

POTENSI IOT DALAM INDUSTRI 4.0

Adib Zilham Fadillah, Rahmad Gunawan

Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Riau

Jalan. Tuanku Tambusai Kota Pekanbaru, Indonesia

200401069@student.umri.ac.id

ABSTRAK

Penerapan Internet of Things (IoT) dalam Industri 4.0 telah menjadi fokus utama dalam perkembangan teknologi industri modern. Dengan memanfaatkan jaringan sensor, perangkat terkoneksi, dan sistem cerdas, IoT membuka peluang baru untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan inovasi di berbagai sektor industri. Studi literatur ini mengeksplorasi potensi penerapan IoT dalam berbagai sektor seperti kesehatan, pertanian, telekomunikasi, ketenagalistrikan, kecerdasan buatan, smart home, dan data center. Tujuan utama dari integrasi IoT dalam Industri 4.0 adalah untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kemudahan dalam melaksanakan berbagai tugas. Metode yang digunakan dalam studi ini melibatkan analisis dan sintesis sumber daya yang relevan mengenai penerapan IoT dalam sektor-sektor industri tersebut. Keberlanjutan dalam pengembangan teknologi ini menjanjikan munculnya inovasi baru yang dapat menghasilkan kemajuan signifikan di berbagai sektor industri, termasuk peningkatan hasil dan efektivitas dalam pertanian. Dengan perkembangan teknologi ini, Industri 4.0 memiliki potensi untuk mencapai tingkat kematangan yang lebih tinggi, membentuk lanskap industri yang lebih cerdas, adaptif, dan terkoneksi.

Kata kunci : *Internet of Things, Industri 4.0, Potensi, Efisiensi*

1. PENDAHULUAN

Era Industri 4.0 menggambarkan fase baru dalam evolusi sektor industri, yang dipacu oleh penerapan teknologi digital secara menyeluruh dalam pengelolaan dan produksi. Kemajuan dalam teknologi seperti penggunaan sensor cerdas, komputasi awan, dan konektivitas yang andal membuka peluang untuk mengintegrasikan Internet of Things (IoT) sebagai elemen kunci dalam kerangka Industri 4.0[1]

IoT memberikan kemampuan bagi perusahaan untuk meraih dan menganalisis data secara instan dari berbagai sumber, termasuk sensor, peralatan, dan perangkat yang terkoneksi. Dengan melakukan peningkatan dalam pemantauan dan manajemen aset, perusahaan dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi durasi mesin yang tidak beroperasi, dan mengoptimalkan jalur rantai pasokan[2]

Pengenalan IoT menciptakan peluang baru dalam pengembangan model bisnis. Layanan yang menggunakan dasar IoT, seperti pemantauan dari jarak jauh, perawatan yang dapat diprediksi, dan pemeliharaan berdasarkan kondisi, tidak hanya dapat menyediakan sumber pendapatan tambahan, tetapi juga memberikan nilai tambah kepada pelanggan.[3]

Walaupun memiliki potensi yang positif, penelitian terhadap IoT dalam Industri 4.0 juga dihadapkan pada sejumlah tantangan, terutama dalam hal keamanan. Dengan bertambahnya jumlah perangkat yang terhubung, perlindungan data dan keamanan jaringan menjadi aspek yang sangat penting. Untuk itu, eksplorasi ini perlu melibatkan strategi keamanan yang kuat untuk melindungi data yang bersifat sensitif dan memastikan kestabilan operasional.[4]

Partisipasi aktif dari pemerintah dan organisasi industri menjadi krusial dalam mendukung

perkembangan dan penerimaan IoT dalam kerangka Industri 4.0. Pembentukan standar yang konsisten dan regulasi yang mendukung dapat membantu mengatasi sejumlah hambatan, memastikan pertumbuhan yang aman, dan mendukung kemajuan yang berkelanjutan[2]

Penelitian ini dilakukan melalui penjelajahan literatur dengan tujuan untuk memperoleh dasar teoritis yang dapat mendukung pendekatan terhadap masalah yang sedang atau akan diselidiki. Rujukan pada landasan teori tersebut menjadi langkah awal yang memungkinkan peneliti untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai fokus penelitian, sejalan dengan kerangka berpikir ilmiah. Selain itu, tinjauan literatur juga berperan dalam memberikan wawasan terhadap langkah-langkah yang sudah diambil oleh peneliti lain sebelumnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian IoT

Internet of Things (IoT) ialah suatu konsep dimana objek atau perangkat fisik di sekitar kita saling terkoneksi dan dapat berkomunikasi melalui jaringan internet[5]. Gagasan intinya adalah memberikan kemampuan kepada objek-objek ini untuk mengumpulkan dan menukar data. Oleh karena itu, IoT menciptakan suatu ekosistem di mana perangkat elektronik, kendaraan, bangunan, dan objek lain dapat mengumpulkan dan menukar data guna meningkatkan efisiensi, kenyamanan, dan pelayanan.

2.2. Industri 4.0

Industri 4.0 mengacu pada evolusi terkini dalam sektor industri, yang dicirikan oleh penyatuhan teknologi digital, otomatisasi, dan keterhubungan yang erat dalam rangkaian produksi. Pendekatan ini

mencakup penggunaan berbagai teknologi termasuk Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan, analisis data, komputasi awan, dan teknologi lainnya, dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan inovasi dalam ranah industri[6]

2.3. Sejarah Perkembangan IoT

Sejarah perkembangan Internet of Things (IoT) dimulai pada era 1960-an dan 1970-an dengan kemajuan koneksi jaringan, membentuk dasar bagi perangkat untuk berkomunikasi global. Pada fase awal, perkembangan sensor pintar menjadi langkah penting, memungkinkan perangkat untuk mengukur dan mengumpulkan data dari sekitarnya. Selanjutnya, protokol komunikasi efisien seperti TCP/IP dan Zigbee digunakan untuk mengelola koneksi antarperangkat IoT. Dalam konteks peningkatan jumlah perangkat terhubung di seluruh dunia, implementasi Internet Protokol Versi 6 (IPv6) menjadi krusial[7]

Perkembangan mikrokontroler dan kapabilitas komputasi edge memungkinkan perangkat untuk melakukan pemrosesan data secara lokal. Pada tahap berikutnya, integrasi kecerdasan buatan dan analisis data semakin meningkatkan kemampuan pemrosesan dan pemahaman data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT. Seiring berjalanannya waktu, fenomena IoT terus berkembang sebagai motor penggerak utama dalam transformasi digital di berbagai sektor industri dan aspek kehidupan sehari-hari[8]

2.4. Arsitektur dan Komponen IoT

Konsep Internet of Things (IoT) melibatkan keterhubungan dan pertukaran data melalui internet antara berbagai perangkat fisik, kendaraan, bangunan, dan objek lainnya[2]. Untuk mencapai tujuan ini, arsitektur dan komponen IoT biasanya melibatkan beberapa elemen utama. Berikut ini adalah gambaran umum tentang arsitektur dan komponen utama yang terdapat dalam ekosistem IoT:

a. Perangkat Edge (Edge Devices)

Sensor dan Aktuator: Perangkat sensor mengumpulkan data fisik dari lingkungan, seperti suhu, kelembaban, cahaya, atau gerakan, sementara aktuator bertanggung jawab untuk mengontrol perangkat fisik berdasarkan perintah yang diterima.

Mikrokontroler dan Mikroprosesor: Hardware kecil yang dapat memproses informasi di lokasi (di tepi jaringan) sebelum mengirimkannya ke server atau cloud.

b. Jaringan (Network)

Protokol Komunikasi: Protokol seperti MQTT, CoAP, atau HTTP digunakan untuk mentransfer data antara perangkat dalam jaringan IoT. Jaringan Nirkabel (Wireless Networks): Termasuk Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRa, atau NB-IoT, memungkinkan perangkat terhubung ke internet tanpa kabel.

c. Gateway

IoT Gateway: Bertindak sebagai perantara antara perangkat edge dan cloud, mampu memproses, menganalisis, dan menyaring data sebelum dikirimkan ke cloud. Gateway juga mengelola komunikasi antar perangkat di jaringan lokal.

Cloud:

d. Cloud

Server dan Infrastruktur Cloud: Tempat penyimpanan data, pengolahan, dan komputasi. Data dari perangkat IoT dikirim ke cloud untuk dianalisis dan disimpan. Layanan cloud seperti AWS IoT, Google Cloud IoT, atau Azure IoT menyediakan infrastruktur yang mendukung pengembangan dan implementasi solusi IoT.

e. Aplikasi dan Layanan

Aplikasi IoT: Memberikan antarmuka untuk pengguna akhir atau sistem memantau dan mengontrol perangkat IoT.

Layanan: Termasuk manajemen perangkat, keamanan, dan analisis data yang mendukung fungsi keseluruhan sistem IoT

f. Keamanan

Enkripsi dan Otentifikasi: Melindungi data yang dikirim antar perangkat dan cloud. Manajemen Akses: Mengendalikan hak akses ke data dan perangkat.

g. Manajemen Perangkat (Device Management)

Pengelolaan Perangkat: Menyediakan fungsionalitas mendaftarkan, mengkonfigurasi, dan memantau perangkat IoT.

h. Analisis dan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence - AI)

Analisis Data: Menggunakan teknik analisis data untuk mendapatkan wawasan lebih dalam dari data yang dikumpulkan. Machine Learning (ML): Menerapkan algoritma machine learning untuk memprediksi tren atau perilaku berdasarkan data yang diterima.

2.5. Potensi IoT dalam Industri 4.0

IoT dalam Industri 4.0 membawa manfaat melalui pemantauan waktu nyata dan pengendalian otomatis pada proses produksi, optimalisasi rantai pasokan dengan visibilitas menyeluruh, pemeliharaan prediktif guna mencegah kerusakan mesin, serta fleksibilitas produksi yang disesuaikan dengan pesanan. Selain itu, penerapan IoT juga meningkatkan aspek keselamatan kerja melalui pemantauan lingkungan dan pelatihan virtual, mendukung efisiensi energi, manajemen karbon, serta memfasilitasi integrasi teknologi Cyber-Physical Systems (CPS). Analisis big data dan kecerdasan buatan menjadi kunci dalam pengambilan keputusan berbasis data, prediksi pasar, serta peningkatan keamanan dan perlindungan data dalam lingkungan Industri 4.0[1]

2.6. Aplikasi dan Kasus penggunaan IoT

Aplikasi dan kasus penggunaan Internet of Things (IoT) mencakup berbagai sektor dan

memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi operasional, pemantauan, dan pengambilan keputusan. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi dan kasus penggunaan IoT:

a. Kesehatan

Pemantauan pasien menjadi lebih efektif melalui penerapan Internet of Things (IoT). Perangkat IoT digunakan untuk memonitor kondisi pasien secara real-time, termasuk data vital yang dapat segera dikirimkan kepada penyedia layanan kesehatan. Smartwatches dan fitness trackers juga berkontribusi dengan melacak aktivitas fisik, detak jantung, dan pola tidur pasien. Integrasi teknologi IoT dalam bidang kesehatan tidak hanya meningkatkan pemantauan kondisi medis tetapi juga memberikan data berharga untuk perawatan yang lebih personal dan efisien[5]

b. Manufaktur

Dalam industri manufaktur, penerapan Internet of Things (IoT) memiliki dampak yang signifikan. Sensor pada peralatan produksi digunakan untuk mendeteksi kerusakan atau kebutuhan perawatan, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi produksi. Pemantauan real-time pada rantai pasokan bertujuan untuk memastikan ketersediaan bahan baku dan mengoptimalkan distribusi[9]

c. Transportasi

Dalam industri transportasi, Internet of Things (IoT) memainkan peran yang sangat penting. Sensor pada kendaraan dan dalam logistik digunakan untuk melacak lokasi, memantau kondisi mesin, dan menjadwalkan pemeliharaan armada. Selain itu, penerapan sistem transportasi pintar dengan menggunakan sensor dan data real-time bertujuan untuk meningkatkan efisiensi transportasi umum dan mengatasi kemacetan lalu lintas. Oleh karena itu, integrasi IoT dalam sektor transportasi tidak hanya memantau dan meningkatkan keandalan armada, tetapi juga mengoptimalkan keseluruhan sistem transportasi untuk mendukung mobilitas yang lebih efisien[10]

d. Pertanian

Dalam sektor pertanian, pemanfaatan Internet of Things (IoT) memberikan solusi inovatif. Pertanian presisi menggunakan sensor dan drone untuk memonitor tanah, cuaca, dan pertumbuhan tanaman dengan tujuan meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan sumber daya. Sistem irigasi otomatis yang menggunakan sensor juga digunakan untuk mengoptimalkan pola irigasi sesuai dengan kondisi tanah. Dengan menerapkan teknologi IoT ini, pertanian dapat menjadi lebih efektif dan berkelanjutan melalui pengelolaan yang lebih cerdas dan responsif terhadap variasi lingkungan[11]

e. Pendidikan

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam sektor pendidikan memberikan dampak positif

melalui konsep kelas pintar. Kelas pintar mengadopsi teknologi IoT, seperti papan tulis pintar dan perangkat pembelajaran interaktif, dengan tujuan meningkatkan pengalaman belajar siswa. Oleh karena itu, teknologi ini tidak hanya menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih dinamis dan interaktif, melainkan juga membuka peluang untuk meningkatkan efektivitas proses pendidikan[12]

3. METODE

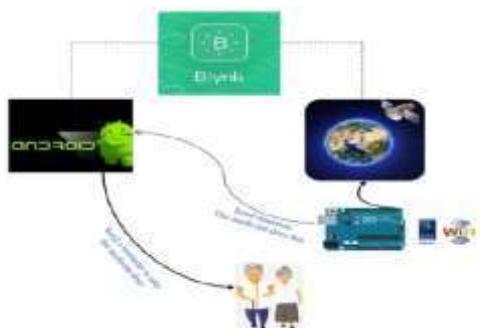
Dalam penelitian ini, penulis menggunakan pendekatan metode literatur review atau studi pustaka sebagai dasar untuk mengarahkan proses penulisan karya ilmiah. Proses ini melibatkan pengumpulan data, membaca, dan mencatat informasi dari berbagai sumber pustaka seperti jurnal, dan publikasi ilmiah, serta dokumen lainnya. Kemudian, bahan pustaka yang terkumpul diolah dan dijadikan sebagai pokok pembahasan serta dasar hasil penelitian. Penulisan karya ilmiah dengan pendekatan studi pustaka ini merupakan suatu bentuk penelitian yang memanfaatkan sumber-sumber pustaka yang ada, termasuk jurnal, dan publikasi ilmiah lainnya, untuk mencermati kondisi masa lalu dan saat ini yang relevan dengan topik penelitian. Tujuannya adalah untuk menghasilkan suatu kesimpulan yang mendalam berdasarkan sintesis informasi dari sumber-sumber tersebut.

4. PEMBAHASAN

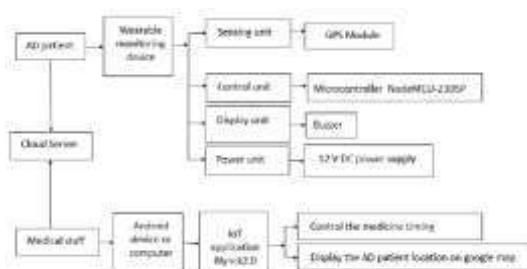
Dari berbagai literatur yang telah dikaji, teridentifikasi beberapa potensi pemanfaatan teknologi IoT dalam konteks industri 4.0, yang dapat diuraikan sebagai berikut:

4.1. Potensi dalam Industri Kesehatan

Menurut literatur [13] menciptakan prototipe Internet of Things (IoT) yang dapat secara real-time melacak lokasi pasien Alzheimer's Disease (AD) dan memberi peringatan kepada mereka untuk mengonsumsi obat sesuai jadwal melalui alarm. Perangkat pengangkut pasien yang kecil, ringan, dan portabel ini dilengkapi dengan papan NodeMCU-23DSP, modul sistem pemosisan global (GPS) Neo-06, dan modem nirkabel/router Wi-Fi. Proses pemantauan pasien secara remote menggunakan aplikasi Blynk 2.0 pada komputer dan perangkat Android memungkinkan pengawasan regimen pengobatan dan aktivitas sehari-hari pasien. Karena pasien AD sering mengalami kesulitan dalam mengingat dan mengorganisir, desain prototipe ini memberikan kemampuan pemantauan terhadap pengobatan pasien, mempermudah pengasuh dalam memberikan bantuan yang diperlukan[14].



Gambar 1. Prinsip Umum Yang Diadopsi Untuk Menerapkan Sistem Yang Diusulkan



Gambar 2. Diagram Yang Diusulkan Untuk Sistem Pemantauan AD

Hasil Penelitian dari alat ini menurut [13] Selama pengujian sistem yang berlangsung lebih dari satu minggu, sistem terbukti sangat efisien dalam memberikan notifikasi kepada penanggung jawab situasi ketika pasien melintasi jarak 100 meter dari lokasi pemasangan dengan pengawas. Sistem ini juga memberitahu pengawas ketika pasien berpindah dari lingkungan ke titik yang berjarak 150 meter dari lokasi awalnya.

Sebaliknya, sistem dirancang sesuai dengan jadwal yang ditetapkan oleh dokter untuk mengingatkan pasien tentang waktu minum obat, termasuk menentukan hari dan waktu serta mengirimkan pesan kepada pengawas sebagai peringatan. Respon dari pasien setelah mengonsumsi obat diterima melalui buzzer pada sistem yang dapat dikenakan. Semua peristiwa ini dicatat dan disimpan sebagai peristiwa 1. Kemudian, bukti penyelesaian tugas muncul dalam bentuk frasa "nyalakan gp2" pada layar aplikasi. Selanjutnya, pada janji temu kedua yang sudah dijadwalkan, dosis obat yang sesuai dengan rencana yang disetujui oleh dokter spesialis ditetapkan dalam aplikasi sebagai event untuk setiap dosis.

Kelebihan dan kekurangan literatur ini, Menurut literatur [5] dengan menggunakan sistem pemantauan infus otomatis, risiko keterlambatan penggantian cairan infus pasien dapat diminimalkan. Penelitian ini memanfaatkan metode fuzzy mamdani untuk menghitung ambiguitas nilai sensor. Sensor yang digunakan melibatkan Load Cell, HX711, dan IR HC-89. Nilai yang diterima oleh sensor dijadikan input untuk NodeMCU ESP32, yang kemudian dianalisis oleh metode mamdani untuk menghasilkan nilai output. Instruksi untuk mengaktifkan buzzer

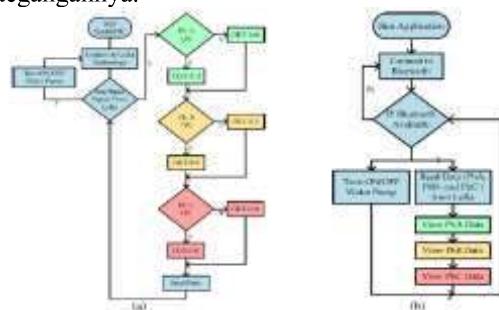
ditetukan oleh nilai output tersebut. Sistem pemantauan infus dirancang dengan memaksimalkan efektivitasnya melalui perhitungan menggunakan metode mamdani[15]

Perbandingan hasil pengujian sensor dengan pengukuran manual menunjukkan adanya perbedaan sekitar 5.9% pada nilai berat infus rata-rata dan sekitar 5.54 Vo pada tetes. Dalam uji kinerja sistem, pemantauan infus berhasil mencapai tingkat akurasi sekitar 92%.

4.2. Potensi dalam Industri Pertanian

Menurut [11] Mengontrol pompa listrik di lahan pertanian bisa menjadi tantangan, terutama jika hanya ada sedikit orang yang mengelola lahan yang luas dan pasokan listrik tidak selalu stabil. Oleh karena itu, mengembangkan teknik baru untuk memudahkan pengelolaan irigasi tanaman di jenis lahan ini. Dalam penelitian ini, merancang dan menggunakan perangkat cerdas baru untuk mengontrol operasi pompa irigasi.

Menggunakan metode komunikasi yang kuat untuk mentransfer informasi secara remote dengan biaya rendah dan masa pakai baterai yang optimal. Teknologi ini dikenal sebagai Komunikasi LoRa (Jarak Jauh), yang merupakan teknologi berdaya rendah. Perangkat ini terdiri dari dua sirkuit: yang pertama untuk menghidupkan dan mematikan pompa, sementara yang kedua mengontrol dan memantau kinerja pompa. Pemantauan pompa juga dapat dilakukan melalui ponsel pintar dengan mengukur tegangannya.



Gambar 3. Diagram alir sistem lengkap: (a) diagram alir pemancar dan (b) diagram alir penerima



Gambar 4. Program Untuk Memantau Dan Mengendalikan

Hasil dari penelitian ini Gambar (a) menunjukkan bahwa perangkat pintar tidak terhubung melalui Bluetooth dengan bagian kontrol kedua. Gambar (b) menunjukkan koneksi perangkat pintar dengan bagian kedua, tetapi tidak ada daya listrik di

ladang atau pertanian. Gambar (c) menunjukkan bahwa ponsel terhubung dengan beberapa kapasitas tetapi pompa pertanian belum akhirnya, Gambar (d) menunjukkan bahwa pompa bekerja dengan daya listrik dari tiga fase.

Menurut [6] Sistem Pemantauan Tanaman Hidroponik ini dirancang dengan menggunakan Nodemcu ESP8226 yang telah dilengkapi dengan akses internet, memungkinkan proses pemantauan melalui aplikasi Android. Informasi terkait tanaman diperoleh dari sensor DHT11 dan Water Sensor[16], yang selanjutnya diolah menggunakan metode Fuzzy untuk menentukan waktu penyiraman dan penambahan air pada tangki penyimpanan tanaman hidroponik[17]. Berdasarkan pembacaan sensor, sistem dapat menyesuaikan waktu penyiraman sesuai dengan kondisi cuaca dan memberikan peringatan saat air dalam tangki mencapai level yang telah ditentukan.

Hasil Pengujian sensor DHT11 dilakukan dengan menampilkan hasil pembacaan dari modul sensor tersebut, yang terhubung dengan mikrokontroler. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperlihatkan suhu dan kelembaban di sekitar area yang mencakup sistem tanaman hidroponik.

Tabel 1. Pengujian Sensor DHT11

No	Waktu	Suhu	Kelembaban
1	06.00	24°	65%
2	08.00	27°	68%
3	10.00	29°	78%
4	12.00	32°	88%
5	14.00	32°	89%
6	16.00	29°	76%
7	18.00	26°	72%

4.3. Potensi dalam Industri Telekomunikasi

Menurut [18] Dalam penelitian ini, diterapkan algoritme kriptografi AES-CBC 128 untuk mengamankan komunikasi antara node sensor dan middleware, sementara mekanisme TLS digunakan untuk mengamankan komunikasi antara middleware dan aplikasi berbasis IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keamanan end-to-end berbasis kriptografi pada model pub/sub dapat menjamin kerahasiaan data melalui enkripsi payload, walaupun topik masih dapat terlihat. Di sisi lain, penggunaan TLS/SSL dapat menjamin kerahasiaan seluruh data yang dikirim. Meskipun demikian, penerapan mekanisme ini tidak memberikan dampak signifikan pada keterlambatan pengiriman data, yang tetap berada di bawah 1 detik.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa baik mekanisme enkripsi payload menggunakan AES-CBC maupun TLS/SSL dapat memberikan jaminan kerahasiaan pada model publish/subscribe. Dalam konteks end-to-end security berbasis kriptografi, hanya dapat menjaga kerahasiaan data sensor, bukan keseluruhan data yang dikirim. Algoritme ini terbukti efektif ketika diterapkan pada node sensor dengan keterbatasan sumber daya. Pengujian parameter delay menunjukkan bahwa tidak ada peningkatan delay yang

signifikan, tetapi di bawah 1 detik dengan nilai sekitar 0.025 detik[19]

Sementara itu, end-to-end security berbasis TLS/SSL menawarkan tingkat kerahasiaan yang lebih tinggi, dimana data yang dikirim tidak dapat diakses dengan jelas, termasuk informasi dari node sensor atau data sensor itu sendiri. Namun, perlu diperhatikan bahwa mekanisme TLS/SSL memiliki keterbatasan dalam penerapannya, terutama pada perangkat dengan sumber daya yang terbatas[20]

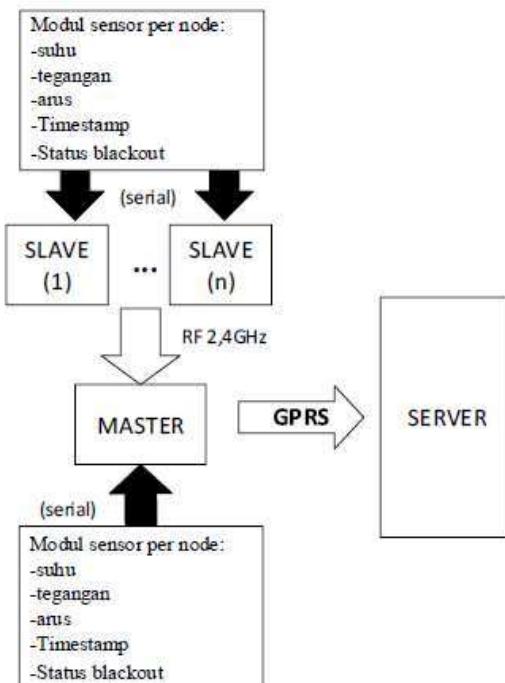
Menurut [8] Dengan pertumbuhan Internet of Things (IoT) yang cepat, komunikasi M2M menjadi semakin krusial dalam mendukung konektivitas yang efisien dan handal antar perangkat IoT. Dalam kajian ini, dilakukan analisis menyeluruh terkait spektrum frekuensi yang tersedia di Indonesia, dengan mempertimbangkan batasan regulasi dan persyaratan teknis yang berlaku. Temuan dari penelitian menunjukkan bahwa pita frekuensi 920-925 MHz dan 925-928 MHz dapat dianggap sesuai untuk komunikasi M2M di Indonesia dengan pengaturan kanal yang diusulkan. Rekomendasi ini didasarkan pada pertimbangan ketersediaan spektrum, kebutuhan komunikasi M2M, dan persyaratan teknis yang relevan.

Hasil penelitian ini ditemukan bahwa pita frekuensi yang paling sesuai untuk M2M adalah 920-925 MHz dan 925-928 MHz dengan pengaturan kanal tertentu. Rekomendasi ini didasarkan pada analisis mendalam mengenai kondisi frekuensi yang ada di Indonesia, kebutuhan komunikasi M2M, dan persyaratan teknis untuk penggunaan yang optimal. Implementasi dari rekomendasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan komunikasi M2M di Indonesia, mendorong pengembangan dan adopsi teknologi IoT yang lebih luas, serta memastikan kesiapan Indonesia dalam menghadapi era 5G.

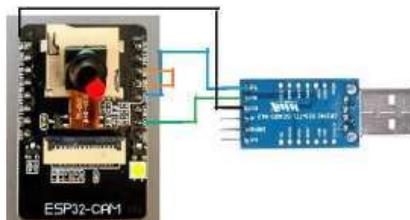
4.4. Potensi dalam Industri Ketenagalistrikan

Menurut [2] Peranan teknologi informasi saat ini menjadi salah satu investasi yang sangat layak bagi PT. PLN (Persero) dalam menjaga kinerja aset strategis. Sistem Monitoring Transformator Digital (DTMS) yang dikembangkan terdiri dari tiga elemen utama: (1) perangkat sistem terbenam (embedded system) yang bertugas mengukur dan mengirimkan data, (2) layanan web (Web Service) yang berfungsi menerima data dari embedded system, dan (3) perangkat lunak berbasis web yang bertugas menyajikan dan mengelola data, menjadikannya sebuah Decision Support System (DSS). DTMS ini dirancang untuk memberikan peringatan dini terhadap anomali parameter transformator, seperti overload, overvoltage, dan kejadian black out[21]. Selain itu, suhu operasi transformator juga dijadikan parameter yang mengindikasikan kondisi transformator dalam status aman, peringatan, atau bahaya. Embedded system yang dibangun akan mengukur kondisi transformator, kemudian menggunakan protokol

komunikasi RF 2,4 GHz dan GPRS, sistem terbenam akan menyimpan dan mengirimkan data ke server melalui protokol HTTPS dengan antarmuka pemrograman yang diatur menggunakan format JSON[22]. Setelah menerima data, DTMS akan melakukan perhitungan untuk memberikan rekomendasi optimalisasi transformator, seperti penyeimbangan, perawatan, atau peningkatan daya.



Gambar 5. Arsitektur Embedded System



Gambar 6 Rangkaian Camera ESP32 Cam

Hasil dalam penelitian[2], sebuah sistem pemantauan dibuat untuk menyediakan informasi mengenai kondisi trafo distribusi milik PT. PLN (Persero) berdasarkan standar-standar yang telah ditetapkan. Sistem ini melibatkan pengembangan perangkat Embedded system sebagai alat pengumpul data yang berasal dari berbagai sensor. Embedded system ini dirancang menggunakan platform mikrokontroler Atmega328 yang menerapkan konsep Sensor Data as a Service (SDS)[20]. Penggunaan konsep SDS terbukti efektif dalam memfasilitasi komunikasi data antara perangkat Embedded system dan server pengelola data yang berbasis platform PHP. Penelitian berikutnya akan fokus pada pengembangan skema komunikasi antara slave dan master menggunakan topologi jaringan Mesh. Selain itu, akan

diimplementasikan Application Programming Interface (API) untuk menjembatani komunikasi antara embedded system dan server dengan penambahan metode enkripsi dan kompresi data.

4.5. Potensi dalam Industri Kecerdasan Buatan

Menurut [10], dibahas pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan keselamatan pengendara melalui pendekatan preventif, yaitu dengan merancang prototipe helm pintar. Helm ini dilengkapi dengan kecerdasan buatan untuk memastikan pengendara memakai helm dengan benar (detection helmet) dan memberikan peringatan saat pengendara mengantuk (drowsiness detection).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan menerapkan platform Firebase dan NodeMCU untuk mengintegrasikan konsep IoT dalam pelaksanaan fungsionalitas helm pintar tersebut. Accelerometer MPU6050 digunakan untuk deteksi kantuk, sedangkan untuk deteksi helm, digunakan flex sensor bersama switch untuk memastikan penggunaan helm yang benar. Aktuator untuk deteksi helm adalah relay (menghubungkan ke mesin motor), sementara untuk deteksi kantuk, digunakan buzzer (beep suara). Kedua fungsionalitas helm pintar ini terbukti beroperasi dengan baik. Tingkat akurasi deteksi kantuk mencapai 78%, sedangkan deteksi helm mencapai 100%.

4.6. Potensi dalam Industri Smart Home

Menurut [7] dengan memanfaatkan teknologi ini, keamanan pintu rumah dapat ditingkatkan, mengurangi risiko pembobolan oleh pelaku kejahatan. Proses identifikasi wajah yang terintegrasi dengan kamera ESP32Cam memungkinkan pintu untuk secara otomatis terbuka hanya untuk pemilik rumah yang telah diverifikasi. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, alat ini terbukti beroperasi dengan baik dalam jarak 5-10 cm, sehingga dapat diandalkan untuk membantu pemilik rumah meningkatkan keamanan rumah mereka.

Sensor Camera ESP32Cam dihubungkan dengan pin analog USB TTL Board untuk mengarahkan hasil proses ke USB TTL Board. Output dari proses tersebut dapat menggerakkan motor servo melalui pin yang ditentukan, yakni pin out masuk RXD ke UOT dan pin TXD ke UOR pada Camera ESP32Cam. Selain itu, koneksi GND dari USB TTL Board terhubung dengan GND pada Camera ESP32Cam, sementara sumber daya 5 Volt diberikan melalui power supply.

Rancangan yang berhasil dilakukan dalam penelitian[7] ini adalah perangkat perlindungan wajah pada pintu dengan memanfaatkan kamera ESP32Cam. Fungsinya mencakup kemampuan membuka pintu melalui sensor wajah. Informasi identifikasi wajah pemilik rumah dimasukkan ke dalam mikrokontroler ESP32Cam sebagai data yang disimpan untuk memahami pola wajah pemilik kunci pintu pintar.

4.7. Potensi dalam Industri Data Center

Menurut [9] Sebagian besar server komputer beroperasi secara kontinu selama 24 jam, menangani tugas-tugas berat seperti menjalankan sistem operasi, aplikasi, dan penyimpanan data yang besar. Seluruh komponen elektronik dalam server menghasilkan panas selama operasi. Apabila server beroperasi di lingkungan dengan suhu yang tinggi, kinerja server dapat terpengaruh akibat peningkatan suhu. Studi ini difokuskan pada pengujian sensor suhu menggunakan fitur Application Programming Interface (API) dari Tuya.[23]. Pemanfaatan API tersebut mempermudah perancangan sistem dengan penekanan pada pengembangan aplikasi monitoring, sehingga tidak lagi fokus pada perancangan perangkat keras yang kompleks dan berisiko. Hasil pemantauan suhu ruang server dapat dipantau dengan menggunakan sensor tersebut.

Dalam penelitian ini[9], dapat disimpulkan bahwa penggunaan API Tuya berhasil diintegrasikan dengan halaman web yang secara independen dirancang dan dibangun. Hasil bacaan sensor suhu

dapat terhubung dengan cloud API Tuya, memungkinkan akuisisi data yang dapat ditampilkan pada halaman web dalam satuan °C. Membuat sistem pemantauan suhu dengan memanfaatkan sensor suhu Tuya dan API Tuya dapat menurunkan risiko kerusakan fisik lebih efektif daripada menggunakan sensor yang bersifat komponen atau modular[24]. Penelitian ini berhasil memonitor suhu ruang server dengan menggunakan sensor suhu Tuya yang terintegrasi dengan aplikasi web. Kelemahan dari sistem yang konstruksinya terlibat mencakup batasan dalam mengakses sensor secara offline, dan efektivitas pembacaan sensor sangat tergantung pada ketersediaan koneksi internet dan akses ke cloud melalui API Tuya[25]. Untuk penelitian mendatang, diharapkan dapat dilakukan uji coba sensor dengan membangun sistem mandiri yang mampu menjalankan pembacaan sensor secara lokal, sehingga dapat mengurangi risiko ketidaktersediaan koneksi internet dan akses cloud.

Table 2. Kelebihan dan Kekurangan Literatur

No	Literatur	Kelebihan	Kekurangan	Embedded System
1	[13]	Perangkat tersebut berhasil memberikan data yang dibutuhkan oleh dokter dengan efisiensi, sambil memastikan bahwa penggunaannya tidak menimbulkan ketidaknyamanan pada pasien. Ini menegaskan bahwa perangkat tersebut efektif dan memenuhi kepuasan pengguna.	Keefektifan perangkat telah terbukti melalui pemantauan selama dua minggu, namun perlu dilakukan uji lebih lanjut untuk memastikan efektivitasnya dalam jangka panjang.	NodeMCU-23DSP
2	[5]	Penggunaan logika fuzzy dalam Sistem Monitoring Infus berbasis IoT memberikan keuntungan besar, terutama dalam pemantauan tingkat habisnya infus. Ini mengurangi risiko keterlambatan dalam penggantian infus	Sistem mengandalkan sensor dan perangkat khusus seperti Load Cell, Modul HX711, IR-HC, dan Buzzer. Ketergantungan pada komponen-komponen ini dapat berdampak pada ketersediaan dan biaya perangkat untuk tahapan implementasi berikutnya atau penggantian komponen yang mengalami kerusakan.	NodeMCU ESP32
3	[11]	Pemanfaatan teknologi LoRa (LoRa ESP32) sebagai komponen integral dalam sistem cerdas memberikan keunggulan dalam melakukan komunikasi nirkabel dengan jarak yang jauh tanpa memerlukan biaya tambahan atau mengandalkan infrastruktur menara, sehingga meningkatkan konektivitas dan ketersediaan sinyal secara signifikan.	Ketergantungan pada teknologi Bluetooth dan sistem Android bisa membatasi aksesibilitas dan penggunaan sistem dalam situasi di mana teknologi ini tidak selalu tersedia	LoRa ESP32
4	[6]	Penggunaan sistem yang mendukung para pelaku hidroponik dalam memantau pertumbuhan tanaman memberikan manfaat yang besar. Keterbukaan ini dapat berkontribusi secara positif terhadap produktivitas dan kesehatan tanaman.	Ketidakstabilan koneksi dapat menghambat fungsi monitoring dan pengambilan keputusan.	Nodemcu ESP8226
5	[18]	Algoritma ini dianggap sesuai untuk diterapkan pada node sensor yang memiliki keterbatasan sumber daya, menunjukkan kemampuan beradaptasi dan kesesuaian dengan lingkungan perangkat yang memiliki daya terbatas.	Keamanan end-to-end yang berfokus pada kriptografi hanya mampu menjaga kerahasiaan data sensor, bukan melibatkan seluruh data yang dikirim. Keterbatasan ini dapat dianggap signifikan, terutama ketika kebutuhan akan integritas data secara menyeluruh menjadi suatu keharusan.	NodeMCU esp8266

No	Literatur	Kelebihan	Kekurangan	Embedded System
6	[8]	Penelitian ini dilaksanakan melalui analisis mendalam terkait dengan spektrum frekuensi di Indonesia, mengambil pertimbangan terhadap hambatan regulasi dan persyaratan teknis yang ada. Pendekatan ini mencerminkan kerangka kerja yang menyeluruh dalam memberikan rekomendasi yang relevan dan sesuai dengan ketentuan regulasi lokal.	Spektrum frekuensi radio yang tersedia untuk komunikasi IoT memiliki keterbatasan. Kompetisi antara teknologi komunikasi, seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan teknologi seluler, dapat menyebabkan peningkatan kepadatan frekuensi dan potensi gangguan.	machine-to-machine (M2M)
7	[2]	Pemanfaatan embedded system dan mikrokontroler Atmega328 mencerminkan pendekatan teknologi yang spesifik dan terbaru dalam pengembangan sistem monitoring. Pendekatan ini dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses pengumpulan data.	Embedded System sering kali memiliki keterbatasan daya komputasi jika dibandingkan dengan sistem komputasi yang lebih besar. Kondisi ini dapat menjadi hambatan ketika menangani tugas-tugas yang memerlukan pemrosesan yang kompleks atau tinggi.	DTMS
8	[10]	Penelitian ini mendemonstrasikan keunggulan dengan menguji fungsionalitas helm pintar dalam dua aspek krusial: identifikasi helm dan deteksi kelelahan. Pendekatan ini menghasilkan solusi yang menyeluruh untuk meningkatkan keselamatan pengendara.	Angka ketepatan deteksi kantuk sebesar 76% menunjukkan adanya potensi untuk peningkatan dalam sistem. Kelemahan ini bisa berpotensi menimbulkan kesalahan atau mengurangi kehandalan sistem dalam memberikan peringatan.	NodeMCU
9	[7]	Sistem keamanan kunci pintu rumah berbasis Smart Home menunjukkan keunggulan dalam pengintegrasian teknologi untuk meningkatkan tingkat keamanan rumah.	Walaupun kisaran jarak yang telah ditetapkan dapat dianggap sebagai kelebihan, namun dalam perspektif lain, hal tersebut mungkin dianggap sebagai kekurangan jika pengguna menginginkan fleksibilitas lebih besar dalam mengenali wajah dari jarak yang lebih jauh.	ESP32Cam
10	[9]	Keunggulan utamanya terletak pada kapabilitas untuk mengawasi suhu ruang server secara langsung, memungkinkan respons yang cepat terhadap fluktuasi suhu yang dapat mempengaruhi kinerja server.	Sistem ini mengandalkan API eksternal dari Tuya. Ketergantungan ini dapat menimbulkan risiko jika terjadi perubahan atau masalah teknis dengan API tersebut, yang dapat berdampak pada fungsionalitas pemantauan.	LM 35 & Raspberry Pi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan informasi dari literatur dan tinjauan pustaka, disimpulkan bahwa teknologi Internet of Things (IoT) dalam era Industri 4.0 memiliki potensi besar dalam berbagai sektor seperti kesehatan, pertanian, telekomunikasi, ketenagalistrikan, kecerdasan buatan, smart home, dan data center. Tujuan utama penerapan teknologi IoT ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dan kemudahan pelaksanaan tugas-tugas yang umumnya dilakukan di berbagai bidang, terutama di ranah IoT. Dengan terus berkembangnya teknologi ini, diharapkan akan muncul inovasi-inovasi baru yang dapat memajukan sektor pertanian dan menghasilkan pencapaian sesuai dengan harapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. AP, "Sejarah dan pemanfaatan iot di era industri 4.0," vol. 2, no. 4, pp. 1–8, 2022.
- [2] B. E. Prasetyo, W. Hayuhardhika, N. Putra, D. Syauqy, and A. Bhawiyuga, "SISTEM MONITORING TRAFO DISTRIBUSI PT . PLN (Persero) BERBASIS IoT IOT-BASED DISTRIBUTION TRANSFORMER MONITORING SYSTEM AT THE PT . PLN (Persero)," vol. 7, no. 1, pp. 205–210, 2020, doi: 10.25126/jtiik.202071951.
- [3] L. Chuvita, E. A. M. Sampetoding, Y. S. Pongtambing, E. Christiana, and A. Yusri, "Studi Litelatur Penerapan Internet of Things pada Kesehatan Mental A Literature Review : The Application of IoT in Mental Health," vol. 7, no. 1, pp. 13–18, 2022.
- [4] H. Jurnal and H. U. Jurnal, "<http://ejurnal.stie-trianandra.ac.id/index.php/jupkom>," vol. 1, no. 3, 2022.
- [5] M. Sigit, R. Maulana, T. Rohana, and T. Al Mudzakir, "Implementasi Fuzzy Logic Dalam Monitoring Infus Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 7, no. September, pp. 957–967, 2023.
- [6] R. Doni and M. Rahman, "Sistem Monitoring Tanaman Hidroponik Berbasis Iot (Internet of Thing) Menggunakan Nodemcu ESP8266," vol. 4, no. September, pp. 516–522, 2020.
- [7] B. Yanto *et al.*, "SMART HOME MONITORING PINTU RUMAH DENGAN

- [1] IDENTIFIKASI WAJAH MENERAPKAN CAMERA ESP32 BERBASIS IO T,” vol. 11, pp. 53–59, 2022.
- [8] J. T. Elektro, “IOT FREQUENCY BAND CHANNELIZATION IN INDONESIA AS A RECOMMENDATION FOR MACHINE-TO-MACHINE COMMUNICATION PREPARATION IN THE 5G ERA,” vol. 7, no. 1, pp. 50–59, 2023.
- [9] V. K. Bakti, A. Sutanto, and M. R. Arfani, “Penerapan Tuya Application Programming Interface (API) pada Sistem IoT Monitoring Suhu Ruang Server,” vol. 8, no. 1, pp. 45–49, 2023.
- [10] R. P. Purwono Prasetyawan, Selamet Samsugi, “Internet of things menggunakan firebase dan nodemcu untuk helm pintar,” vol. 5, no. 1, pp. 32–39, 2021.
- [11] A. H. Ali, R. F. Chisab, and M. J. Mnati, “A smart monitoring and controlling for agricultural pumps using LoRa IOT technology,” vol. 13, no. 1, pp. 286–292, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v13.i1.pp286-292.
- [12] R. A. Pangondian, P. I. Santosa, and E. Nugroho, “Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Kesuksesan Pembelajaran Daring,” pp. 56–60, 2019.
- [13] A. T. Ebrahem, M. M. M. Al-hatab, and E. Y. A. Al-jabbar, “Using IoT technology for monitoring Alzheimer’s and elderly patients,” vol. 31, no. 2, pp. 986–994, 2023, doi: 10.11591/ijeecs.v31.i2.pp986-994.
- [14] A. F. Ritonga, S. Wahyu, and F. O. Purnomo, “Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Meningkatkan Kompetensi Siswa SMK Jakarta 1,” *Risenologi*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.47028/j.risenologi.2020.51.57.
- [15] D. Sawitri, “Revolusi Industri 4.0 : Big Data Menjawab Tantangan Revolusi Industri 4.0,” *J. Ilm. Maksitek*, vol. 4, no. 3, pp. 1–9, 2019.
- [16] H. H. Qasim, A. E. Hamza, L. Audah, H. H. Ibrahim, H. A. Saeed, and M. I. Hamzah, “Design and implementation home security system and monitoring by using wireless sensor networks WSN/internet of things IoT,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 2617–2624, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i3.pp2617-2624.
- [17] M. Fahrulnazmi, M. Jaini, & Mohd, Y. Yahya, and J. P. Pembinaan, “Perlaksanaan dan Cabaran Teknologi Internet of Things (IoT) dalam Kalangan Kontraktor dalam Sektor Industri Pembinaan,” *Res. Manag. Technol. Bus.*, vol. 2, no. 2, pp. 641–654, 2021, [Online]. Available: <http://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rmtb>
- [18] K. Ashton, “IMPLEMENTASI MEKANISME END-TO-END SECURITY PADA IoT MIDDLEWARE,” vol. 6, no. 3, pp. 335–340, 2019, doi: 10.25126/jtiik.201961401.
- [19] N. Mishra and S. Pandya, “Internet of Things Applications, Security Challenges, Attacks, Intrusion Detection, and Future Visions: A Systematic Review,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 59353–59377, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3073408.
- [20] S. A. Kumar, T. Vealey, and H. Srivastava, “Security in internet of things: Challenges, solutions and future directions,” *Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, vol. 2016-March, pp. 5772–5781, 2016, doi: 10.1109/HICSS.2016.714.
- [21] E. Sairanen, I. Paronen, and H. Mähönen, “Reiter’S Syndrome: a Follow-Up Study,” *Acta Med. Scand.*, vol. 185, no. 1–6, pp. 57–63, 1969, doi: 10.1111/j.0954-6820.1969.tb07298.x.
- [22] V. Adat and B. B. Gupta, “Security in Internet of Things: issues, challenges, taxonomy, and architecture,” *Telecommun. Syst.*, vol. 67, no. 3, pp. 423–441, 2018, doi: 10.1007/s11235-017-0345-9.
- [23] R. Roman, J. Zhou, and J. Lopez, “On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things,” *Comput. Networks*, vol. 57, no. 10, pp. 2266–2279, 2013, doi: 10.1016/j.comnet.2012.12.018.
- [24] P. P. Ray, “Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction,” *J. Ambient Intell. Smart Environ.*, vol. 9, no. 4, pp. 395–420, 2017, doi: 10.3233/AIS-170440.
- [25] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.