

BAB I – PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sistem Internet Of Things berawal dari pelaksanaan perintah berdasarkan deterministik rule-based, Namun, model lama bersifat statis, tidak dapat memahami konteks perintah pengguna secara semantic dan memiliki kendala seperti latensi tinggi dan ketergantungan pada server. dengan integrasi model kecerdasan buatan seperti LLM, pengguna dapat mengekspresikan niat melalui natural language interface, [\[1\]](#) [\[2\]](#) secara garis besar, melalui input intent oleh user melalui GUI, Intent Translation framework menerjemahkan dan mengubah intent menjadi ‘machine-executable policies’ dengan bantuan semantic parse atau LLM. Namun, penggunaan LLM sendiri masih bersifat eksperimental dan menghadapi tantangan terkait akurasi semantic dan keamanan konfigurasi.

Dalam dunia modern, Internet Autonomous Of Things (IoAT) adalah paradigma teknologi baru dimana nirkabel perangkat, agen digital pintar, dan mesin menggunakan artificial intelligence (AI) dan algoritma deep learning untuk pengerjaan tugas dan pengambilan keputusan dengan minimal atau tidak ada intervensi manusia. IoAT bersifat otonom yakni bisa beroperasi secara independent berdasarkan keadaan terkini dan sensor lingkungan, terkoneksi secara peer-to-peer memungkinkan pengiriman data dan koordinasi aksi antar agen melalui mesh, dan edge computing yang dimana perangkat IoAT sering memproses informasi secara local di edge untuk menjamin latency rendah. IoAT diekspetasikan bisa menjadi teknologi transformative dalam domain transportasi, sekuritas, perawatan kesehatan, smart-home, aerospace, bahkan untuk deep sea dan space exploration.

Di sisi lain, penelitian mengenai Brain-Computer-Interface [\[3\]](#) menunjukkan bahwa EEG-based BCI mampu menjeremahkan sinyal otak menjadi control perangkat pintar melalui kombinasi dari signal preprocessing dan komputasi intelligence. Namun, banyak pendekatan BCI bergantung pada klasifikasi diskret terbatas dan memerlukan perhatian kelelahan kognitif operator, sehingga membatasi efektivitas untuk sistem berskala besar.

[\[11\]](#) Perkembangan swarm robotics menunjukkan bahwa multi-agent dapat beroperasi secara desentralisasi melalui aturan lokal dan menghasilkan emergent behavior swarm yang tidak secara eksplisit ditentukan, melainkan muncul dari interaksi local. Tes pertama pada tahun 1990-2000 menunjukkan swarm berkemampuan self-organize, dan penelitian terkini (2020-2025) berkemampuan self-learning sehingga relevan diterapkan dalam ekosistem IoAT berskala besar.

Penelitian terkait mengenai integrasi human-swarm cybernetic. [\[12\]](#) menyediakan inti konsep dalam mendesain sistem human-swarm yang saling bertukar informasi, manusia mengirim sinyal via BCI atau fNIRS, lalu swarm memberi umpan balik melalui mekanisme haptic atau visual. menggabungkan BCI, IoT translator, swarm intelligence, dan human-swarm feedback membuka kemungkinan control desentralisasi pada kelompok IoAT melalui pikiran manusia.

1.3 Rumusan Masalah dan Gap Penelitian

- (1) Permasalahan pada sistem IoT berbasis cloud: Sebagian besar implementasi masih bergantung pada komputasi pusat dan mapping database statis sehingga rentan terhadap latensi, bottleneck, dan single point of failure. Selain itu, sebagian besar sistem IoT masih belum memahami perintah pengguna secara adaptif di luar konfigurasi statis.
- (2) Keterbatasan kerangka integrasi BCI-IoAT Swarm dan jurnal yang sepenuhnya mengendalikannya secara otonom. [\[7\]](#) [\[16\]](#) [\[18\]](#) [\[25\]](#), Sebagian besar penelitian BCI saat ini berfokus pada control single-agent, penggunaan klasifikasi kelas diskret/kontinu dan belum ada pendekatan untuk menjerumahkan output neural decoder menjadi niat semantic yang dapat diinterpretasi oleh collective swarm behavior secara adaptif. sampai saat ini, tidak ditemukan penelitian yang mengintegrasikan BCI-based EEG untuk pengendalian IoAT dan swarm intelligence secara desentralisasi.
- (3) Walaupun swarm robotic modern berhasil berkoordinasi antar agen melalui model swarm dan multi-agent reinforcement learning, Namun, sistem belum memiliki kemampuan penuh dalam pemahaman semantic akan niat manusia.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab 1 pertanyaan utama: Sejauh mana neural-signal-based BCI dalam mengendalikan perangkat cerdas, pendekatan-pendekatan terkini, dan potensi menuju desentralisasi control IoAT dan swarm intelligence.

1.4. Manfaat penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat berupa: (1) kontribusi akademik dalam memahami integrasi BCI–IoAT–Human–Swarm interaction; (2) memberikan gambaran bagi penelitian lanjutan mengenai interaksi adaptif antara perangkat pintar dengan manusia (3) meningkatkan “alignment” antara niat manusia dengan perilaku otonom dari swarm intelligence, (4) sebagai referensi jurnal pertama yang meneliti integrasi IoAT dengan BCI-based EEG dengan menggabungkan lintas-domain.

1.5. Batasan penelitian

Penelitian ini dibatasi pada analisis literatur BCI non-invasif dan sebagian kecil dari semi-invasive, computational intelligence untuk decoding intent, translator framework IoT, mesh, federated learning, dan prinsip swarm desentralisasi tanpa implementasi teknis, eksperimen EEG, atau perancangan sistem secara penuh.