

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengukuran intensitas nyeri merupakan aspek krusial dalam pelayanan medis guna menentukan penanganan klinis yang tepat [1]. Selama ini, pengukuran rasa nyeri di lingkungan klinis masih bersifat subjektif karena sangat bergantung pada pelaporan mandiri secara verbal seperti *Visual Analogue Scale* (VAS) atau *Numeric Rating Scale* (NRS) [2]. Metode konvensional tersebut memiliki keterbatasan yang signifikan, terutama apabila diimplementasikan pada pasien non-verbal seperti bayi, penderita gangguan kognitif, atau pasien dalam kondisi pasca-operasi[3]. Penilaian yang bersifat subjektif ini berisiko memicu terjadinya bias evaluasi yang berujung pada penanganan medis yang tidak optimal, berupa kurangnya tindakan (*under-treatment*) maupun pemberian tindakan yang berlebihan (*over-treatment*).

Sebagai solusi adaptif terhadap keterbatasan tersebut, pengembangan sistem deteksi nyeri objektif berbasis parameter fisiologis menjadi fokus utama dalam riset biomedis dan teknologi informasi terkini. Salah satu sinyal biometrik yang dinilai paling sensitif adalah *Electrodermal Activity* (EDA) [4]. EDA mengukur perubahan aktivitas kelenjar keringat yang dikendalikan secara langsung oleh sistem saraf simpatis tanpa bisa dimanipulasi secara sadar oleh pasien. Karena sistem saraf simpatis merespons stresor fisik maupun emosional, EDA dianggap sebagai indikator yang sangat responsif terhadap perubahan intensitas nyeri secara *real time* [5].

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengintegrasikan parameter EDA untuk otomatisasi deteksi nyeri dalam berbagai skenario klinis. Chen et al. [2] menyusun tinjauan komprehensif mengenai potensi sensor *wearable* untuk pelacakan nyeri dan stres, yang menegaskan fungsionalitas EDA sebagai indikator aktivitas saraf simpatis. Selanjutnya, Kong et al. [5] berhasil mengembangkan sistem deteksi nyeri akut tingkat tinggi (*high-level acute pain*) waktu nyata dengan memanfaatkan sensor EDA pergelangan tangan (*wrist-worn*) yang terintegrasi dengan perangkat *smartphone* untuk mobilitas pasien. Di sisi lain, untuk mengatasi keterbatasan komunikasi pada subjek anak-anak, Susam et al.[3] merancang sistem penilaian nyeri otomatis yang menggabungkan data fisiologis EDA dan fusi data video ekspresi wajah berbasis

algoritma *machine learning*, yang terbukti secara signifikan meningkatkan akurasi diskriminasi perilaku nyeri pasca operasi.

Meskipun perangkat keras nirkabel semakin portabel dan mudah diakses, implementasi EDA secara luas masih dihadapkan pada tantangan teknis yang masif. Karakteristik sinyal EDA sangat sensitif terhadap gerakan fisik subjek yang memicu *noise* atau artefak gerakan (*motion artifacts*) [6]. Selain itu, terdapat variabilitas kondisi biologis kulit antar-individu serta perbedaan pola respons yang dipengaruhi oleh faktor gender (*female-male differences*) [7], sehingga menyulitkan standarisasi ambang batas (*threshold*) pengukuran universal. Oleh karena itu, penelitian berbentuk *Systematic Literature Review* (SLR) ini sangat perlu dilakukan guna memetakan tantangan teknis tersebut sekaligus mengeksplorasi peluang solusinya melalui ekstraksi fitur tingkat lanjut, penanganan *noise* otomatis, dan metode kecerdasan buatan modern seperti *deep learning* serta transparansi interpretasi model [8,9]. Perbedaan mendasar penelitian ini dengan tinjauan literatur terdahulu adalah fokus penelaahannya yang lebih spesifik pada arsitektur fusi sensor multimodal, pemanfaatan indeks fitur diferensial (*dphEDA* dan *MTVSymp*), otomatisasi mitigasi *noise* gerakan, eksplorasi *Explainable AI*, serta kelayakan implementasinya pada populasi klinis spesifik.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan gejala klinis dan kendala teknis yang telah dipaparkan pada latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini ditulis dalam bentuk pertanyaan penelitian (*research questions*) sebagai berikut:

RQ1: Apa saja parameter atau fitur spesifik dari sinyal EDA yang paling sering dan efektif digunakan dalam literatur untuk mengidentifikasi intensitas tingkat nyeri secara objektif?

RQ2: Bagaimana pengaruh artefak gerakan, variabilitas kondisi fisik kulit, serta faktor gender terhadap akurasi model deteksi nyeri berbasis EDA, dan bagaimana literatur terdahulu mengatasi kendala *noise* tersebut?

RQ3: Bagaimana tren perkembangan penggunaan ekosistem perangkat keras (*wearable devices* dan *smartphone*) serta transparansi model (*Explainable AI*) dalam

pengumpulan dan interpretasi data EDA untuk deteksi nyeri pada populasi klinis spesifik?

1.3. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menyintesis tantangan teknis serta peluang implementasi sistem deteksi nyeri objektif berbasis *Electrodermal Activity* (EDA) melalui tinjauan literatur yang sistematis. Manfaat Penelitian Bagi Tenaga Medis, memberikan referensi ilmiah mengenai tingkat validitas, batasan, transparansi keputusan klinis model cerdas, dan responsivitas sensor otonom untuk meminimalkan kesalahan diagnosis intensitas nyeri pasien di rumah sakit. Bagi Bidang Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, menjadi landasan teoritis dan rekomendasi konseptual dalam merancang arsitektur kecerdasan buatan, teknik pra-pemrosesan sinyal digital, mitigasi artefak gerakan otomatis, serta model fusi data multimodal yang lebih kokoh terhadap *noise*.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian tinjauan literatur sistematis (*Systematic Literature Review*) ini difokuskan pada pemetaan komparatif mengenai tantangan teknis dan peluang implementasi teknologi deteksi nyeri objektif berbasis *Electrodermal Activity* (EDA). Guna menjaga kedalaman analisis dan menghindari perluasan pembahasan yang tidak relevan, studi ini membatasi ruang lingkup kajian pada artikel ilmiah bereputasi internasional yang diterbitkan dalam rentang waktu lima tahun terakhir (2021–2026). Sinyal fisiologis yang dianalisis secara mendalam dibatasi pada aktivitas konduktansi kulit (EDA), baik sebagai sensor tunggal maupun dalam konteks fusi data multimodal yang terintegrasi dengan parameter pendukung seperti *Electrocardiogram* (ECG) dan pengenalan ekspresi wajah. Lebih lanjut, analisis tantangan teknis dalam penelitian ini dititikberatkan pada mitigasi artefak gerakan (*motion artifacts*), penyelarasan waktu fusi sensor, serta kendala komputasi pada arsitektur perangkat *wearable*. Sementara itu, eksplorasi peluang teknologi informasi dibatasi pada penerapan algoritma pemrosesan sinyal digital modern (seperti fitur diferensial *dphEDA* dan *MTVSymp*), model *machine learning* (*supervised* dan *unsupervised*), arsitektur *deep learning* kontinu (seperti *CrossMod-Transformer*), serta kerangka kerja *Explainable Artificial Intelligence* (XAI). Adapun populasi subjek klinis yang dijadikan acuan dalam sintesis data dibatasi pada kelompok spesifik yang mencakup populasi anak-anak, tindakan

dental (kedokteran gigi), dan pemantauan ginekologi, tanpa melakukan pengambilan data primer secara langsung di lapangan maupun implementasi perangkat keras.

1.5. Keterbaruan

Keterbaruan penelitian ini terletak pada analisis sintesis komprehensif mengenai pergeseran metodologi deteksi nyeri, dari yang awalnya bertumpu pada algoritma pembelajaran mesin tradisional berbasis fitur statistik manual menuju penggunaan arsitektur pembelajaran mendalam (*deep learning*) kontinu seperti *CrossMod-Transformer* yang terintegrasi dengan kerangka kerja Explainable Artificial Intelligence (XAI) untuk transparansi klinis [10,11]. Berbeda dengan ulasan pustaka terdahulu yang bersifat generik, penelitian ini membedah secara spesifik pemanfaatan karakteristik diferensial sinyal EDA, seperti derivatif komponen fase (*dphEDA*) dan indeks spektral *time-varying* (*MTVSymp*), diimbangi dengan algoritma mutakhir dalam mendeteksi dan mengeliminasi artefak gerakan secara otomatis (*automated motion artifact detection*) menggunakan pendekatan *supervised* maupun *unsupervised learning* [12]. Selain itu, studi ini menawarkan perspektif mengenai kelayakan implementasinya pada perangkat nirkabel pergelangan tangan (*wrist-worn*) yang terhubung dengan *smartphone* untuk mengotomatisasi penilaian nyeri pada populasi klinis yang variatif (seperti pasien dental, menstruasi, dan anak-anak) [13].