perilaku menghindar saat waktu makan, atau ketakutan terhadap tekstur dan jenis makanan tertentu dapat mendahului penurunan berat badan yang nyata (Bering & Dibaise, 2026; Katsikari & Varela, 2026). Pada kelompok usia ini, *maladaptive eating pattern* tidak selalu disertai keluhan verbal mengenai berat badan atau bentuk tubuh, sehingga perlu kewaspadaan klinis yang lebih tinggi (Campuzano-donosio et al., 2026). Dalam praktik, progresi dari *weight faltering* menuju kondisi *severely underweight* sering kali berlangsung melalui perubahan perilaku makan sehari-hari yang tampak ringan, namun menetap dan makin membatasi kecukupan nutrisi.

Berbagai faktor dapat berkontribusi terhadap terbentuknya pola makan maladaptif pada anak. Faktor individual seperti temperamen, rigiditas perilaku, kecemasan, sensitivitas sensorik, atau pengalaman tidak menyenangkan saat makan dapat berperan dalam mempertahankan restriksi asupan (Cimino et al., 2025). Di sisi lain, faktor keluarga dan

lingkungan, termasuk dinamika saat makan, respons caregiver terhadap penolakan makan, serta perubahan rutinitas harian, dapat memperkuat pola makan yang tidak adaptif (Harris et al., 2020). Seiring waktu, penurunan variasi dan jumlah asupan bukan hanya menyebabkan defisit energi, tetapi juga dapat menggeser relasi anak terhadap makanan dari sekadar preferensi menjadi pola restriktif yang menetap (Dakin et al., 2025). Ketika kondisi ini tidak dikenali secara dini, anak berisiko masuk ke fase malnutrisi yang lebih berat dengan kompromi medis yang memerlukan tata laksana intensif.

Dari sudut pandang klinis, *severe underweight* pada anak menimbulkan perhatian khusus karena cadangan energi yang terbatas membuat mereka lebih rentan mengalami perburukan fisik dalam waktu relatif singkat. Penurunan berat badan yang berlanjut dapat disertai kelemahan, intoleransi aktivitas, gangguan konsentrasi, gangguan tidur, perubahan mood, dan perlambatan pertumbuhan (Shaikh et al., 2024). Selain itu, status gizi yang memburuk dapat mempersulit penilaian diagnostik, karena gejala fisik dan perilaku sering saling tumpang tindih dengan gangguan makan, gangguan kecemasan, gangguan saluran cerna, maupun kondisi medis lain yang mendasari (Kumar, 2023). Oleh karena itu, pendekatan diagnostik pada anak dengan *weight faltering* progresif perlu mempertimbangkan spektrum diagnosis banding secara cermat, sambil tetap menempatkan perilaku makan maladaptif sebagai salah satu kemungkinan mekanisme utama.

Meskipun literatur telah banyak membahas malnutrisi anak dan gangguan makan pada usia perkembangan, laporan yang secara khusus menggambarkan progresi *weight faltering* menjadi *severely underweight* akibat pola makan maladaptif dalam bentuk laporan kasus masih terbatas. Padahal, deskripsi rinci mengenai perjalanan gejala, tanda bahaya klinis, pertimbangan diagnosis banding, serta implikasi tata laksana sangat penting untuk meningkatkan kewaspadaan tenaga kesehatan dan *caregiver*. Laporan kasus semacam ini juga bernilai dalam menyoroti bahwa gangguan berat badan pada anak tidak selalu muncul secara akut, melainkan dapat berkembang perlahan dari perubahan perilaku makan yang semula tampak tidak mencolok. Dengan demikian laporan kasus ini bertujuan mendeskripsikan progresi *weight faltering* menjadi *severely underweight* pada seorang anak dengan pola makan maladaptif, menelaah fitur klinis yang muncul selama perjalanan penyakit, mempertimbangkan diagnosis banding yang relevan, serta membahas implikasi tata laksana dan pentingnya deteksi dini. Dengan menguraikan perjalanan kasus secara sistematis, tulisan ini diharapkan dapat memberi kontribusi terhadap pemahaman klinis mengenai hubungan antara perilaku makan maladaptif dan perburukan status gizi pada anak.

STUDI KASUS

An. F adalah seorang anak perempuan usia 2 tahun 30 hari yang dibawa oleh ibunya dengan keluhan utama berat badan tidak mengalami kenaikan sejak usia 7 bulan. Menurut ibu, pasien rutin dipantau di posyandu setiap bulan, namun penambahan berat badan tidak menunjukkan peningkatan yang bermakna. Pada saat evaluasi, pasien sedang mengalami pilek. Ringkasan karakteristik dasar pasien dan data antropometri saat ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik dasar pasien dan data antropometri

Variabel	Temuan
Inisial pasien	An. F
Jenis kelamin	Perempuan
Tanggal lahir	23 Maret 2024
Usia saat evaluasi	2 tahun 30 hari
Keluhan utama	Berat badan tidak naik sejak usia 7 bulan
Kondisi saat evaluasi	Sedang pilek
Berat badan lahir	3045 gram
Panjang badan lahir	50 cm
Lingkar kepala lahir	32 cm
Riwayat kelahiran	Cukup bulan, sectio caesarea, lahir langsung menangis
Berat badan saat ini	8,5 kg
Tinggi badan saat ini	78 cm
Imunisasi	Lengkap
Perkembangan	Sesuai usia
Riwayat penyakit dahulu	Tidak ada
Riwayat penyakit keluarga	Tidak ada

Riwayat Penyakit Sekarang

Ibu pasien melaporkan bahwa gangguan pertumbuhan berat badan telah berlangsung kronis sejak usia 7 bulan. Pasien mendapat ASI eksklusif selama 6 bulan dan mulai memperoleh makanan pendamping ASI atau MPASI pada usia 6 bulan. Sejak awal fase MPASI, pasien menunjukkan nafsu makan yang rendah, cenderung sulit makan, dan hanya mampu menghabiskan sekitar 3 sendok kecil @5gram/sendok setiap kali makan. Pada usia 7 bulan, ibu mulai menyadari bahwa berat badan pasien tidak mengalami kenaikan yang bermakna. Namun, pada periode tersebut pasien belum mendapatkan pemantauan khusus dari kader maupun tenaga kesehatan terkait perlambatan kenaikan berat badan hingga sekitar usia 1 tahun. Sehari-hari pasien dititipkan kepada nenek karena ibu bekerja sebagai guru. MPASI biasanya disiapkan oleh ibu sebelum berangkat bekerja. Makanan yang diberikan relatif sering berupa sayur dan buah, sedangkan protein hewani dan protein nabati jarang diberikan. Selama periode MPASI, pasien juga mendapat susu formula SGM hingga usia 1 tahun. Setelah usia 1 tahun, pola asupan pasien lebih banyak mengonsumsi susu, terutama susu UHT 5 kotak/hari @115 ml/kotak dan susu formula SGM anak usia di atas 1 tahun 240 ml/hari. Pada usia yang sama, pasien mulai sering mengonsumsi makanan ringan seperti ciki dan juga teh. Ibu menyatakan bahwa pasien lebih sering minum susu daripada makan makanan utama. Pada usia 1 tahun, pasien sempat diberikan susu tinggi kalori oleh dokter puskesmas. Namun, susu tersebut hanya dapat diminum sedikit karena pasien tidak menyukai rasanya. Ibu kemudian mencoba memberikan susu UHT, yang lebih dapat diterima oleh pasien. Selain itu, pada makanan sehari-hari juga pernah dicoba pemberian vitamin berupa kapsul tabur, tetapi setelah pemberian tersebut nafsu makan pasien justru semakin menurun sehingga berat badan tetap tidak menunjukkan kenaikan yang bermakna. Pada usia 2 tahun, pasien dirujuk oleh puskesmas ke dokter Spesialis Anak. Setelah itu, pasien mendapatkan pemantauan ekstra serta pemberian susu tinggi kalori sebagai upaya mengejar target berat badan yang tertinggal.

Tabel 2. Riwayat nutrisi dan pola makan pasien

Aspek	Temuan
ASI	ASI eksklusif sampai usia 6 bulan
MPASI	Mulai usia 6 bulan
Respons awal terhadap MPASI	Nafsu makan kurang, sulit makan
Porsi makan	Setiap makan 3 sendok kecil @5gram/sendok
Pengasuhan harian	Anak sehari-hari dititipkan kepada nenek
Persiapan MPASI	MPASI dibuatkan oleh ibu sebelum berangkat bekerja
Pekerjaan ibu	Guru
Susu formula saat MPASI	SGM, diberikan sampai usia 1 tahun
Pola minum setelah usia 1 tahun	Susu UHT 5 kotak/hari @115 ml/kotak dan susu SGM 240 ml/hari
Susu tinggi kalori	Diberikan oleh dokter puskesmas pada usia 1 tahun, tetapi diminum sedikit karena anak tidak suka
Vitamin/kapsul tabur	Pernah dicoba pada makanan, tetapi nafsu makan anak menurun
Asupan makanan utama	Kurang adekuat
Protein hewani/nabati	Jarang diberikan/belum tercukupi
Makanan yang sering diberikan	Sayur dan buah
Konsumsi ciki	Sejak usia 1 tahun
Konsumsi teh	Sejak usia 1 tahun

Riwayat Tumbuh Kembang

Berat badan lahir pasien adalah 3045 gram, dengan panjang badan lahir 50 cm dan lingkaran kepala lahir 32 cm, dengan kesan lahir cukup bulan. Meskipun riwayat prenatal dan perinatal tidak menunjukkan masalah bermakna, ibu melaporkan bahwa sejak usia 7 bulan berat badan pasien tidak mengalami kenaikan signifikan hingga saat ini. Data berat badan pasien 6,73 kg usia 8 bulan, 7,11 kg pada usia 9 bulan, kemudian menurun menjadi 6,9 kg pada usia 10 bulan. Pada usia 14 bulan berat badan pasien 7,38 kg, kemudian 7,25 kg pada usia 15 bulan, dan 7,70 kg pada usia 16 bulan. Setelah itu, berat badan pasien cenderung stagnan di kisaran 7,5–8,1 kg hingga usia 24 bulan. Pada usia 25 bulan, berat badan pasien mencapai 8,5 kg.

Dari sisi tinggi badan, panjang badan lahir pasien adalah 50 cm. Pada usia 6 bulan tinggi badan tercatat 64 cm, kemudian meningkat menjadi 66 cm pada usia 7 bulan, 68 cm pada usia 8 bulan, 69 cm pada usia 9 bulan, dan 71 cm pada usia 10 bulan. Setelah itu, pertambahan tinggi badan juga tampak lambat, yaitu 71 cm pada usia 14 bulan, 74 cm pada usia 15 bulan, 76 cm pada usia 19 bulan, 77 cm pada usia 20 bulan, dan 78 cm pada usia 24–25 bulan. Berdasarkan perjalanan pertumbuhan tersebut, kasus ini menunjukkan *weight faltering* kronis sejak usia sekitar 7 bulan, disertai perlambatan pertumbuhan linear. Kondisi ini terjadi dalam konteks asupan yang kurang adekuat baik dari segi jumlah maupun kualitas, terutama karena porsi makan kecil, lebih banyak minum susu, serta rendahnya asupan protein hewani dan nabati.

Tabel 3. Timeline perjalanan kasus

Usia	Kejadian klinis/nutrisi utama
Lahir	Cukup bulan, SC, BBL 3045 gram, PB 50 cm, LK 32 cm
0–6 bulan	ASI eksklusif
6 bulan	Mulai MPASI
7 bulan	Ibu mulai menyadari berat badan tidak naik bermakna

Usia	Kejadian klinis/nutrisi utama
7 bulan–1 tahun	Belum mendapat pemantauan khusus dari kader maupun tenaga kesehatan terkait berat badan yang tidak naik
6–12 bulan	MPASI dibuatkan ibu sebelum bekerja; anak sehari-hari dititipkan di nenek
1 tahun	MPASI sering berupa sayur dan buah; protein hewani dan nabati jarang diberikan Diberikan susu tinggi kalori oleh dokter puskesmas, tetapi hanya diminum sedikit karena anak tidak suka Ibu mencoba memberikan susu UHT dan anak lebih mau minum Dicoba pemberian vitamin kapsul tabur pada makanan, tetapi nafsu makan anak menurun
>1 tahun	Asupan nutrisi hanya dari susu UHT 5 kotak/hari @115 ml/kotak dan susu formula 240 ml/hari
2 tahun	Dirujuk oleh puskesmas ke Spesialis Anak Mendapat pemantauan ekstra dan susu tinggi kalori untuk mengejar ketertinggalan berat badan
25 bulan	Berat badan 8,5 kg, tinggi badan 78 cm

Data antropometri serial pasien diperoleh dari catatan pemantauan pertumbuhan sejak lahir hingga usia 25 bulan. Tidak semua bulan memiliki data penimbangan atau pengukuran tinggi badan karena pada beberapa periode pasien tidak ditimbang atau tidak datang ke posyandu. Meskipun demikian, data yang tersedia menunjukkan bahwa kenaikan berat badan mulai melambat sejak usia sekitar 7 bulan, dengan beberapa periode stagnasi bahkan penurunan berat badan. Data tinggi badan juga menunjukkan penambahan yang lambat, terutama setelah usia 10 bulan. Rincian perjalanan berat badan dan tinggi badan pasien disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data serial berat badan dan tinggi badan

Usia	Berat badan	Tinggi/Panjang badan
Lahir	3,045 gram	50 cm
1 bulan	Tidak ditimbang	-
2 bulan	Tidak ditimbang	-
3 bulan	5,50 kg	-
4 bulan	5,90 kg	-
5 bulan	Tidak ditimbang	-
6 bulan	6,5 kg	64 cm
7 bulan	6,7 kg	66 cm
8 bulan	6,73 kg	68 cm
9 bulan	7,11 kg	69 cm
10 bulan	6,9 kg	71 cm
11 bulan	Tidak ke posyandu	-
12 bulan	Tidak ke posyandu	-
13 bulan	Tidak ke posyandu	-
14 bulan	7,38 kg	71 cm
15 bulan	7,25 kg	74 cm
16 bulan	7,70 kg	-
17 bulan	Tidak ke posyandu	-
18 bulan	7,5 kg	-
19 bulan	7,5 kg	76 cm
20 bulan	7,7 kg	77 cm
21 bulan	8,0 kg	-
22 bulan	8,0 kg	77 cm
23 bulan	8,1 kg	77 cm
24 bulan	8,0 kg	78 cm
25 bulan/saat ini	8,5 kg	78 cm

Interpretasi antropometri berdasarkan growth chart WHO

Pada usia 25 bulan, pasien adalah anak perempuan dengan berat badan 8,5 kg dan tinggi badan 78 cm. Berdasarkan interpretasi kurva pertumbuhan WHO:

Tabel 5. Interpretasi antropometri pasien

Indikator	Hasil	Interpretasi
BB/U	-3 SD sampai < -2 SD	<i>Underweight</i>
TB/U	-3 SD sampai < -2 SD	<i>Stunted</i>
BB/TB	-2 SD sampai +1 SD	Gizi baik

Interpretasi tersebut menunjukkan bahwa pasien mengalami *underweight* berdasarkan berat badan menurut umur dan *stunted* berdasarkan tinggi badan menurut umur. Namun, berdasarkan berat badan menurut tinggi badan, pasien masih berada dalam kategori gizi baik. Dengan demikian, gangguan pertumbuhan pasien lebih menggambarkan proses kronis berupa ketertinggalan berat badan dan tinggi badan terhadap usia, bukan *wasting* akut.

Riwayat Kehamilan dan Kelahiran

Pasien merupakan anak kedua, dengan jarak usia 14 tahun dari anak pertama. Selama kehamilan, ibu tidak mengalami permasalahan serius, rutin memeriksakan kehamilan di puskesmas, dan rutin mengonsumsi vitamin yang diberikan. Pasien lahir secara *sectio caesarea*, lahir langsung menangis, dengan berat badan lahir 3045 gram, panjang badan lahir 50 cm, dan lingkar kepala lahir 32 cm. Kesan lahir cukup bulan.

Riwayat Perkembangan

Perkembangan pasien dilaporkan sesuai usia. Anak sudah dapat berbicara dan mengungkapkan keinginan. Ibu tidak melaporkan adanya keterlambatan perkembangan bermakna. Pasien juga rutin datang ke posyandu setiap bulan untuk pemantauan tumbuh kembang.

Riwayat Imunisasi

Tidak terdapat riwayat penyakit dahulu yang bermakna. Riwayat imunisasi lengkap sesuai usia. Riwayat penyakit keluarga juga tidak ditemukan.

Riwayat Keluarga dan Sosial

Pasien sehari-hari dirawat bersama ibunya yang bekerja sebagai guru. Dari aspek sosial dan perilaku makan, terdapat pola makan yang kurang baik berupa lebih banyak minum susu dalam asupan harian UHT 5 kotak/hari @115 ml/kotak dan susu formula 240 ml/hari, konsumsi ciki sejak usia 1 tahun, serta kebiasaan minum teh. Faktor-faktor ini diduga berkontribusi terhadap rendahnya kualitas dan kepadatan nutrisi harian pasien. Ringkasan faktor-faktor yang diduga berkontribusi terhadap *weight faltering* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor-faktor yang diduga berkontribusi terhadap *weight faltering*

Faktor	Temuan pada pasien	Dampak yang mungkin terjadi
Nafsu makan rendah	Anak sulit makan sejak awal MPASI	Asupan energi menurun
Porsi makan kecil	Hanya 3 sendok kecil per kali makan @5 gram/sendok	Kebutuhan kalori harian tidak tercapai

Faktor	Temuan pada pasien	Dampak yang mungkin terjadi
Konsumsi susu	Anak lebih banyak minum susu daripada makan	Menurunkan asupan makanan utama
Asupan protein tidak adekuat	Protein hewani dan nabati belum tercukupi	Mengganggu pertumbuhan dan status gizi
Konsumsi ciki	Sejak usia 1 tahun	Densitas gizi rendah, kenyang semu
Konsumsi teh	Sejak usia 1 tahun	Memperburuk kualitas pola makan
Durasi masalah lama	Berat badan tidak naik sejak usia 7 bulan	Menunjukkan proses kronis

Kesan Klinis

Berdasarkan anamnesis, pasien menunjukkan gambaran *weight faltering* kronis sejak usia 7 bulan dalam konteks pola makan maladaptif. Gambaran tersebut ditandai oleh nafsu makan rendah, asupan makan utama dalam jumlah sangat sedikit, lebih banyak minum susu, kebiasaan konsumsi makanan ringan rendah nilai gizi, konsumsi teh, serta tidak adekuatnya asupan protein harian. Data antropometri saat ini menunjukkan berat badan 8,5 kg dan tinggi badan 78 cm pada usia 25 bulan. Berdasarkan kurva pertumbuhan WHO, pasien termasuk dalam kategori *underweight* menurut BB/U dan *stunted* menurut TB/U, sedangkan BB/TB masih berada pada rentang gizi baik. Hal ini mendukung adanya gangguan pertumbuhan kronis, bukan malnutrisi akut berat. Tidak ditemukan dari data anamnesis adanya faktor prenatal, perinatal, perkembangan, maupun riwayat penyakit dahulu yang secara langsung menjelaskan gangguan pertumbuhan ini. Secara keseluruhan, kasus ini mengarah pada gangguan pertumbuhan berat badan yang kemungkinan besar berkaitan dengan ketidakseimbangan antara kebutuhan dan asupan nutrisi akibat pola makan maladaptif yang berlangsung lama. Evaluasi antropometri lanjutan, plotting kurva pertumbuhan, penilaian asupan secara rinci, serta pemeriksaan klinis dan penunjang tetap diperlukan untuk menilai derajat gangguan status gizi dan menyingkirkan kemungkinan penyebab organik lain.

DISKUSI

Weight faltering pada anak usia dini merupakan masalah klinis yang sering berkembang perlahan dan dapat luput dikenali bila penilaian hanya berfokus pada ada atau tidaknya penyakit akut. NICE menekankan bahwa *faltering growth* pada anak memerlukan pengenalan, penilaian, dan pemantauan yang sistematis, termasuk evaluasi faktor risiko, penyebab yang mungkin, intervensi, serta dukungan informasi bagi orang tua. Penelitian Kumar juga menegaskan bahwa periode *complementary feeding*, terutama usia 6–23 bulan, merupakan masa yang sangat rentan terhadap *growth faltering* karena kebutuhan nutrisi anak sedang tinggi, kapasitas lambung masih kecil, dan kualitas maupun kuantitas makanan pendamping sering tidak memadai (Kumar, 2023). UNICEF secara khusus menyebut bahwa penurunan indikator pertumbuhan pada banyak negara terutama terjadi pada periode ini akibat kualitas/jumlah makanan pertama yang tidak adekuat, praktik pemberian makan yang kurang tepat, dan meningkatnya infeksi (NICE, 2024).

Pada kasus ini, An. F mengalami berat badan yang mulai tidak naik bermakna sejak usia 7 bulan, yaitu segera setelah memasuki fase MPASI. Pasien mendapat ASI eksklusif hingga

usia 6 bulan dan mulai MPASI pada usia 6 bulan. Sejak awal MPASI, pasien menunjukkan nafsu makan rendah, sulit makan, dan hanya mampu menghabiskan sekitar 3 sendok kecil @5gram/sendok setiap kali makan. Data tambahan menunjukkan bahwa sejak usia 7 bulan ibu sudah menyadari berat badan anak tidak meningkat secara optimal, tetapi pasien belum mendapatkan pemantauan khusus dari kader maupun tenaga kesehatan hingga sekitar usia 1 tahun. Hal ini menunjukkan adanya keterlambatan identifikasi dan intervensi terhadap gangguan pertumbuhan yang sebenarnya telah tampak sejak awal periode MPASI. Periode *complementary feeding* usia 6–23 bulan merupakan fase penting karena makanan mulai melengkapi asupan berbasis susu dan harus mampu memenuhi kebutuhan energi serta zat gizi anak yang meningkat (Lutter et al., 2021).

Data antropometri serial memperkuat gambaran *weight faltering* kronis. Berat badan pasien meningkat dari 6,5 kg pada usia 6 bulan menjadi 6,7 kg pada usia 7 bulan dan 6,73 kg pada usia 8 bulan, tetapi kenaikan tersebut sangat minimal. Pada usia 9 bulan berat badan mencapai 7,11 kg, kemudian turun menjadi 6,9 kg pada usia 10 bulan. Setelah itu, terdapat beberapa periode tanpa pemantauan karena pasien tidak datang ke posyandu pada usia 11–13 bulan dan 17 bulan. Pada usia 14–24 bulan, berat badan pasien cenderung stagnan di kisaran 7,25–8,1 kg, dan baru mencapai 8,5 kg pada usia 25 bulan. Pola ini menunjukkan bahwa gangguan pertumbuhan tidak bersifat akut, melainkan berlangsung lama dan berulang, dengan fase stagnasi serta penurunan berat badan.

Selain berat badan, pertumbuhan linear pasien juga menunjukkan perlambatan. Tinggi badan pasien tercatat 64 cm pada usia 6 bulan, 71 cm pada usia 10 bulan, 71 cm pada usia 14 bulan, 74 cm pada usia 15 bulan, 76 cm pada usia 19 bulan, 77 cm pada usia 20–23 bulan, dan 78 cm pada usia 24–25 bulan. Berdasarkan interpretasi growth chart WHO pada usia 25 bulan, berat badan 8,5 kg berada pada BB/U -3 SD sampai < -2 SD yang menunjukkan *underweight*, sedangkan tinggi badan 78 cm berada pada TB/U -3 SD sampai < -2 SD yang menunjukkan *stunted*. Namun, BB/TB berada pada rentang -2 SD sampai +1 SD, sehingga termasuk gizi baik. Kombinasi ini menunjukkan bahwa masalah utama pasien lebih sesuai dengan gangguan pertumbuhan kronis, berupa ketertinggalan berat badan dan tinggi badan terhadap usia, bukan *wasting* akut. Hal ini sejalan dengan temuan Benjamin-Chung *et al* yang menunjukkan bahwa *linear growth faltering* banyak terjadi pada awal kehidupan dan berkaitan dengan risiko morbiditas, gangguan perkembangan kognitif, serta mortalitas, sehingga dua tahun pertama kehidupan merupakan periode penting untuk intervensi pertumbuhan (Benjamin-Chung et al., 2023).

Temuan ini sejalan dengan literatur bahwa *growth faltering* sering mulai tampak pada masa transisi menuju MPASI. Pada anak usia 6–23 bulan, *undernutrition* dan *growth faltering* dapat dipercepat ketika menyusui mulai dilengkapi oleh *complementary feeding* yang rendah densitas nutrisi, frekuensi makan rendah, dan keragaman diet yang kurang. Lutter *et al.* menegaskan bahwa *complementary feeding* tidak hanya berkaitan dengan kecukupan zat gizi, tetapi juga dengan pencegahan asupan yang tidak tepat, termasuk kelebihan kalori, garam, gula, serta rendahnya kualitas makanan (Lutter et al., 2021). Dalam kasus An. F, hubungan temporal antara mulai MPASI pada usia 6 bulan dan perlambatan kenaikan berat badan sejak usia 7 bulan

mendukung peran besar kualitas dan kuantitas MPASI terhadap perjalanan gangguan pertumbuhan.

Selain kuantitas makan yang kecil, kualitas diet pasien juga merupakan isu utama. Pasien sehari-hari dititipkan kepada nenek karena ibu bekerja sebagai guru. MPASI biasanya disiapkan oleh ibu sebelum berangkat bekerja. Makanan yang diberikan relatif sering berupa sayur dan buah, sedangkan protein hewani dan protein nabati jarang diberikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun pasien memperoleh makanan rumahan, komposisi makanan belum cukup memenuhi kebutuhan energi, protein, dan mikronutrien untuk mendukung pertumbuhan. Savarino *et al.* menyatakan bahwa pertumbuhan optimal pada anak memerlukan asupan makronutrien dan mikronutrien yang adekuat, termasuk protein, zat besi, zinc, vitamin D, dan folat (Savarino *et al.*, 2021). Pada pasien ini, rendahnya asupan protein hewani dan nabati kemungkinan berkontribusi terhadap kegagalan kenaikan berat badan serta perlambatan pertumbuhan linear.

Rendahnya konsumsi protein hewani pada An. F juga penting karena merupakan sumber protein bermutu tinggi dan mikronutrien yang bioavailable. Asare *et al.* (2022) dalam penelitiannya melaporkan bahwa protein hewani dapat menjadi makanan pendamping yang sesuai untuk membantu memperbaiki pertumbuhan anak usia 6–24 bulan, khususnya pada konteks negara berpendapatan rendah dan menengah (Asare *et al.*, 2022). Oleh karena itu, jarangya pemberian protein hewani pada pasien ini dapat menjadi salah satu faktor yang memperkuat terjadinya *weight faltering* kronis dan perlambatan pertumbuhan linear.

Riwayat nafsu makan rendah dan sulit makan pada pasien juga dapat dibaca dalam kerangka *picky/fussy eating* atau *feeding difficulty*, walaupun diagnosis formal belum dapat ditegakkan hanya dari data yang ada. Jani *et al.* menemukan bahwa *picky eating* berasosiasi negatif dengan berat badan serta asupan sayur dan buah, dan berasosiasi positif dengan *underweight* pada anak dan remaja (Jani *et al.*, 2024). Selain itu, Grulichova *et al.* menunjukkan bahwa *picky eating* persisten pada anak berhubungan dengan berat dan tinggi yang lebih rendah pada *follow-up* (Grulichova *et al.*, 2022). Pada An. F, masalah makan tidak perlu langsung diposisikan sebagai diagnosis psikiatrik, tetapi cukup dipahami sebagai pola makan maladaptif yang telah menimbulkan konsekuensi klinis terhadap pertumbuhan.

Lebih banyak minum susu dalam pola makan pasien juga penting dibahas karena dapat memperburuk *displacement* terhadap makanan utama. Setelah usia 1 tahun, asupan pasien lebih banyak susu UHT dan susu formula SGM untuk anak usia di atas 1 tahun. Pasien sempat diberikan susu tinggi kalori oleh dokter puskesmas, tetapi hanya dapat diminum sedikit karena anak tidak menyukai rasanya. Ibu kemudian memberikan susu UHT karena lebih dapat diterima oleh pasien. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi peningkatan kalori melalui susu tinggi kalori belum berhasil optimal karena masalah penerimaan anak. Iwańska *et al.* melaporkan bahwa oral *nutritional supplements* dapat membantu manajemen anak dengan *picky eating* dan *underweight* bila dikombinasikan dengan konsultasi dietetik, tetapi keberhasilannya tetap bergantung pada penerimaan anak dan perbaikan pola makan (Iwańska *et al.*, 2025). Pada saat yang sama, konsumsi susu berpotensi menurunkan keinginan anak untuk makan makanan utama yang lebih beragam dan padat nutrisi. Dengan demikian, perbaikan

nutrisi tidak cukup hanya dengan penambahan susu, tetapi perlu diarahkan pada restrukturisasi pola makan harian.

Kebiasaan konsumsi makanan ringan seperti ciki dan teh sejak usia 1 tahun juga memperkuat gambaran pola makan yang kurang mendukung pertumbuhan. Ciki memberikan rasa kenyang semu dengan densitas gizi rendah, sedangkan teh dapat menjadi faktor yang tidak menguntungkan pada anak dengan risiko defisiensi zat besi, terutama bila dikonsumsi berdekatan dengan waktu makan. Dalam konteks pasien yang asupan protein hewani dan nabatinya rendah, kebiasaan minum teh perlu dibatasi karena dapat memperburuk kualitas asupan secara keseluruhan. Riwayat pemberian vitamin berupa kapsul tabur juga belum memberikan hasil yang baik karena ibu melaporkan nafsu makan anak justru menurun setelah pemberian tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi mikronutrien saja tidak cukup bila tidak disertai perbaikan pola makan, jadwal makan, densitas energi, dan keterlibatan caregiver. Prinsip ini sesuai dengan Savarino *et al.*, yang menekankan bahwa pertumbuhan anak membutuhkan keseimbangan asupan makronutrien dan mikronutrien, bukan hanya suplementasi Tunggal (Savarino *et al.*, 2021).

Aspek pemantauan juga menjadi poin penting dalam kasus ini. Ibu mulai menyadari berat badan anak tidak naik sejak usia 7 bulan, namun belum ada pemantauan khusus hingga usia 1 tahun. Selain itu, data antropometri menunjukkan adanya beberapa bulan tanpa penimbangan atau kunjungan posyandu. Pada kasus *weight faltering*, pemantauan serial sangat penting karena satu kali pengukuran tidak cukup untuk menggambarkan pola pertumbuhan. Keterlambatan pengenalan masalah dapat menyebabkan gangguan berlangsung lebih lama hingga akhirnya berdampak pada tinggi badan menurut umur, seperti terlihat pada pasien ini yang telah masuk kategori *stunted* pada usia 25 bulan. Benjamin-Chung *et al.* menekankan bahwa *growth faltering* pada awal kehidupan dapat terjadi secara berulang, sehingga pemantauan longitudinal menjadi penting untuk mendeteksi penurunan pertumbuhan sejak dini (Benjamin-Chung *et al.*, 2023).

Sebagaimana pada artikel acuan, pembahasan kasus ini juga perlu mempertahankan diagnosis banding yang terbuka. Pada An. F, data yang ada belum cukup untuk langsung menegakkan ARFID, walaupun ada beberapa fitur yang dapat mengarah ke sana, seperti minat makan yang rendah, porsi kecil, penolakan terhadap beberapa bentuk intervensi nutrisi, dan dampak terhadap pertumbuhan. Diagnosis ARFID mensyaratkan evaluasi lebih rinci mengenai penghindaran berdasarkan karakteristik sensorik makanan, takut terhadap konsekuensi makan, ketertarikan yang rendah terhadap makanan, kebutuhan suplementasi, serta dampak psikososial yang bermakna. Bialek-Dratwa *et al.* menjelaskan bahwa tata laksana nutrisi pada ARFID memerlukan pemantauan berat badan, tinggi badan, status nutrisi, serta analisis makanan yang dapat diterima anak dan dapat diperkenalkan secara bertahap (Bialek-Dratwa *et al.*, 2022). Di sisi lain, tidak ditemukan dari data anamnesis adanya riwayat prenatal, perinatal, perkembangan, penyakit dahulu, maupun penyakit keluarga yang secara langsung menjelaskan gangguan pertumbuhan. Oleh karena itu, formulasi kerja yang paling proporsional saat ini adalah *weight faltering* kronis akibat pola makan maladaptif, dengan tetap mempertimbangkan perlunya penyingkiran penyebab organik sesuai temuan klinis.

Implikasi tata laksana dari kasus ini terutama terletak pada perbaikan pola pemberian makan berbasis caregiver. Karena pasien sehari-hari ditiptkan kepada nenek dan ibu bekerja sebagai guru, edukasi tidak hanya perlu diberikan kepada ibu, tetapi juga kepada *caregiver* yang terlibat dalam pemberian makan harian. Intervensi rasional mencakup penataan jadwal 3 kali makan utama dan 2–3 kali selingan, peningkatan kepadatan energi makanan, pemberian protein hewani dan nabati secara rutin, pembatasan susu agar tidak menggantikan makanan utama, penghentian atau pembatasan ciki dan teh, serta pemantauan pertumbuhan serial menggunakan kurva WHO. Rujukan ke Spesialis Anak pada usia 2 tahun dan pemberian pemantauan ekstra serta susu tinggi kalori merupakan langkah yang tepat, tetapi keberhasilannya tetap perlu ditunjang oleh perbaikan struktur makan di rumah. Hal ini sesuai dengan bukti bahwa oral nutritional supplement pada anak *picky eating* dan *underweight* lebih efektif bila dikombinasikan dengan konsultasi dietetik, bukan digunakan sebagai satu-satunya intervensi nutrisi (Iwańska et al., 2025).

Secara keseluruhan, kasus ini menunjukkan bahwa *weight faltering* pada balita dapat berkembang perlahan sejak fase MPASI dan menjadi masalah kronis bila tidak dikenali serta ditangani secara dini. Nilai penting kasus ini adalah menekankan bahwa stagnasi berat badan sejak usia 6–7 bulan harus menjadi tanda bahaya klinis, terutama bila disertai porsi makan kecil, kualitas MPASI yang kurang adekuat, rendahnya protein, lebih banyak minum susu, konsumsi makanan rendah nilai gizi, dan pemantauan pertumbuhan yang tidak konsisten. Interpretasi antropometri WHO pada pasien ini menunjukkan *underweight* dan *stunted* dengan BB/TB gizi baik, sehingga memperkuat bahwa proses yang terjadi adalah gangguan pertumbuhan kronis, bukan masalah gizi akut semata.

KESIMPULAN

Weight faltering pada anak usia dini dapat muncul secara kronis dan perlahan, terutama pada masa transisi dari ASI eksklusif menuju MPASI. Pada kasus An. F, gangguan pertumbuhan berat badan mulai tampak sejak usia 7 bulan, segera setelah pasien mulai MPASI pada usia 6 bulan. Data serial menunjukkan kenaikan berat badan yang sangat lambat, beberapa periode stagnasi, bahkan penurunan berat badan, dengan berat badan saat ini 8,5 kg pada usia 25 bulan. Tinggi badan pasien juga menunjukkan perlambatan pertumbuhan, dengan tinggi badan saat ini 78 cm. Berdasarkan interpretasi growth chart WHO, pasien termasuk *underweight* berdasarkan BB/U, *stunted* berdasarkan TB/U, namun masih memiliki BB/TB dalam kategori gizi baik. Pola ini menunjukkan bahwa gangguan pertumbuhan pasien lebih menggambarkan proses kronis berupa ketertinggalan berat badan dan tinggi badan terhadap usia, bukan wasting akut.

Faktor yang paling mungkin berkontribusi terhadap kondisi ini adalah ketidakseimbangan antara kebutuhan dan asupan nutrisi dalam konteks pola makan maladaptif yang berlangsung lama. Hal tersebut ditandai oleh nafsu makan rendah sejak awal MPASI, porsi makan sangat kecil, MPASI yang lebih sering berupa sayur dan buah, jaranganya pemberian protein hewani dan nabati, lebih banyak minum susu, konsumsi ciki dan teh sejak usia 1 tahun, serta belum optimalnya respons terhadap susu tinggi kalori maupun vitamin kapsul tabur. Faktor pengasuhan juga berperan karena anak sehari-hari ditiptkan kepada nenek,

sementara MPASI disiapkan ibu sebelum bekerja, sehingga edukasi dan intervensi perlu melibatkan seluruh caregiver. Kasus ini juga menegaskan pentingnya deteksi dini dan pemantauan pertumbuhan yang konsisten. Ibu telah menyadari berat badan anak tidak naik sejak usia 7 bulan, namun pemantauan khusus baru dilakukan lebih lanjut setelah usia 1 tahun dan pasien baru dirujuk ke Spesialis Anak pada usia 2 tahun.

Keterlambatan pengenalan dan intervensi dapat membuat weight faltering berlangsung kronis hingga berdampak pada pertumbuhan linear. Dengan demikian, kasus ini menekankan bahwa anak dengan berat badan stagnan sejak awal MPASI memerlukan evaluasi antropometri serial, penilaian asupan yang rinci, evaluasi pola pemberian makan, serta penyingkiran penyebab organik bila terdapat indikasi klinis. Intervensi utama perlu berfokus pada perbaikan kualitas dan struktur makan, peningkatan densitas energi dan protein, pembatasan susu agar tidak menggantikan makanan utama, penghentian makanan rendah nilai gizi, serta edukasi *caregiver*. Pendekatan tersebut penting untuk mencegah perburukan status gizi dan mendukung pemulihan pertumbuhan anak

DAFTAR PUSTAKA

- Asare, H., Rosi, A., Faber, M., Smuts, C. M., & Ricci, C. (2022). Animal-source foods as a suitable complementary food for improved physical growth in 6 to 24-month-old children in low- and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *The British Journal of Nutrition*, 128(12), 2453–2463. <https://doi.org/10.1017/S0007114522000290>
- Benjamin-Chung, J., Mertens, A., Jr, J. M. C., Hubbard, A. E., Laan, M. J. Van Der, Coyle, J., Sofrygin, O., Cai, W., Nguyen, A., Pokpongkiat, N. N., Djajadi, S., Seth, A., Jilek, W., Jung, E., Chung, E. O., Rosete, S., Hejazi, N., Malenica, I., Li, H., ... Growth, C. (2023). Early-childhood linear growth faltering in low- and middle-income countries. *Nature*, 621(2), 550–557. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06418-5>
- Bering, J., & Dibaise, J. K. (2026). Fear, Feeding, and the Gut: Nutrition Support Considerations in Adults with ARFID and Gastrointestinal Symptoms. *MDPI: Nutrients*, 18(726), 1–16. <https://doi.org/10.3390/nu18050726>
- Białek-Dratwa, A., Szymańska, D., Grajek, M., Krupa-Kotara, K., Szczepańska, E., & Kowalski, O. (2022). ARFID-Strategies for Dietary Management in Children. *Nutrients*, 14(9), 1–16. <https://doi.org/10.3390/nu14091739>
- Campuzano-donoso, M., Reytor-gonzález, C., Sarno, G., Montalvan, M., Barrea, L., Muscogiuri, G., Verde, L., Annunziata, G., & Simancas-racines, D. (2026). Alcohol and Substance Use After Bariatric Surgery : Nutritional Risks and Clinical Implications in Long-Term Postoperative Care. *MDPI: Nutrients*, 18(932), 1–25. <https://doi.org/10.3390/nu18060932>
- Cimino, S., Bevilacqua, A., & Cerniglia, L. (2025). Recent Developments in Eating Disorders in Children : A Comprehensive Perspective. *MDPI: Clinical Medicine*, 14(6042), 1–13. <https://doi.org/10.3390/jcm14176042>

- Cooke, R., Goulet, O., Huysentruyt, K., Joosten, K., Khadilkar, A. V., Mao, M., Meyer, R., Prentice, A. M., & Singhal, A. (2023). Catch-Up Growth in Infants and Young Children With Faltering Growth: Expert Opinion to Guide General Clinicians. *JPGN*, 77(1), 7–15. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000003784>
- Dakin, C., Finlayson, G., & Stubbs, R. J. (2025). Exploring the Underlying Psychological Constructs of Self-Report Eating Behavior Measurements: Toward a Comprehensive Framework. *Psychological Review*, 132(5), 1241–1265. <https://doi.org/10.1037/rev0000496> THEORETICAL
- Fonseca, N. K. O., Curtarelli, V. D., Bertoletti, J., Azevedo, K., & Cardinal, T. M. (2024). Avoidant restrictive food intake disorder : recent advances in neurobiology and treatment. *Journal of Eating Disorders*, 12(74), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40337-024-01021-z>
- Grulichova, M., Kuruczova, D., Svancara, J., Pikhart, H., & Bienertova-Vasku, J. (2022). Association of Picky Eating with Weight and Height-The European Longitudinal Study of Pregnancy and Childhood (ELSPAC-CZ). *Nutrients*, 14(3), 1–9. <https://doi.org/10.3390/nu14030444>
- Harris, H. A., Jansen, E., & Rossi, T. (2020). 'It's not worth the fight': Fathers' perceptions of family mealtime interactions, feeding practices and child eating behaviour. *Appetite*, 150(2), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104642>
- Ibrahim, S., & London, C. (2024). Understanding Online Parental Help-Seeking and Help-Giving in Early Childhood : The Design Challenges of Supporting Complex Parenting Questions. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 8(CSCW1), 1–36. <https://doi.org/10.1145/3653690>
- Iwańska, J., Pskit, Ł., Stróżyk, A., Horvath, A., Statuch, S., & Szajewska, H. (2025). Effect of oral nutritional supplements administration on the management of children with picky eating and underweight: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition ESPEN*, 67(1), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2025.03.039>
- Jani, R., Irwin, C., Rigby, R., Byrne, R., Love, P., Khan, F., Larach, C., Yang, W. Y., Mandalika, S., Knight-Agarwal, C. R., Naumovski, N., & Mallan, K. (2024). Association Between Picky Eating, Weight Status, Vegetable, and Fruit Intake in Children and Adolescents: Systematic Review and Meta-Analysis. *Childhood Obesity (Print)*, 20(8), 553–571. <https://doi.org/10.1089/chi.2023.0196>
- Katsikari, A., & Varela, P. (2026). Individual differences in sensitivity to texture as drivers of food preferences. *Food Quality and Preference*, 136(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2025.105752>
- Kumar, M. M. (2023). Eating Disorders in Youth with Chronic Health Conditions : Clinical Strategies for Early Recognition and Prevention. *MDPI: Nutrients*, 15(3672), 1–15. <https://doi.org/10.3390/nu15173672>
- Laan, M. J. Van Der, Hubbard, A. E., Rosete, S., Malenica, I., Hejazi, N., Sofrygin, O., Cai, W., Li, H., Nguyen, A., Pokpongkiat, N. N., Djajadi, S., Seth, A., Jung, E., Chung, E. O., Jilek, W., Subramoney, V., Hafen, R., Häggström, J., Norman, T., ... Growth, C. (2023). Causes

- and consequences of child growth faltering in low-resource settings. *Nature*, 621(2), 1–36. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06501-x>
- Lutter, C. K., Grummer-Strawn, L., & Rogers, L. (2021). Complementary feeding of infants and young children 6 to 23 months of age. *Nutrition Reviews*, 79(8), 825–846. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa143>
- NICE. (2024). *Faltering growth : recognition and management of faltering growth in children* (pp. 1–26). National Institute for Health and Care Excellence. www.nice.org.uk/guidance/ng75
- Savarino, G., Corsello, A., & Corsello, G. (2021). Macronutrient balance and micronutrient amounts through growth and development. *Italian Journal of Pediatrics*, 47(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13052-021-01061-0>
- Shaikh, M. G., Barrett, T. G., Bridges, N., Chung, R., & Gevers, E. F. (2024). Prader – Willi syndrome : guidance for children and transition into adulthood. *Endocrine Connections*, 13(1), 1–30. <https://doi.org/10.1530/EC-24-0091>

Case Report

Keterlambatan Bicara pada Anak: Pendekatan *Evidence-Based* dalam Evaluasi dan Penatalaksanaan (Laporan Kasus)

Aty Firsianti¹, Gina Noor Djalilah¹, Yusian Eri Fitria¹, Mufidah Hariani¹, Adristy Anneira Vanka Meisya², Nabilah Isyraq Syahirah², Farida Kholifah², Salsabila Rayhani², Zetty Fortune Ananta Mulia²

1) Pediatrician, Department of Child Health, Faculty of Medicine Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

2) Clinical Clerkship, Department of Child Health, Faculty of Medicine Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Speech delay merupakan salah satu gangguan perkembangan tersering pada anak dan dapat memengaruhi komunikasi, interaksi sosial, serta perkembangan anak secara keseluruhan. Laporan kasus ini menggambarkan seorang anak laki-laki usia 33 bulan dengan keterlambatan perkembangan bicara. Orang tua pasien melaporkan bahwa anak belum dapat berbicara sesuai usianya dan hanya mampu mengucapkan satu kata bermakna. Keterlambatan tersebut pertama kali disadari pada usia 16 bulan. Meskipun kemampuan bahasa ekspresif mengalami keterlambatan, pasien masih menunjukkan kemampuan bahasa reseptif yang relatif baik, seperti memahami perintah sederhana, merespons saat dipanggil, serta berkomunikasi menggunakan gestur dengan kontak mata yang baik. Riwayat perkembangan menunjukkan adanya keterlambatan milestone motorik, yaitu duduk mandiri pada usia 11-12 bulan, merangkak pada usia 13-15 bulan, dan berjalan mandiri pada usia 17-18 bulan. Beberapa faktor risiko yang ditemukan meliputi riwayat asfiksia neonatal yang memerlukan perawatan NICU, penggunaan susu formula sejak lahir, paparan *screen time* berlebihan, kurangnya stimulasi verbal, minimnya interaksi dengan teman sebaya, serta riwayat keterlambatan bicara dalam keluarga. Pasien menjalani terapi wicara dan terapi okupasi selama kurang lebih delapan bulan. Identifikasi dini dan intervensi multidisiplin penting dilakukan untuk meningkatkan kemampuan komunikasi dan luaran perkembangan pada anak dengan *speech delay*.

Kata kunci : keterlambatan bicara, perkembangan anak, terapi wicara, keterlambatan perkembangan

ABSTRACT

Speech delay is one of the most common developmental disorders in children and may affect communication, social interaction, and overall development. This case report describes a 33-month-old boy with delayed speech development. His parents reported that the child was unable to speak according to his age and could only say one meaningful word. The delay was first noticed at 16 months of age. Despite delayed expressive language, the patient still demonstrated relatively good receptive language abilities, including understanding simple commands, responding when called, and communicating through gestures with good eye contact. Developmental history revealed delayed motor milestones, including sitting independently at 11-12 months, crawling at 13-15 months, and walking independently at 17-18 months. Several risk factors were identified, including neonatal asphyxia requiring NICU admission, formula feeding since birth, excessive screen time exposure, limited verbal

stimulation, minimal interaction with peers, and a family history of delayed speech. The patient underwent speech therapy and occupational therapy for approximately eight months. Early identification and multidisciplinary intervention are important to improve communication and developmental outcomes in children with speech delay.

Keywords : Speech delay, child development, speech therapy, developmental delay

Correspondence : adristymeisya09@gmail.com

PENDAHULUAN

Masa kanak-kanak awal merupakan fase penting dalam perkembangan anak karena menentukan dan memengaruhi pertumbuhan serta perkembangan selanjutnya. Perkembangan bahasa dan bicara merupakan keterampilan yang sangat penting bagi anak untuk berkomunikasi dan beradaptasi dengan lingkungannya. Kemampuan anak dalam membedakan suara dimulai sejak usia enam bulan, kemudian berkembang saat usia 1,5 hingga 3 tahun. Namun, beberapa anak mengalami perkembangan bicara dan bahasa yang lebih lambat dibandingkan teman sebayanya sehingga menunjukkan keterlambatan bicara dan bahasa (Putri, NUgraheni and Winarni, 2024; Rosdiana *et al.*, 2024). Keterlambatan bicara dan bahasa adalah keadaan ketika anak mengalami hambatan dalam kemampuan berbicara sehingga ucapannya sulit dimengerti, serta perkembangan kemampuan bahasanya belum mencapai tingkat yang sesuai dengan usianya. Gangguan bicara dan bahasa termasuk masalah perkembangan yang umum terjadi pada anak dan kerap menjadi penyebab hambatan fungsi pada masa kanak-kanak. Sekitar 30% orang tua juga melaporkan adanya kekhawatiran terhadap perkembangan kemampuan bahasa anak ketika melakukan kunjungan ke layanan kesehatan primer. Prevalensinya diperkirakan mencapai 5-10% pada anak usia di bawah lima tahun yang mengalami keterlambatan perkembangan bahasa secara signifikan (Alzahrani *et al.*, 2025). Keterlambatan bicara dan bahasa pada anak dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik dari kondisi medis maupun lingkungan. Beberapa faktor yang diketahui meningkatkan risiko antara lain gangguan pendengaran, riwayat kejang, asfiksia saat lahir, kelahiran prematur, berat badan lahir rendah, kelainan orofaring, faktor keturunan, minimnya interaksi sosial, penggunaan layar elektronik secara berlebihan, serta tingkat pendidikan orang tua yang rendah. Di sisi lain, suasana keluarga yang mendukung, pemberian ASI eksklusif, dan stimulasi komunikasi yang optimal dapat membantu perkembangan bahasa anak. Deteksi serta penanganan sejak dini sangat diperlukan untuk mengurangi risiko gangguan belajar dan masalah perkembangan pada masa mendatang. Tujuan dari laporan kasus ini adalah mempresentasikan gambaran klinis, faktor risiko, penegakan diagnosis, serta penatalaksanaan speech delay pada anak usia 33 bulan yang ditemukan di poliklinik anak.

LAPORAN KASUS

Seorang anak laki-laki berusia 33 bulan diantar orang tua datang ke poliklinik anak dengan keluhan utama belum dapat berbicara sesuai usianya. Orang tua mengeluhkan sejak usia 16 bulan anak belum dapat mengucapkan satu kata bermakna. Sebelumnya, anak hanya mengeluarkan suara seperti mengerang “ah” dan “eh”. Namun, orang tua menganggap anak hanya membutuhkan waktu lebih lama untuk belajar berbicara sehingga konsultasi ke dokter

spesialis anak baru dilakukan saat usia 25 bulan. Tidak terdapat riwayat regresi perkembangan. Saat ini anak hanya mampu mengucapkan satu kata sederhana seperti “ma” dan “pa”. Anak memahami perintah sederhana, menoleh saat dipanggil, serta berkomunikasi menggunakan gestur seperti menunjuk. Kontak mata dinilai baik. Anak belum dapat meniru suara maupun mengikuti percakapan orang lain. Setelah evaluasi awal, pasien disarankan menjalani terapi wicara dan terapi okupasi yang hingga saat ini telah berlangsung selama kurang lebih delapan bulan. Pemeriksaan pendengaran belum pernah dilakukan karena menurut orang tua anak masih responsif saat dipanggil dan tampak interaktif. Riwayat penyakit sebelumnya, tidak terdapat riwayat kejang, trauma kepala, infeksi susunan saraf pusat, ISPA berulang, diare berulang, dan tidak terdapat riwayat infeksi telinga. Riwayat keluarga didapatkan ayah pasien juga mengalami keterlambatan bicara dan baru dapat berbicara pada usia sekitar tiga tahun. Tidak ditemukan riwayat gangguan perkembangan lain dalam keluarga. Riwayat sosial anak sejak usia 16 bulan sering terpapar *screen time* hampir sepanjang hari berupa tontonan YouTube karena ibu mengalami kesulitan melakukan aktivitas rumah tangga sendiri. Interaksi verbal orang tua dengan anak umumnya dilakukan pada waktu senggang. Anak juga lebih sering berada di rumah dan jarang bermain dengan teman sebaya karena lingkungan rumah jauh dari anak-anak seusianya. Saat ini *screen time* sudah dibatasi sekitar 10 menit ketika orang tua benar-benar sibuk dan anak sudah tidak lagi rutin diberikan tontonan YouTube. Riwayat kehamilan ibu rutin melakukan *antenatal care* di puskesmas tanpa komplikasi bermakna. Pasien lahir secara *sectio caesarea* pada usia kehamilan 38-39 minggu dengan indikasi panggul sempit dan janin makrosomia. Berat badan lahir pasien sebesar 3600 gram dan sempat mengalami asfiksia sehingga harus dirawat di NICU selama empat hari. Riwayat nutrisi menunjukkan pasien mendapat susu formula sejak lahir. MPASI mulai diberikan pada usia 6 bulan, namun peningkatan tekstur makanan baru dapat dilakukan pada usia satu tahun karena anak sering mual dan muntah saat diberikan tekstur yang lebih kasar. Riwayat imunisasi dasar lengkap sesuai usia. Riwayat perkembangan motorik menunjukkan adanya keterlambatan perkembangan. Anak mulai dapat duduk sendiri pada usia sekitar 11-12 bulan, merangkak pada usia 13-15 bulan, berdiri dengan bantuan pada usia 15-16 bulan, dan berjalan mandiri pada usia 17-18 bulan. Saat ini anak telah mampu naik tangga dan menendang bola. Dalam aktivitas sehari-hari, anak sudah dapat makan sendiri meskipun masih berantakan dan mampu melepas pakaian sendiri, namun sebagian besar aktivitas lainnya masih memerlukan bantuan orang tua.

Pada pemeriksaan fisik didapatkan berat badan 13 kg, tinggi badan 91 cm, lingkar kepala 47 cm, dan lingkar lengan atas 14 cm. Status gizi pasien dinilai baik berdasarkan kurva pertumbuhan. Pemeriksaan *head to toe* dalam batas normal. Berdasarkan hasil Kuesioner Pra Skrining Perkembangan (KPSP) usia 30 bulan yang dilakukan, didapatkan jumlah jawaban “Ya” sebanyak 7 dan jawaban “Tidak” sebanyak 3. Hasil ini termasuk kategori perkembangan meragukan, terutama pada aspek bicara dan bahasa serta sosialisasi dan kemandirian, sehingga diperlukan stimulasi perkembangan lanjutan, evaluasi berkala, dan terapi yang sesuai.

DISKUSI

Speech merupakan kemampuan artikulasi dan produksi bunyi bicara yang dihasilkan melalui organ bicara di dalam mulut, sedangkan *language* mencakup kemampuan memahami,

memproses, dan menghasilkan komunikasi (Liang *et al.*, 2023). *Speech delay* atau keterlambatan bicara didefinisikan sebagai kondisi ketika kemampuan bicara anak tampak kurang jelas dibandingkan anak seusianya atau terdapat pola kesalahan pengucapan bunyi bicara yang tidak sesuai dengan tahap perkembangan umurnya (Sunderajan and Kanhere, 2019; Rupert *et al.*, 2023). Pada kasus ini, pasien berusia 33 bulan dan baru mampu mengucapkan satu kata sederhana seperti “ma” dan “pa”, sehingga kemampuan bahasa ekspresif pasien, sehingga kemampuan bahasa ekspresif pasien berada di bawah tahap perkembangan normal untuk usianya. Saat usia 18-24 bulan seharusnya terjadi perkembangan komunikasi yang sangat pesat yang dikenal sebagai “*word explosion*”, yaitu ketika anak berkembang cepat dari penggunaan satu kata menjadi gabungan beberapa kata dalam bentuk frasa hingga kalimat sederhana (Feldman *et al.*, 2023).

Perkembangan anak dipengaruhi oleh berbagai faktor. Pada kasus ini terdapat beberapa faktor yang diduga berperan terhadap keterlambatan bicara pasien. Pertama, riwayat ayah pasien mengalami keterlambatan bicara hingga usia 3 tahun. Riwayat keluarga dengan gangguan komunikasi perkembangan dapat meningkatkan risiko anak mengalami keterlambatan bicara pada usia dini. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh faktor genetik dan bawaan dalam perkembangan bahasa dan bicara anak (Badawieh and Al-shamsi, 2023; Razack *et al.*, 2025). Meskipun penelitian lain menunjukkan hasil yang berbeda (Rosdiana *et al.*, 2024). Kedua, perawatan NICU dengan riwayat asfiksia selama 4 hari. Adanya gangguan bahasa yang muncul mungkin disebabkan karena *neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy*, yaitu cedera otak yang disebabkan oleh gangguan aliran darah selama proses kelahiran (Moges, Mengistu and Tilahun, 2024). Ketiga, pada kasus ini pasien tidak mendapatkan asi sejak lahir hanya minum susu formula. Tidak ditemukan hubungan yang bermakna secara statistik antara lama menyusui dan keterlambatan bahasa. Pada penelitian Moges *et al* ditemukan bahwa anak yang diberikan susu botol memiliki lebih besar mengalami *speech language delay* dibandingkan anak yang mendapatkan ASI (Moges, Mengistu and Tilahun, 2024). Terdapat kecenderungan bahwa anak yang mendapat ASI lebih lama (>18 bulan) memiliki risiko lebih rendah mengalami keterlambatan bahasa dibanding anak yang mendapat ASI ≤ 6 bulan (Faradilah *et al.*, 2020). Hal ini dikarenakan pemberian asi eksklusif mendukung perkembangan normal struktur orofasial serta meningkatkan koordinasi otot lidah, mulut, bibir, dan rahang (Moges, Mengistu and Tilahun, 2024).

Faktor lingkungan sosial juga tampak berperan pada kasus ini. Pasien mendapat paparan *screen time* berlebihan sejak usia 16 bulan berupa tontonan YouTube hampir sepanjang hari dan interaksi dengan orangtua yang jarang. Durasi *screen time* sejak dini dengan durasi yang tidak terkontrol dapat mengurangi kesempatan pada anak untuk berinteraksi secara langsung dengan lingkungannya, interaksi langsung tersebut sangat penting bagi perkembangan bahasa anak. Oleh karena itu, semakin rendah interaksi orang tua anak maka semakin tinggi keterlambatan bicara anak (Jafar *et al.*, 2025).

Keterlambatan perkembangan motorik pada pasien juga diduga berperan terhadap terjadinya *speech delay*. Anak dengan keterlambatan perkembangan motorik kasar memiliki risiko lebih tinggi mengalami keterlambatan bicara. Perkembangan motorik berperan dalam meningkatkan interaksi sosial serta stimulasi bahasa pada anak. Selain itu, kemampuan duduk

dan berjalan juga mendukung perkembangan fungsi respirasi dan interaksi dengan lingkungan yang penting dalam proses perkembangan bicara dan bahasa (Tan, Mangunatmadja and Wiguna, 2019).

Pada kasus ini, pasien masih mampu memahami perintah sederhana seperti menoleh saat dipanggil dan menggunakan gestur seperti menunjuk untuk berkomunikasi. Hal tersebut menandakan bahwa kemampuan bahasa ekspresif pasien mengalami keterlambatan, namun kemampuan reseptif pasien masih cukup baik. Bahasa ekspresif mencakup kemampuan menyampaikan ide dalam bentuk lisan, tulisan, maupun visual, sedangkan reseptif merupakan kemampuan untuk memahami komunikasi dari orang lain yang mencakup kemampuan pendengaran dan visual (Liang *et al.*, 2023; Rupert *et al.*, 2023).

Berdasarkan hasil pemeriksaan fisik pasien didapatkan hasil normal. Kontak mata pasien dinilai baik. Namun, pemeriksaan pendengaran lengkap belum pernah dilakukan karena pasien masih responsif terhadap suara dan panggilan. Sebagian besar anak dengan gangguan bicara memiliki derajat tertentu gangguan pendengaran. Prevalensi gangguan pendengaran pada anak dengan speech delay in berkisar antara 10% hingga 40%. Sehingga, pemeriksaan pendengaran tetap harus dilakukan untuk menyingkirkan faktor risiko ini (Vo *et al.*, 2025).

Pasien disarankan menjalani terapi wicara dan terapi okupasi yang hingga saat ini telah berlangsung selama kurang lebih delapan bulan. Terapi wicara diketahui efektif terutama pada anak dengan gangguan bahasa ekspresif, pendekatan individual seperti latihan artikulasi dan pernapasan sangat penting dalam proses pemulihan. Selain itu, terapi membantu meningkatkan kemampuan komunikasi, perkembangan bahasa, serta stimulasi interaksi sosial anak (Hadiwijaya, 2022; Istiqomah *et al.*, 2025). Terapi okupasi yaitu terapi untuk membantu anak dalam mengikuti instruksi dengan benar dan melakukan aktivitas di rumah dengan baik. Pendekatan ini membantu anak lebih siap untuk berkomunikasi dan berinteraksi secara optimal dengan lingkungan sekitarnya (Junaedah, Putriyanti and Ngatmini, 2024).

KESIMPULAN

Speech delay merupakan gangguan perkembangan pada anak yang didukung oleh faktor risiko yang beragam. Pada kasus ini ditemukan beberapa faktor yang diduga berperan, antara lain asfiksia neonatal, keterlambatan perkembangan motorik, paparan screen time berlebihan, kurangnya stimulasi verbal dan sosial, penggunaan susu formula sejak lahir, serta riwayat keterlambatan bicara dalam keluarga. Meskipun pasien mengalami keterlambatan perkembangan bahasa ekspresif, kemampuan bahasa reseptif dan interaksi sosial pasien masih relatif baik. Deteksi dini, skrining perkembangan, terapi wicara, terapi okupasi, keterlibatan orang tua, serta pembatasan paparan *screen time* berperan penting dalam mendukung perkembangan bahasa dan komunikasi pada anak dengan *speech delay*.

DAFTAR PUSTAKA

Alzahrani, S.A. *et al.* (2025) "Prevalence of Language Delay in Children Under Five Years of Age in Taif , Saudi Arabia," *Cureus*, 17(6). Available at: <https://doi.org/10.7759/cureus.86960>.

- Badawieh, M. and Al-shamsi, A. (2023) "JOURNAL OF LANGUAGE The Factors That Impact The Speech Delay In The First Three Years Of A Child ' s Life," 19(1), pp. 13–20.
- Faradilah, A. *et al.* (2020) "The Association Between Breastfeeding Duration and Language Development Survey (LDS) Score in Children Aged 18 - 35 months," *Research Square*, pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-580559/v1> License:
- Feldman, H.M. *et al.* (2023) *Developmental-Behavioral Pediatrics*. Fifth Edit. Philadelphia: Elsevier.
- Hadiwijaya, M. (2022) "TREATMENTS AND THERAPY FOR SPEECH DELAY CHILDREN: A LITERARY STUDY," *Journal of Applied Linguistics*, 1(2), pp. 11–22.
- Istiqomah, A. *et al.* (2025) "LITERATURE REVIEW : KETERLAMBATAN BERBICARA (SPEECH DELAY) PADA BATITA," *Inovasi: Jurnal Sosial Humaniora dan Pendidikan*, 4(2).
- Jafar, E.S. *et al.* (2025) "PENGARUH INTERAKSI ORANGTUA-ANAK DAN SCREEN TIME TERHADAP KECENDERUNGAN KETERLAMBATAN PERKEMBANGAN," 6(2), pp. 116–128.
- Junaedah, T., Putriyanti, L. and Ngatmini (2024) "KETERLAMBATAN BICARA (SPEECH DELAY) ANAK USIA DINI USIA 4-5 TAHUN DI TK DI TK PERTIWI 25.10 KOTA TEGAL," *Edukasi Terkini: Jurnal Pendidikan Modern*, 6(4), pp. 89–97.
- Kumar, A. *et al.* (2022) "An Assessment of Risk Factors of Delayed Speech and Language in Children : A Cross-Sectional Study," *Cureus*, 14(9). Available at: <https://doi.org/10.7759/cureus.29623>.
- Liang, W. *et al.* (2023) "Speech and language delay in children : a practical framework for primary care physicians," *Singapore Medical Journal*, 64(12).
- Moges, F.Y., Mengistu, Z. and Tilahun, S.W. (2024) "Determinants of speech and language delay among children aged 12 months to 12 years at Yekatit 12 Hospital , Addis Ababa , Ethiopia : a case – control study," *BMC Pediatrics*, 24(393), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12887-024-04862-4>.
- Putri, A.K., NUgraheni, S.A. and Winarni, S. (2024) "A scoping review of risk factor analysis influencing speech and," *journal of Holistic Nursing Science*, 11(1), pp. 37–43. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.31603/nursing.v11i1.11185>.
- Razack, R. *et al.* (2025) "PREVALENCE AND RISK FACTORS OF SPEECH AND LANGUAGE DELAY AMONG 0 – 3-YEAR-OLD CHILDREN ATTENDING A WELL-BABY CLINIC IN A TERTIARY," *International Journal of Medicine and Public Health*, 15(3), pp. 2369–2372. Available at: <https://doi.org/10.70034/ijmedph.2025.3.436>.
- Rosdiana, I. *et al.* (2024) "Speech and language delay in Children : Effects of medical and nonmedical Risk Factors," *INDOJPMR*, 13(December), pp. 87–99.

- Rupert, J. *et al.* (2023) "Speech and Language Delay in Children," *American Family Physician*, 108(2), pp. 181–188.
- Sunderajan, T. and Kanhere, S. V (2019) "Speech and language delay in children : Prevalence and risk factors," *Journal of Family Medicine and Primary Care*, pp. 1642–1646. Available at: <https://doi.org/10.4103/jfmpe.jfmpe>.
- Tan, S., Mangunatmadja, I. and Wiguna, T. (2019) "Risk factors for delayed speech in children aged 1-2years," *Paediatrica Indonesiana*, 59(2), pp. 55–62.
- Vo, I. *et al.* (2025) "Objective Hearing Assessment in Children with Delayed Speech in Southern Nigeria : A Retrospective Analysis," *Scholars Journal of Applied Medical Sciences*, 6691(4), pp. 981–984.
- Voigt, R.G. *et al.* (2018) *Developmental and Behavioral Pediatrics*. 2nd ed. New York: American Academy of Pediatrics.

Case Report

Fahr Disease Presenting with Progressive Generalized Rigidity Symptomp: A Case Report in a 58 Year-Old Female

Annisa Yustin¹, Nikmatul Choiriyah²

1) Medical Profession Program, Faculty of Medicine, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya, Indonesia

2) Department of Neurology, Faculty of Medicine, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya, Indonesia

ABSTRACT

Fahr disease, also known as Primary Familial Brain Calcification (PFBC), is a rare neurodegenerative disorder characterized by bilateral intracranial calcifications, most commonly affecting the basal ganglia. Its clinical manifestations are heterogeneous, often leading to diagnostic challenges. We report a case of a 58-year-old female presenting with progressive generalized rigidity, dysphagia, dysarthria, and emotional instability over the course of one year. Physical examination revealed preserved motor strength and sensation, with hyporeflexia on deep tendon reflex assessment. Laboratory findings were largely within normal limits, except for mild hypokalemia and slight elevation of liver transaminases. Non contrast CT Scan of the head demonstrated bilateral, extensive and symmetrical calcifications involving the basal ganglia, thalamus, dentate nuclei, cerebellum, and bilateral occipital cortex, consistent with Fahr disease. No metabolic, infectious, or secondary causes of intracranial calcification were identified, supporting a diagnosis of idiopathic basal ganglia calcification. Management was supportive, including nasogastric tube placement, electrolyte correction, benzodiazepines, physiotherapy, and speech therapy. This case emphasizes the importance of recognizing characteristic radiological findings in patients with progressive neurological and neuropsychiatric symptoms to facilitate early diagnosis and appropriate management.

Keywords : Fahr disease, basal ganglia calcification, PFBC, neurodegenerative disorder

Correspondence : annisayustin28@gmail.com

ABSTRAK

Penyakit Fahr, yang juga dikenal sebagai Primary Familial Brain Calcification (PFBC), merupakan kelainan neurodegeneratif langka yang ditandai dengan kalsifikasi intrakranial bilateral, yang paling sering memengaruhi ganglia basalis. Manifestasi

klinisnya bersifat heterogen, sehingga sering kali menimbulkan tantangan diagnostik. Kami melaporkan kasus seorang wanita berusia 58 tahun yang datang dengan rigiditas umum yang progresif, disfagia, disartria, dan ketidakstabilan emosional selama satu tahun terakhir. Pemeriksaan fisik menunjukkan kekuatan motorik dan sensorik yang masih baik, dengan hiporefleksia pada penilaian refleks tendon dalam. Hasil laboratorium sebagian besar berada dalam batas normal, kecuali hipokalemia ringan dan sedikit peningkatan transaminase hati. Pemindaian computed tomography (CT) kepala tanpa kontras menunjukkan kalsifikasi yang luas, bilateral, dan simetris yang melibatkan ganglia basalis, talamus, nukleus dentatus, serebelum, dan korteks oksipital bilateral, yang konsisten dengan penyakit Fahr. Tidak ditemukan adanya penyebab metabolik, infeksi, maupun penyebab sekunder lainnya dari kalsifikasi intrakranial, sehingga mendukung diagnosis kalsifikasi ganglia basalis idiopatik. Penatalaksanaan yang diberikan bersifat suportif, meliputi pemasangan pipa nasogastrik, koreksi elektrolit, benzodiazepine, fisioterapi, dan terapi wicara. Kasus ini menekankan pentingnya mengenali temuan radiologis yang khas pada pasien dengan gejala neurologis dan neuropsikiatri yang progresif guna memfasilitasi diagnosis dini dan penatalaksanaan yang tepat.

Kata kunci : Penyakit Fahr, kalsifikasi ganglia basalis, PFBC, gangguan neurodegeneratif.

Korespondensi : annisayustin28@gmail.com

INTRODUCTION

Fahr disease is a rare neurodegenerative disorder characterized by bilateral calcification of the basal ganglia. The condition is commonly associated with genetic factors and is often inherited in a familial pattern. It was first described by the German neurologist Theodor Fahr in 1930. Over time, some researchers have considered the term “*Fahr disease*” to be imprecise in reflecting the anatomical and genetic characteristics of the condition. Consequently, a more accurate term, Primary Familial Brain Calcification (PFBC), was introduced in 2013 and has been widely adopted in genetic-based research over the past decade. Other earlier terms include *Idiopathic Basal Ganglia Calcification (IBGC)* and *Bilateral Striopallidodentate Calcinosis* (Batla and Tai, 2015; Carecchio, Mainardi and Bonato, 2023; Magrinelli *et al.*, 2025). Nevertheless, the term *Fahr disease* remains commonly used in the literature. (Balck, Klein and Westenberger, 2004) It is important to distinguish between Fahr disease and Fahr syndrome. Fahr disease refers to idiopathic intracranial calcification without an identifiable underlying cause. In contrast, Fahr syndrome is associated with disturbances in calcium metabolism. It is commonly observed in patients with conditions such as hypoparathyroidism, chronic hypocalcemia, vitamin D deficiency, and chronic kidney disease. These metabolic abnormalities lead to secondary intracranial calcifications. (Batla and Tai, 2015)

The global prevalence of Fahr disease is estimated to be less than 1 per 1,000 individuals. (Carecchio, Mainardi and Bonato, 2023). The condition most frequently presents between the ages of 40 and 60 years, although earlier onset has also been reported. The disease course is typically progressive and tends to worsen with increasing age. (Wazir *et al.*, 2023) The clinical manifestations of Fahr disease are highly heterogeneous, making diagnosis particularly challenging. (Batla and Tai, 2015) Non-contrast CT Scan remains the gold standard imaging modality for detecting intracranial calcifications due to its superior sensitivity compared to magnetic resonance imaging (MRI). (Balck, Klein and Westenberger, 2004; Batla and Tai, 2015)

CASE REPORT

A 58-year-old woman was admitted to Dr. Soegiri Regional Hospital with a chief complaint of generalized body rigidity, predominantly affecting the neck region. The patient also reported difficulty swallowing (dysphagia) and difficulty opening her mouth. The rigidity had been present for approximately one year and had progressively worsened over time. There was no history of penetrating injury or trauma. A history of seizures was unknown. There was no known family history of similar illness.

According to her family, the patient had been previously healthy and active during her younger years, with the onset of symptoms occurring later in life. Since the onset of

illness, she had developed emotional lability and increased irritability. The patient also complained of headache and difficulty speaking.

On physical examination, the patient was afebrile with a blood pressure of 125/80 mmHg, heart rate of 90 beats per minute, and oxygen saturation of 98% on room air. Her Glasgow Coma Scale (GCS) score was E4V5M6. Motor strength and sensory examination were within normal limits. Deep tendon reflexes were hyporeflexic, and the Babinski reflex was negative. Further neurological examination was limited due to the patient's condition and poor cooperativeness.

Laboratory investigations revealed normal serum sodium (143 mEq/L; reference range 136–145 mEq/L) and normal chloride levels (101 mEq/L; reference range 98–106 mEq/L). Serum potassium was slightly decreased at 3.3 mEq/L (reference range 3.5–5.0 mEq/L). Liver function tests showed mild elevation of transaminases, with aspartate aminotransferase (AST) of 59 U/L (reference <37 U/L) and alanine aminotransferase (ALT) of 55 U/L (reference <39 U/L). Renal function and complete blood count were within normal limits. Electroencephalography (EEG) was not performed.

A non-contrast computed tomography (CT) scan of the head demonstrated extensive bilateral and symmetrical calcifications involving the corona radiata, basal ganglia, dentate nuclei, globus pallidus, putamen, thalamus, cerebellum, and bilateral occipital cortices, suggestive of Fahr disease. There was no evidence of midline shift, osteolytic or osteoblastic lesions, ischemia, or hemorrhage.

The patient was managed with nasogastric tube (NGT) insertion, potassium correction, intravenous diazepam, physiotherapy, and speech therapy.

DISCUSSION

Intracranial calcifications are frequently detected incidentally on neuroimaging in both pediatric and adult populations. Based on etiology, intracranial calcifications can be classified into three major categories: physiological (age-related) calcification, genetic pathological calcification, and secondary (non-genetic) pathological calcification. The distinction between physiological and pathological calcifications is primarily based on the onset of symptoms, anatomical distribution, and radiological characteristics. (Magrinelli *et al.*, 2025)

Physiological intracranial calcifications are generally asymptomatic and may be present even in childhood, with increasing prevalence with age. On CT scan, they are typically located in the choroid plexus, falx cerebri, pineal gland and occasionally the basal ganglia, with patterns that may appear punctate, coarse, or curvilinear. (Batla and Tai, 2015)

In contrast, secondary pathological calcifications (Fahr syndrome) are associated with identifiable underlying conditions such as TORCH infections, parathyroid disorders, toxic exposures, or chemotherapy. These conditions demonstrate distinct radiological

patterns and clinical contexts that differentiate them from physiological calcifications and Fahr disease (Batla & Tai, 2015). In the present case, the onset of symptoms occurred at the age of 58 years, and no secondary causes were identified, suggesting a primary (idiopathic) pathological calcification, although confirmation relies on imaging findings. (Batla and Tai, 2015) In the present case, the onset of symptoms occurred at the age of 58 years, and no secondary causes were identified, suggesting a primary (idiopathic) pathological calcification, although confirmation relies on imaging findings.

One of the primary genetic causes of intracranial calcification is Fahr disease, also known as *Idiopathic Basal Ganglia Calcification*. This condition is most commonly inherited in an autosomal dominant pattern, although autosomal recessive cases have also been reported. Neuroimaging, particularly CT scan, typically reveals bilateral calcification of the basal ganglia, especially the globus pallidus, often extending to other regions. (Carecchio, Mainardi and Bonato, 2023) From a pathophysiological perspective, Fahr disease is associated with genetic mutations that lead to abnormal calcium deposition in brain tissue, appearing as hyperdense areas on CT imaging. The most commonly affected regions include the globus pallidus, thalamus, and dentate nucleus, although calcifications may also be observed in the internal capsule, cerebral cortex, subcortical white matter, and brainstem. (Chen *et al.*, 2023; Magrinelli *et al.*, 2025) In this patient, the CT findings were consistent with the typical pattern of Fahr disease.

The clinical manifestations in this case were heterogeneous, including both non-motor and motor symptoms. Motor symptoms included progressive generalized rigidity and speech impairment, while non-motor symptoms included headache and emotional changes. This combination may be explained by calcifications involving the basal ganglia and dentate nucleus, which disrupt neurotransmitter pathways and extrapyramidal circuits. (Mufaddel, 2014)

These findings are consistent with the broad clinical spectrum of Fahr disease, which ranges from asymptomatic cases to complex neurological presentations. Motor symptoms may include parkinsonism (bradykinesia, rigidity, tremor, postural instability), dystonia, ataxia, seizures, and chorea, while non-motor manifestations may include cognitive decline, memory impairment, executive dysfunction, headache, and psychiatric symptoms such as depression, anxiety, psychosis, and personality changes. (Balck, Klein and Westenberger, 2004; Mufaddel, 2014)

Physical examination findings are often unremarkable, with preserved motor strength and sensory function. Laboratory investigations are primarily useful to exclude differential diagnoses, particularly metabolic causes such as abnormalities in serum calcium, phosphate, alkaline phosphatase, and thyroid hormones (Balck, Klein and Westenberger, 2004). In this case, neurological examination was largely normal except for hyporeflexia, which may be attributed to age-related changes or basal ganglia

dysfunction.(Mufaddel, 2014; Taams *et al.*, 2023) Laboratory findings showed mild elevation of liver transaminases, which are likely incidental and not directly related to the pathogenesis of Fahr disease. Other laboratory parameters were within normal limits.

Due to the wide variability in clinical manifestations and the evolving understanding of the disease, diagnosis can be challenging. However, Fahr disease can be diagnosed based on characteristic bilateral intracranial calcifications on CT scan in the absence of identifiable secondary causes.(Chen *et al.*, 2023; Magrinelli *et al.*, 2025)

Management of Fahr disease remains largely symptomatic and supportive, as no definitive therapy has been established to halt or reverse calcification. Treatment options include levodopa for parkinsonian symptoms, trihexyphenidyl or botulinum toxin for dystonia, antiepileptic drugs for seizures, antidepressants for mood disorders, and cautious use of antipsychotics for psychiatric symptoms. (Peters *et al.*, 2020; Magrinelli *et al.*, 2025)

Emerging therapies have been proposed, including bisphosphonates such as alendronate and etidronate, which may inhibit calcium deposition by affecting osteoclastic activity. Although promising, current evidence remains limited and requires further investigation. (Peters *et al.*, 2020; Magrinelli *et al.*, 2025)

Regular follow-up with a neurologist is strongly recommended to monitor disease progression. Physiotherapy, occupational therapy, and speech therapy play crucial roles in maintaining functional independence and quality of life. In advanced cases, nutritional status should be closely monitored due to the risk of malnutrition. Patient education and family support are also essential components of comprehensive care. (Peters *et al.*, 2020; Magrinelli *et al.*, 2025)

CONCLUSION

Fahr disease is a rare cause of pathological intracranial calcification that can present with highly variable and progressive clinical manifestations. This case highlights the importance of considering Fahr disease in elderly patients presenting with chronic rigidity, bulbar symptoms, and behavioral changes, particularly when symptoms are progressive and not accompanied by identifiable metabolic abnormalities.

Non-contrast head computed tomography (CT) plays a crucial role in establishing the diagnosis through the identification of characteristic bilateral basal ganglia calcifications. Early recognition of the clinical and radiological features of Fahr disease is essential to prevent diagnostic delay and to facilitate appropriate supportive management planning.

REFERENCES

- Balck, A., Klein, C. and Westenberger, A. (2004) “Primary Familial Brain Calcification Overview.”
- Batla, A. and Tai, X.Y. (2015) “Fahr disease: current perspectives,” *Orphan Drugs: Research and Reviews*, p. 43. Available at: <https://doi.org/10.2147/ODRR.S63388>.
- Carecchio, M., Mainardi, M. and Bonato, G. (2023) “The clinical and genetic spectrum of primary familial brain calcification,” *Journal of Neurology*, 270(6), pp. 3270–3277. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00415-023-11650-0>.
- Chen, S.-Y. *et al.* (2023) “The Genetics of Primary Familial Brain Calcification: A Literature Review,” *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), p. 10886. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms241310886>.
- Magrinelli, F. *et al.* (2025) “Basal ganglia calcification: ‘Fahr’s disease,’” *Practical Neurology*, 25(6), pp. 520–526. Available at: <https://doi.org/10.1136/pn-2024-004258>.
- Mufaddel, A.A. (2014) “Familial idiopathic basal ganglia calcification (Fahr’s disease),” 19, pp. 171–177.
- Peters, M.E.M. *et al.* (2020) “Mechanisms of calcification in Fahr disease and exposure of potential therapeutic targets,” *Neurology Clinical Practice*, 10(5), pp. 449–457. Available at: <https://doi.org/10.1212/CPJ.0000000000000782>.
- Taams, N.E. *et al.* (2023) “Age-Related Changes in Neurologic Examination and Sensory Nerve Amplitude in the General Population,” *Neurology*, 101(13). Available at: <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000207665>.
- Wazir, M.H. *et al.* (2023) “Fahr’s Syndrome: A Rare Case Presentation,” *Cureus* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.7759/cureus.47812>.