

Pengaruh Mesin *Cutting* Otomatis Berbasis *Internet of Things* (IoT) terhadap Efisiensi dan Produktivitas Pekerja pada Mesin *Building Tire* di PT. ABC: *Literature Review*

Tita Latifah Ahmad¹⁾

Program Studi Teknologi Industri, Politeknik Gajah Tunggal
titalatifahahmad@gmail.com

Indah Puspa Murni²⁾

Program Studi Teknologi Industri, Politeknik Gajah Tunggal
indahpuspamurni@gmail.com

Anisa Triya Nur Adibah³⁾

Program Studi Teknologi Industri, Politeknik Gajah Tunggal
triyadibah2205@gmail.com

ABSTRAK

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam lingkungan manufaktur guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Namun, tidak ada laporan komprehensif yang tersedia tentang metode dan teknologi IoT yang diterapkan dalam mesin *cutting* otomatis pada proses *Building Tire*. Tinjauan pustaka sistematis dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengadopsi pendekatan sistematis melalui penelusuran literatur dari berbagai basis data (*Google Scholar*, *ScienceDirect*, *IEEE Explore*, dan MDPI). Tinjauan ini menganalisis metode dan teknologi yang mendukung implementasi IoT dalam lingkungan manufaktur, termasuk integrasi REST API dengan ERP, *Vision-Based Data Reader*, algoritma *decision tree*, serta pendekatan integrasi menyeluruh pada *Smart Factory* melalui *Horizontal Integration*, *Vertical Integration*, dan *End-to-End Integration*. Tinjauan pustaka menemukan berbagai teknologi pendukung seperti sensor cerdas, *cloud computing*, *big data analytics*, *edge computing*, dan *platform digital twin* yang berperan penting dalam implementasi IoT. Ditemukan bahwa penerapan IoT memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara *real-time*, analisis data yang cepat, dan peningkatan efisiensi produksi secara signifikan. Selain itu, algoritma seperti *decision tree* mampu mengklasifikasikan data nyata dan palsu dengan tingkat akurasi yang tinggi, mendukung validasi daring dan meningkatkan keandalan sistem. Karena potensi besar dalam IoT, metode dan teknologi yang dikaji dalam literatur ini membentuk fondasi yang kokoh untuk pengembangan IoT di lingkungan manufaktur, memfasilitasi adaptasi terhadap era Industri 4.0 dengan menciptakan sistem yang adaptif, efisien, dan responsif terhadap perubahan kebutuhan pasar.

Kata Kunci : *Internet of Things* (IoT), Industri 4.0, Produktivitas, Teknologi IoT

I. PENDAHULUAN

Dalam era teknologi saat ini, pabrik manufaktur terus berupaya menjadikan siklus produksi dan konsumsi yang searah [1]. Siklus produksi dibutuhkan dalam industri manufaktur agar perkembangan revolusi 4.0 lebih fleksibel dan responsif. Banyak pabrik manufaktur global maupun lokal telah memanfaatkan konsep industri 4.0 melalui digitalisasi dan otomasi dalam proses manufaktur untuk meningkatkan kualitas proses dan produk, serta memiliki standar tinggi untuk penelitian dan pengembangan guna meningkatkan daya saing pasar [2].

Dengan demikian, tenaga kerja manual masih diperlukan untuk sistem perakitan karena banyak keterampilan manusia, seperti pemecahan masalah dan kognisi, yang belum tergantikan meskipun digitalisasi dan otomasi semakin meningkat [3]. Pada proses manufaktur *tire*, terdapat proses *Building Tire* yaitu proses pembentukan *tire* yang masih menggunakan tenaga kerja manusia dalam proses pemotongan material secara manual. Penerapan mesin automasi dapat membuat proses produksi lebih efisien serta meningkatkan kualitas produk [4]. Oleh karena itu, perusahaan melakukan perbaikan pada bagian mesin *Building Tire* dengan menggunakan mesin *cutting* otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas.

Jaringan IoT berkembang pesat untuk memenuhi permintaan yang meningkat pada aplikasi konvensional seperti automasi mesin dan sistem kendali jarak jauh [5]. Alat ini mampu meningkatkan efisiensi jaringan yang ada dan membuka peluang baru bagi mesin untuk mengotomasikan proses produksi. Namun, penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa IoT juga memiliki tantangan terkait keamanan dan privasi data [6]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pencarian dan tinjauan pustaka guna merangkum metode dan teknologi apa saja dalam menerapkan mesin otomatis berbasis IoT. Dengan melakukan tinjauan pustaka, peneliti dan praktisi IoT di Indonesia dapat memperoleh daftar ringkasan metode dan teknologi yang diadaptasi yang dapat digunakan dalam rangka meningkatkan efisiensi dan produktivitas pekerja.

II. METODE PENELITIAN

A. Search Strategies

Penelusuran pustaka dilakukan pada 4 database: *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *IEEE explore*, dan *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI) untuk mengidentifikasi karakteristik dan

teknologi pendukung yang relevan mengenai IoT berbasis kertas yang diadaptasi ke versi Indonesia. Proses penelusuran menggunakan kombinasi kata kunci dalam bahasa Inggris dengan *Internet of Things* (IoT), *automatic cutting machine*, *productivity*, *industry 4.0*, dan *intelligent factory*. Makalah yang teridentifikasi kemudian dipilih oleh penulis (ATNA) dengan meninjau judul dan abstrak. Proses pencarian ini diselesaikan selama 2 bulan 10 hari, dari 04 Oktober 2024 hingga 13 Januari 2025. Perangkat lunak Mendeley digunakan untuk mengatur kutipan dalam bibliografi.

B. Inclusion and Exclusion Criteria

Studi literatur dalam penelitian ini mencakup artikel yang diterbitkan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (2014 hingga 2024). Penelitian yang dipilih harus memuat penerapan teknologi otomasi berbasis IoT yang serupa dengan bidang manufaktur dan berkaitan dengan upaya peningkatan efisiensi kerja serta produktivitas pekerja, dampak nyata penerapan teknologi, konsep Industri 4.0 khusus pada pemantauan *real-time*. Hanya penelitian yang secara khusus melibatkan penggunaan mesin atau perangkat otomasi di sektor industri manufaktur, yang dipertimbangkan dalam studi ini. Penelitian yang tidak berfokus pada aspek peningkatan kinerja dan produktivitas dengan penerapan IoT tidak termasuk dalam penelitian ini.

C. Paper Analysis

Analisis literatur dari jurnal yang ditinjau berfokus pada pengidentifikasian konsep dasar, teknologi utama, dan arsitektur yang mendukung penerapan IoT. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai IoT dengan mengulas definisi, karakteristik, dan teknologi pendukung yang relevan. Topik utama yang dibahas mencakup arsitektur IoT, seperti protokol jaringan IoT dan arsitektur *International Telecommunication Union* (ITU), serta teknologi inti seperti *Radio Frequency Identification* (RFID), Wi-Fi, *Bluetooth*, *ZigBee*, dan lainnya. Selain itu, jurnal ini juga membahas penerapan IoT dalam berbagai domain kehidupan, termasuk transportasi, manufaktur, dan kesehatan.

Dalam analisisnya, penelitian menggunakan pendekatan sistematis melalui tinjauan literatur yang mencakup makalah akademik, makalah industri, diskusi profesional, serta sumber daring. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi teknologi dan metode yang menjadi pilar pengembangan IoT. Contohnya, penelitian ini menyoroti pentingnya RFID sebagai inti dari konstruksi IoT, sementara teknologi seperti IPv6 dan *Near Field Communication* (NFC) membantu dalam integrasi dan komunikasi antar perangkat. Selain itu, IoT digambarkan sebagai revolusi teknologi yang memungkinkan interaksi *human to human*, *human to*

object, dan *object to object* melalui jaringan global.

Metode tambahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup analisis perkembangan teknologi IoT menggunakan *Gartner's Hype Cycle* untuk memahami siklus adopsi dan penerapan teknologi baru. Selain itu, penelitian melakukan analisis komparatif terhadap berbagai arsitektur IoT guna menentukan pendekatan terbaik untuk pengimplementasian di masa depan. Proses implementasi IoT dalam studi ini melibatkan instalasi sensor, pengumpulan data *real-time*, analisis prediktif, serta optimalisasi sistem untuk meningkatkan efisiensi operasional.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Search Results

Hasil pencarian literatur pada 4 basis data yang diikuti dengan tinjauan judul menghasilkan 27 penelitian. Terdapat 2 penelitian tambahan diidentifikasi dari daftar pustaka pada penelitian tersebut. Penyaringan abstrak dari 29 penelitian tersebut menghasilkan 11 penelitian. Sejumlah 18 penelitian dikecualikan dari tinjauan teks lengkap karena menjelaskan konsep dasar, teknologi utama, dan arsitektur yang mendukung dalam penerapan IoT dalam berbagai domain kehidupan. Dari 11 penelitian yang telah diproses untuk tinjauan teks secara keseluruhan, 5 di antaranya tidak memenuhi kriteria kelayakan. Pada akhir proses seleksi penelitian, 6 makalah dimasukkan untuk ditinjau penelitian ini. Ringkasan penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Ringkasan Penelitian.

B. Description of The Methods

Sebagian besar metode yang digunakan dalam penelitian literatur ini berfokus pada penerapan IoT untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas di sektor industri 4.0. Metode utama yang sering digunakan seperti, pemantauan mesin atau data secara *real-time*, pohon keputusan (*decision tree*) untuk menganalisis apakah data tersebut asli atau tidak berbasis *Machine Learning* (ML), *Horizontal Integration*, *Vertical Integration*, dan *End-to-End Integration* untuk implementasi *Smart Factory*.

Terdapat beberapa metode yang sering digunakan mencakup untuk memonitor kondisi mesin dengan pengumpulan data secara *real-time*. Melalui integrasi REST API dengan *Enterprise Resource Planning* (ERP), sistem ini akan memeriksa penggunaan energi pada mesin secara *real-time*, sehingga menghemat biaya energi yang dilakukan selama proses penempaan pada mesin [7]. Terdapat juga pengembangan sistem pembacaan data berbasis *Vision-Based Data Reader* (VDR) pada mesin injeksi plastik secara *real-time* [8]. Selain itu, terdapat penelitian yang menggunakan metode IoT berdasarkan *Intelligent Industry*

Monitoring System yang dilakukan secara *real-time* untuk memantau dan mengukur kondisi di dalam manufaktur secara langsung guna mendeteksi adanya kebocoran gas/bahan bakar, memantau polusi udara, mengukur suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya di area manufaktur [9].

Metode lain seperti *decision tree*, untuk menentukan jenis data *Smart Meters*[10], [11]. *Output* yang dihasilkan untuk memastikan validasi daring melalui IoT. Kumpulan data palsu disertakan ke kumpulan data waktu nyata *Smart Meters*. Data palsu akan digunakan untuk melatih dan menguji *decision tree* bersama dengan data nyata. Kumpulan data dibagi menjadi data pelatihan sebesar 70% dan data pengujian sebesar 30%. Penelitian [10] juga melakukan validasi kehilangan data akibat sinyal internet yang tidak stabil dalam metode *decision tree*.

Terdapat metode lain, seperti *Horizontal Integration*, *Vertical Integration*, dan *End-to-End Integration* untuk implementasi *Smart Factory* [12]. *Horizontal Integration* merupakan antar korporasi saling membentuk ekosistem yang efisien, seperti informasi, keuangan, dan material dapat mengalir lancar di antara korporasi. Oleh karena itu, jaringan nilai baru serta model bisnis dapat muncul. Pada *Vertical Integration* merupakan proses menyatukan berbagai subsistem fisik dan informasi dalam pabrik, seperti *actuator* dan sensor, kontrol, manajemen, produksi, manufaktur dan perencanaan perusahaan. Melalui integrasi ini, mesin pintar membentuk sistem yang terorganisasi sendiri yang dapat dikonfigurasi ulang secara dinamis untuk beradaptasi dengan berbagai jenis produk sehingga terjadinya transparansi proses produksi. Sedangkan *End-to-End Integration* merupakan proses penciptaan nilai yang berfokus pada produk, serangkaian aktivitas terlibat, seperti desain dan pengembangan produk, perencanaan produksi, rekayasa produksi, layanan, pemeliharaan, dan daur ulang. Dengan integrasi ini, model produk yang berkelanjutan dan konsisten dapat digunakan kembali oleh setiap tahap dan diramalkan menggunakan rangkaian perangkat lunak yang canggih sehingga dapat disesuaikan.

Semua penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode yang menjadi pilar pengembangan IoT dalam industri. Penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai berbagai metode yang digunakan dalam penerapan IoT di berbagai sektor industri, menunjukkan kompleksitas dan keragaman pendekatan yang digunakan dalam mengoptimalkan efisiensi dan produktivitas pekerja.

C. Description of The Technology

Dalam implementasi penerapan IoT diperlukan teknologi yang digunakan dalam penelitian untuk mendukung metode penelitian. Seperti yang dilakukan oleh beberapa penelitian untuk memantau kondisi mesin secara *real-time* menggunakan teknologi IoT devices dan SCADA yang digunakan untuk mengumpulkan data energi secara *real-time* dari mesin pada pabrik, seperti gas-meter, *wattmeter*, dan *thermometer* [7]. Data dari mesin akan terhubung ke jaringan dan mengirimkan data ke *server* untuk diproses dan analisis. Data ini disimpan dalam database seperti *MongoDB*, *MySQL*, dan *Redis*. Kemudian data diproses dan dianalisis menggunakan teknologi, seperti *Spring Framework*, *Java Persistence API* (JPA), dan *library Application Programming Interface* (API) lainnya. Teknologi kedua adalah ERP yang digunakan untuk mengintegrasikan data energi yang terkumpul dan akan dianalisis lebih komprehensif terkait penggunaan energi.

Teknologi untuk memantau kondisi mesin secara *real-time* ada juga dilakukan dengan menggunakan teknologi IoT dan Visi Komputer dimana merupakan sistem yang menggunakan kamera terpasang pada layar kontrol *Programmable Logic Controller* (PLC), terdapat sistem pengenalan digit untuk mengekstrak parameter mesin dari layar kontrol [8]. Data yang terkumpul akan ditransmisikan ke *Cloud Computing* untuk deteksi kejadian abnormal dan pengambilan keputusan yang sesuai. Sedangkan *Field Programmable Gate Array* (FPGA) yang diprogram untuk menangkap gambar secara *real-time* dari layar kontrol mesin. Selain itu juga teknologi yang digunakan untuk memantau lingkungan manufaktur secara *real-time* adalah *Raspberry Pi* sebagai *platform* utama dalam pengembangan sistem yang lain [9]. Terdapat sensor cerdas untuk mendeteksi kondisi lingkungan di area manufaktur secara *real-time*, seperti *Wireless Sensor Networks* (WSN), *Arduino*, dan *Microcontroller Based System* yang akan mendeteksi kebocoran gas beracun dan memperingatkan personel terkait dengan mengirim peringatan *Short Message Service* (SMS) jika konsentrasi kebocoran gas melewati tingkat ambang batas. Data yang terkumpul dari sensor akan diunggah ke *Cloud Computing* untuk penyimpanan dan analisis lebih lanjut.

Terdapat juga penelitian untuk mengidentifikasi data palsu dan data nyata, seperti yang dilakukan [10], [11] dengan menggunakan algoritma *decision tree*. Pada penelitian [11] menggunakan algoritma *decision tree* untuk mengklasifikasikan data nyata dan data palsu, dengan infrastruktur IoT digunakan untuk

mengumpulkan data dari *smart meters* dan sensor yang kemudian divalidasi secara *online*, yang menghasilkan efisiensi sistem dan kemampuan mendeteksi serta memvalidasi data palsu secara *real-time*. Sedangkan penelitian [10] untuk mengklasifikasikan data dari *smart meters* menjadi data nyata dan palsu, dengan mempertimbangkan faktor operasional seperti suhu, kelembaban, dan sinyal *noise* yang dihasilkan mesin. Algoritma ini terintegrasi dengan *platform digital twin* untuk memungkinkan visualisasi data secara *real-time*, serta menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) untuk transmisi data IoT.

Terdapat juga penelitian yang melakukan implementasi *smart factory* untuk menciptakan lingkungan manufaktur yang adaptif, efisien, dan responsif yang dilakukan oleh [12] dengan memanfaatkan beberapa teknologi, seperti IoT untuk menghubungkan perangkat dan mesin di pabrik, *Big Data Analytics* untuk menganalisis dan memproses data besar yang dihasilkan oleh perangkat dan mesin dalam pabrik. Data besar yang dihasilkan akan disimpan dan dapat diakses secara terpusat dengan teknologi *Cloud Computing*. Teknologi *Internet Working Network* (IWN) dapat digunakan untuk *smart factory* karena dapat mengkomunikasikan antar perangkat dan mesin di pabrik secara efisien, dengan layanan berbasis *cloud* untuk mengolah data dan sistem. Dengan bantuan teknologi yang lainnya, seperti *RFID tags*, *Machine Robots*, dan *Conveying System* akan dapat menghasilkan *smart factory* yang memberikan moda produksi dan bisnis baru yang berkelanjutan.

D. Description of the Results

Sebagian besar hasil yang didapatkan dari beberapa penelitian seperti [7], [8], [9] berdasarkan metode dan berbagai teknologi yang digunakan mendapatkan hasil bahwa sistem yang dirancang dapat memantau dan menganalisis pemantauan mesin dan manufaktur secara *real-time*, sehingga meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi produk yang cacat. Selain itu, dapat mengembangkan aplikasi untuk memantau kualitas udara di daerah lingkungan masyarakat, seperti yang dilakukan [9]

Terdapat juga hasil penelitian dengan menerapkan *decision tree* sebagai algoritma dalam metode penelitiannya, seperti yang dilakukan [10], [11] mendapatkan hasil bahwa sistem *Smart Meters* yang digunakan dapat mengklasifikasikan data palsu dan nyata dengan efisien. Hasil yang didapatkan oleh [11] adalah 78% yang menunjukkan bahwa *decision tree* dalam sistem *Smart Meters* dapat mengklasifikasikan data nyata dan palsu. Sedangkan

penelitian yang dilakukan [10] sistem *Smart Meters* yang dirancang juga dapat mendeteksi kehilangan data yang diakibatkan sinyal internet yang tidak stabil.

Teknologi IoT juga dapat dilakukan untuk implementasi *smart factory* seperti yang dilakukan [12] untuk menerapkan *smart factory* dengan memanfaatkan berbagai teknologi IoT, seperti *Cloud Computing*, *Big Data Analytics*, *IWN*, *RFID Tags*, *Robotic Machines*, dan *Conveying System* agar menciptakan lingkungan manufaktur yang adaptif, efisien, dan inovatif sehingga mesin dan produk pintar dapat berkomunikasi dan bernegosiasi satu sama lain untuk mengkonfigurasi ulang diri mereka sendiri untuk produksi fleksibel berbagai jenis produk.

E. Discussion

Beberapa penelitian yang telah dicantumkan dalam tinjauan pustaka ini memiliki perbedaan dalam setiap aspeknya, seperti metode, teknologi yang digunakan, beserta hasil yang diperoleh dari setiap penelitian. Seperti penelitian yang dilakukan oleh [7] mengimplementasikan *Representational State Transfer Application Programming Interface* (REST API) dengan ERP untuk melakukan pemantauan, *monitoring* secara *real-time* serta mengumpulkan data dari mesin dan peralatan yang digunakan. Namun pada penelitian [13] mengimplementasikan REST API dengan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) untuk melakukan pemantauan dan mengendalikan infrastruktur terkoordinasi yang andal, fleksibel, hemat biaya, dan canggih. Pada penelitian [8] melakukan pemantauan mesin secara *real-time* dengan kamera berbasis IoT yang menggunakan sistem FPGA, untuk menangkap gambar dari layar kontrol mesin yang direkomendasikan. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh [9], [14], [15] yang menggunakan sistem teknologi *cloud computing* untuk pemantauan aktivitas jarak jauh secara *real-time*. Pada penelitian [14], [15] hasil pemantauan yang presisi selain kamera untuk menangkap layar juga terdapat pemrosesan aliran video secara *real-time*.

Penelitian lain yang dilakukan [10], [11] menggunakan metode *decision tree* untuk mengklasifikasikan data nyata dan data palsu yang akan mempermudah dalam pengambilan keputusan untuk operasional pabrik. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh [16] menggunakan sistem model *Hidden Markov Model* (HMM) untuk mendeteksi kesalahan melalui optimalisasi keadaan yang diamati tanpa informasi terlebih dahulu mengenai kondisi data yang dikumpulkan. Pada penelitian [17] yang akan mengembangkan sistem

Network Intrusion Detection System (NIDS) untuk menganalisis dan mendeteksi ancaman keamanan dan melindungi aset digital, mendeteksi serangan dan ancaman siber telah menjadi tujuan utama sistem NIDS.

Pada penelitian [12] mengimplementasikan *smart factory* dengan metode *Horizontal Integration*, *Vertical Integration*, dan *End-to-End Integration* serta berbagai teknologi IoT yang diterapkan agar menciptakan lingkungan manufaktur yang adaptif, efisien, dan responsif. Teknologi yang digunakan, yaitu *Cloud Computing*, *Big Data Analytics*, *IWN*, *RFID Tags*, *Robotic Machines* dan *Conveying System*. Metode lain dalam implementasi *smart factory* seperti yang dilakukan [18] dapat menggunakan metode *The Digital Twin* (DT). DT sebagai paradigma untuk representasi virtual sistem nyata, untuk proses manufaktur dan kolaborasi *human-robots*, dan Industri 4.0 untuk otomasi manufaktur.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan penelitian yang dilakukan, penulis menemukan 5 metode yang digunakan dalam melakukan pengembangan dan penerapan IoT dalam lingkungan manufaktur, termasuk REST API dengan integrasi ERP, *Vision-Based Data Reader*, *Decision Tree*, *Intelligent Industry Monitoring System*, *Horizontal Integration*, *Vertical Integration*, dan *End-to-End Integration* untuk implementasi *smart factory*. Berbagai metode ini didukung oleh berbagai teknologi seperti perangkat IoT, sistem *cloud computing*, *big data analytics*, sensor pintar, *edge computing*, dan *platform digital twin*. Sebagian besar metode, teknologi yang digunakan, dan hasil yang diperoleh dari penelitian termasuk dalam pilar pengembangan IoT di lingkungan manufaktur.

Penelitian menunjukkan bahwa penerapan IoT secara signifikan meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam sektor manufaktur. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara *real-time*, analisis data yang lebih cepat, dan pengambilan keputusan yang lebih tepat. Algoritma seperti *decision tree* telah berhasil mengklasifikasikan data nyata dan palsu dengan tingkat akurasi tinggi, mendukung validasi daring, serta meningkatkan keandalan sistem IoT. Di sisi lain, integrasi *cloud computing* dan *big data analytics* memungkinkan pengelolaan data skala besar yang dihasilkan oleh perangkat IoT, sementara *digital twin* memberikan representasi virtual untuk simulasi dan pengoptimalan proses manufaktur.

Secara keseluruhan, metode dan teknologi yang dikaji dalam literatur ini membentuk fondasi

yang kokoh untuk pengembangan IoT di lingkungan manufaktur, memfasilitasi adaptasi terhadap era Industri 4.0 dengan menciptakan sistem yang adaptif, efisien, dan responsif terhadap perubahan kebutuhan pasar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Katarzyna, P. Izabela, B. W. Patrycja, K. Weronika, and T. Andrzej, "Lca as a tool for the environmental management of car tire manufacturing," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 20, pp. 1–25, Oct. 2020, doi: 10.3390/app10207015.
- [2] V. Sima, I. G. Gheorghe, J. Subić, and D. Nancu, "Influences of the industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: A systematic review," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, May 2020, doi: 10.3390/SU12104035.
- [3] S. R. Fletcher *et al.*, "Adaptive automation assembly: Identifying system requirements for technical efficiency and worker satisfaction," *Comput Ind Eng*, vol. 139, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2019.03.036.
- [4] A. Felsberger, F. H. Qaiser, A. Choudhary, and G. Reiner, "The impact of Industry 4.0 on the reconciliation of dynamic capabilities: evidence from the European manufacturing industries," *Production Planning and Control*, vol. 33, no. 2–3, pp. 277–300, 2022, doi: 10.1080/09537287.2020.1810765.
- [5] M. Majid *et al.*, "Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review," *Sensors*, vol. 22, no. 6, Mar. 2022, doi: 10.3390/s22062087.
- [6] T. Kalsoom *et al.*, "Impact of IoT on manufacturing industry 4.0: A new triangular systematic review," Nov. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/su132212506.
- [7] H. Hwang and Y. Seo, "IoT 기반의 실시간 에너지 사용 데이터 수집 및 분석 시스템 개발 A Development of Real-time Energy Usage Data Collection and Analysis System based on the IoT," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 22, no. 3, pp. 366–373, 2019, doi: 10.9717/kmms.2019.22.3.366.
- [8] T. C. Hsu, Y. H. Tsai, and D. M. Chang, "The Vision-Based Data Reader in IoT System for Smart Factory," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 13, Jul. 2022, doi: 10.3390/app12136586.
- [9] A. Varma, S. Prabhakar, and K. Jayavel, "Gas Leakage Detection and Smart Alerting and prediction using IoT," in *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies, ICCCT 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2017, pp. 327–333. doi: 10.1109/ICCCT2.2017.7972304.
- [10] M. Elsis, K. Mahmoud, M. Lehtonen, and M. M. F. Darwish, "Reliable industry 4.0 based on machine learning and IOT for analyzing, monitoring, and securing smart meters," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 2, pp. 1–16, Jan. 2021, doi: 10.3390/s21020487.
- [11] M. Sujatha *et al.*, "IoT and Machine Learning-Based Smart Automation System for Industry 4.0 Using Robotics and Sensors," *J Nanomater*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/6807585.
- [12] S. Wang, J. Wan, D. Li, and C. Zhang, "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook," *Int J Distrib Sens Netw*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/3159805.
- [13] L. O. Aghenta and M. T. Iqbal, "Low-cost, open source IoT-based SCADA system design using thinger.IO and ESP32 thing," *Electronics (Switzerland)*, vol. 8, no. 8, Aug. 2019, doi: 10.3390/electronics8080822.
- [14] A. C. Cob-Parro, C. Losada-Gutiérrez, M. Marrón-Romera, A. Gardel-Vicente, and I. Bravo-Muñoz, "Smart video surveillance system based on edge computing," *Sensors*, vol. 21, no. 9, May 2021, doi: 10.3390/s21092958.
- [15] R. Rajavel, S. K. Ravichandran, K. Harimoorthy, P. Nagappan, and K. R. Gobichettipalayam, "IoT-based smart healthcare video surveillance system using edge computing," *J Ambient Intell Humaniz Comput*, vol. 13, no. 6, pp. 3195–3207, Jun. 2022, doi: 10.1007/s12652-021-03157-1.
- [16] A. Martins, I. Fonseca, J. T. Farinha, J. Reis, and A. M. Cardoso, "Maintenance prediction through sensing using hidden markov models—a case study," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/app11167685.
- [17] M. Sarhan, S. Layeghy, N. Moustafa, M. Gallagher, and M. Portmann, "Feature extraction for machine learning-based intrusion detection in IoT networks," *Digital Communications and Networks*, vol. 10, no. 1, pp. 205–216, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.dcan.2022.08.012.
- [18] L. Ante, "Digital twin technology for smart manufacturing and industry 4.0: A bibliometric analysis of the intellectual

- structure of the research discourse,” *Manuf Lett*, vol. 27, pp. 96–102, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.mfglet.2021.01.003.
- [19] Y. Wang *et al.*, “Performance simulation and policy optimization of waste polyethylene terephthalate bottle recycling system in China,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 162, no. February, p. 105014, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105014.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian

Penulis	Metode	Teknologi	Hasil
[7]	REST API dan integrasi dengan <i>Enterprise Resource Planning (ERP)</i>	<i>IoT devices, Supervisory Control and Data Acquisiton (SCADA), MongoDB, MySQL, Redis, RESTful API, MQTT, Socket Communication, dan Spring Framework</i>	Sistem pemantauan dan analisis dapat dirancang untuk mengumpulkan data, dengan memberikan <i>monitoring real-time</i> dan pencarian data historis dengan efisien.
[8]	<i>Vision-Based Data Reader</i> dalam IoT	Kamera berbasis IoT, <i>Field Programmable Gate Array (FPGA), Deep Learning Network, dan Cloud Computing</i>	Meningkatkan efisiensi produksi dengan pemantauan parameter mesin secara <i>real-time</i> , mencapai akurasi pengenalan digit sebesar 97,56% dan mengurangi kemungkinan produk cacat.
[11]	<i>Decision Tree</i>	IoT <i>Smart Meter, Sensor Network, Edge Computing, Wireless and Wired Communication</i>	Mampu mengklasifikasi data nyata dan palsu dengan efisiensi 78% yang meningkatkan keandalan sistem IoT pintar di industri berdasarkan <i>Machine Learning</i> dan dapat mendukung pemeliharaan prediktif pada mesin.
[9]	<i>IoT Based Intelligent Industry Monitoring System</i>	<i>Raspberry Pi, Wireless Sensor Networks (WSN), Arduino, Microcontroller Based System, dan Google Cloud</i>	<i>Intelligent Industry Monitoring System</i> berbasis IoT yang menggunakan <i>Raspberry Pi</i> dan sensor cerdas lainnya dapat memantau rantai Industri secara <i>real-time</i> dan efektif. Selain itu, dapat mengembangkan aplikasi yang memantau kualitas udara di sekitar lingkungan manufaktur dan dapat digunakan oleh masyarakat untuk memantau kualitas udara di daerah mereka melalui aplikasi di <i>handphone</i> .
[19]	<i>Horizontal Integration, Vertical Integration, dan End-to-End Integration untuk implementasi Smart Factory</i>	<i>Cloud Computing, Big Data Analytics, Industrial Wireless Networking (IWN), RFID Tags, Robotic Machines, dan Conveying System</i>	Implementasi smart factory dari Industri 4.0 yang memanfaatkan teknologi Cloud Computing, Big Data Analytics, Industrial Wireless Networking (IWN), RFID Tags, Robotic Machines, dan Conveying System untuk menciptakan lingkungan manufaktur yang adaptif, efisien, dan responsif terhadap perubahan pasar dan permintaan konsumen.
[10]	<i>Decision Tree untuk data akuisisi dan analisis</i>	<i>Edge Computing, Data Analytics Platforms, Real-time Monitoring</i>	Algoritma dalam Decision Tree dalam sistem Smart Meters yang dikembangkan dapat mendeteksi data asli dan palsu, serta kehilangan data yang diakibatkan karena sinyal internet yang tidak stabil. Jika sistem kehilangan data tidak memadai, akan mempengaruhi pengambilan keputusan dan berpotensi menyebabkan masalah operasional.