

Dinamika Riset Informatika di Era Industri 4.0

Abduhu Rafik ^{1)*} , Romeo Djefzy Romadhoni ²⁾ 

¹⁾²⁾Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾abduhurafik@gmail.com ²⁾mazjeffzy026@gmail.com

Abstract

Riset Perkembangan teknologi pada era Industri 4.0 telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang, termasuk informatika. Dinamika riset informatika saat ini ditandai dengan meningkatnya integrasi teknologi seperti kecerdasan buatan, big data, Internet of Things (IoT), dan komputasi awan dalam berbagai sektor kehidupan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan, tren, serta tantangan dalam riset informatika di era Industri 4.0. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap berbagai jurnal ilmiah dan publikasi terkait. Hasil kajian menunjukkan bahwa riset informatika berperan penting dalam mendukung transformasi digital, meningkatkan efisiensi sistem, serta mendorong inovasi di berbagai sektor, seperti pendidikan, kesehatan, dan industri. Namun demikian, terdapat tantangan yang harus dihadapi, seperti keamanan data, privasi, serta kesiapan sumber daya manusia. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang tepat dalam pengembangan riset informatika agar mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi yang cepat dan kompleks di era Industri 4.0.

Kata Kunci: *Dinamika Riset Informatika, Industri 4.0, Kecerdasan Buatan, Big Data, Internet of Things, Transformasi Digital.*

Article history: Received 5 April 2026, first decision 22 April 2026, accepted 22 August 2026, available online 28 October 2026

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi dalam beberapa dekade terakhir telah mengalami percepatan yang sangat signifikan, terutama sejak munculnya konsep revolusi industri 4.0 yang ditandai dengan integrasi teknologi digital, sistem fisik, serta jaringan komunikasi global yang saling terhubung secara real-time sehingga menciptakan ekosistem teknologi yang kompleks dan dinamis [1]. Fenomena ini tidak hanya berdampak pada sektor industri dan ekonomi, tetapi juga membawa perubahan fundamental dalam dunia akademik dan penelitian, khususnya dalam bidang informatika yang menjadi salah satu pilar utama dalam pengembangan teknologi digital modern [2].

Era industri 4.0 menghadirkan berbagai teknologi inovatif seperti kecerdasan buatan (Artificial Intelligence), Internet of Things (IoT), big data analytics, cloud computing, serta blockchain yang secara kolektif mampu mengubah cara manusia dalam mengakses, mengolah, dan memanfaatkan informasi dalam skala besar dengan tingkat efisiensi dan akurasi yang tinggi [3]. Dengan adanya teknologi tersebut, penelitian di bidang informatika tidak lagi terbatas pada pengembangan sistem komputasi konvensional, melainkan telah berkembang menjadi penelitian yang bersifat adaptif, prediktif, dan berbasis data yang mampu memberikan solusi terhadap berbagai permasalahan kompleks di berbagai sektor kehidupan [4].

Dalam konteks riset, dinamika informatika mengalami transformasi yang sangat cepat, dimana pendekatan penelitian yang sebelumnya bersifat statis dan terpisah kini berubah menjadi lebih kolaboratif, terintegrasi, dan multidisipliner dengan melibatkan berbagai bidang ilmu seperti matematika, statistika, teknik elektro, hingga ilmu sosial [5]. Hal ini menunjukkan bahwa riset informatika di era industri 4.0 tidak hanya berorientasi pada pengembangan teknologi semata, tetapi juga pada bagaimana teknologi tersebut dapat memberikan dampak nyata bagi masyarakat, industri, serta lingkungan secara berkelanjutan [6].

Selain itu, meningkatnya kebutuhan akan sistem yang cerdas dan otomatis juga mendorong para peneliti untuk mengembangkan metode penelitian yang lebih inovatif dan responsif terhadap perubahan yang terjadi secara cepat dalam lingkungan digital [7]. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai dinamika riset informatika

*Abduhu Rafik

menjadi sangat penting agar penelitian yang dilakukan tidak hanya relevan secara akademik, tetapi juga memiliki nilai praktis yang tinggi serta mampu menjawab tantangan global di era digital saat ini [8].

II. TINJAUAN PUSTAKA

a. Konsep Era Industri 4.0

Era industri 4.0 merupakan tahap lanjutan dari revolusi industri sebelumnya yang ditandai dengan penggunaan teknologi digital secara masif dalam berbagai aspek kehidupan manusia, dimana proses produksi dan layanan tidak lagi bergantung sepenuhnya pada tenaga manusia, melainkan telah digantikan oleh sistem otomatisasi yang cerdas dan terintegrasi melalui jaringan internet [9]. Konsep ini menekankan pada integrasi antara cyber-physical systems dengan teknologi informasi yang memungkinkan terjadinya komunikasi antar perangkat secara mandiri tanpa intervensi manusia secara langsung [10].

Implementasi teknologi seperti Internet of Things (IoT) memungkinkan berbagai perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data secara real-time, sementara big data analytics berperan dalam mengolah data dalam jumlah besar untuk menghasilkan informasi yang bernilai guna dalam pengambilan keputusan [11]. Di sisi lain, kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) memungkinkan sistem untuk belajar dari data yang tersedia dan membuat keputusan secara otomatis berdasarkan pola yang telah dianalisis sebelumnya [12].

Dengan adanya kombinasi berbagai teknologi tersebut, era industri 4.0 tidak hanya meningkatkan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga membuka peluang baru dalam pengembangan inovasi yang berbasis teknologi digital [13].

b. Riset Informatika

Riset informatika merupakan suatu kegiatan ilmiah yang dilakukan secara sistematis dengan tujuan untuk mengembangkan pengetahuan, metode, serta teknologi dalam bidang komputasi dan sistem informasi guna menyelesaikan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan pengolahan data dan informasi [14]. Dalam perkembangannya, riset informatika mengalami perubahan yang sangat signifikan seiring dengan kemajuan teknologi yang semakin kompleks dan dinamis [15].

Pada era sebelumnya, riset informatika lebih berfokus pada pengembangan perangkat lunak, sistem basis data, serta jaringan komputer, namun pada era industri 4.0, cakupan riset informatika menjadi jauh lebih luas dengan melibatkan berbagai bidang seperti machine learning, deep learning, computer vision, natural language processing, serta keamanan siber yang menjadi komponen penting dalam sistem digital modern [16].

Selain itu, pendekatan yang digunakan dalam riset informatika juga mengalami perkembangan, dimana metode penelitian yang digunakan tidak hanya berbasis eksperimen, tetapi juga berbasis data dalam skala besar yang memungkinkan peneliti untuk menemukan pola dan hubungan yang tidak dapat dideteksi melalui metode konvensional [17]. Hal ini menunjukkan bahwa riset informatika memiliki peran yang sangat strategis dalam mendukung perkembangan teknologi serta inovasi di berbagai sektor kehidupan [18].

c. Dinamika Riset Informatika di Era Industri 4.0

Dinamika riset informatika di era industri 4.0 ditandai dengan perubahan yang sangat cepat dalam hal teknologi, metode penelitian, serta kebutuhan akan solusi yang inovatif dan adaptif terhadap perubahan lingkungan yang terjadi secara terus-menerus [19]. Salah satu karakteristik utama dari dinamika ini adalah meningkatnya penggunaan pendekatan berbasis data (data-driven approach) dalam proses penelitian, dimana data menjadi sumber utama dalam menghasilkan pengetahuan baru [20].

Selain itu, riset informatika juga semakin bersifat kolaboratif, dimana peneliti dari berbagai disiplin ilmu bekerja sama untuk menghasilkan solusi yang lebih komprehensif dan efektif dalam menyelesaikan permasalahan yang kompleks

[21]. Kolaborasi ini tidak hanya terjadi dalam lingkup nasional, tetapi juga internasional, sehingga memungkinkan pertukaran pengetahuan dan teknologi secara global [22].

Perkembangan teknologi yang sangat pesat juga mendorong munculnya berbagai tantangan baru dalam riset informatika, seperti masalah keamanan data, privasi, serta etika dalam penggunaan teknologi yang harus diperhatikan oleh para peneliti [23]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan aspek sosial dan etika dalam pengembangan teknologi [24].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi literatur (literature review) yang bertujuan untuk mengkaji secara mendalam mengenai dinamika riset informatika di era industri 4.0 berdasarkan berbagai sumber ilmiah yang relevan dan terpercaya [25]. Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran yang komprehensif dan sistematis mengenai perkembangan riset informatika serta faktor-faktor yang mempengaruhinya dalam konteks revolusi industri 4.0 [26].

Tahapan penelitian diawali dengan proses identifikasi masalah yang dilakukan dengan mengkaji fenomena perkembangan teknologi serta perubahan yang terjadi dalam dunia penelitian informatika [27]. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data melalui pencarian literatur dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku akademik, prosiding konferensi, serta publikasi ilmiah lainnya yang memiliki relevansi dengan topik penelitian [28].

Setelah data terkumpul, dilakukan proses seleksi dan evaluasi terhadap sumber-sumber yang digunakan untuk memastikan bahwa data yang dianalisis memiliki kualitas dan kredibilitas yang tinggi [29]. Data yang telah diseleksi kemudian dianalisis menggunakan teknik analisis konten (content analysis) yang bertujuan untuk mengidentifikasi pola, tren, serta hubungan antar konsep yang berkaitan dengan dinamika riset informatika [30].

Proses analisis dilakukan secara sistematis dengan mengelompokkan data berdasarkan kategori tertentu seperti teknologi yang digunakan, metode penelitian yang diterapkan, serta bidang aplikasi yang menjadi fokus penelitian [31]. Selanjutnya, hasil analisis disajikan dalam bentuk deskripsi naratif yang mendalam untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai dinamika riset informatika di era industri 4.0 [32].

Dengan menggunakan metode ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami perkembangan riset informatika serta menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengkaji topik serupa secara lebih mendalam [33].

Tabel 3.1 Tahapan Analisis Data

No	Teknik Analisis	Penjelasan
1	Analisis Konten	Digunakan untuk mengidentifikasi isi utama dari literatur yang dikaji serta menemukan pola penelitian
2	Klasifikasi Data	Mengelompokkan data berdasarkan kategori tertentu seperti teknologi dan metode penelitian
3	Interpretasi Data	Menafsirkan hasil analisis untuk memahami dinamika riset informatika secara menyeluruh
4	Sintesis Literatur	Menggabungkan berbagai hasil penelitian untuk menghasilkan pemahaman yang komprehensif

Selain itu, dalam rangka memastikan kualitas penelitian, digunakan kriteria pemilihan sumber literatur yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.2 Kriteria Pemilihan Literatur

No	Kriteria	Deskripsi
1	Relevansi	Literatur harus sesuai dengan topik riset informatika dan industri 4.0
2	Tahun Publikasi	Diutamakan literatur 10 tahun terakhir untuk menjaga kebaruan data
3	Kredibilitas Sumber	Berasal dari jurnal terindeks, buku akademik, atau konferensi ilmiah
4	Keakuratan Data	Memiliki data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan
5	Kontribusi Penelitian	Memberikan insight atau temuan yang signifikan dalam bidang informatika

Secara keseluruhan, metode penelitian ini dirancang untuk memberikan gambaran yang sistematis dan mendalam mengenai dinamika riset informatika di era industri 4.0, dengan memanfaatkan pendekatan literatur yang komprehensif serta teknik analisis yang terstruktur sehingga hasil penelitian yang diperoleh dapat memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan dan dapat dijadikan sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya [29].

IV. HASIL

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, diperoleh sejumlah temuan yang menunjukkan bahwa dinamika riset informatika di era industri 4.0 mengalami perkembangan yang sangat pesat dan signifikan. Perkembangan tersebut terlihat dari meningkatnya jumlah penelitian yang berfokus pada teknologi digital modern serta semakin luasnya cakupan bidang yang diteliti dalam konteks informatika.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fokus utama riset informatika saat ini didominasi oleh pengembangan teknologi seperti kecerdasan buatan, big data, Internet of Things, dan komputasi awan. Teknologi-teknologi tersebut menjadi pusat perhatian karena memiliki kemampuan dalam mengolah data secara cepat, akurat, dan dalam jumlah besar, sehingga banyak digunakan dalam berbagai bidang aplikasi.

Selain itu, ditemukan bahwa metode penelitian yang digunakan dalam riset informatika mengalami perubahan yang cukup signifikan. Pendekatan berbasis data menjadi metode yang paling banyak digunakan, dimana penelitian dilakukan dengan memanfaatkan data dalam jumlah besar untuk menghasilkan model, sistem, atau aplikasi yang lebih akurat dan efisien. Data yang digunakan dalam penelitian berasal dari berbagai sumber, baik data terstruktur maupun tidak terstruktur, yang kemudian diolah menggunakan teknik analisis yang sesuai.

Hasil lainnya menunjukkan bahwa tingkat kompleksitas dalam penelitian informatika juga mengalami peningkatan. Penelitian tidak lagi bersifat sederhana, melainkan melibatkan berbagai komponen teknologi yang saling terintegrasi. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian saat ini umumnya terdiri dari beberapa bagian yang bekerja secara bersamaan, seperti pengolahan data, analisis, serta penyajian hasil dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna.

Selanjutnya, hasil penelitian juga menunjukkan adanya peningkatan dalam kolaborasi antar peneliti. Penelitian informatika pada era industri 4.0 cenderung dilakukan secara tim dengan melibatkan berbagai disiplin ilmu. Kolaborasi ini terjadi tidak hanya dalam lingkup satu institusi, tetapi juga melibatkan kerja sama antar institusi, baik di tingkat nasional maupun internasional.

Selain itu, ditemukan bahwa penggunaan teknologi dalam penelitian tidak hanya terbatas pada pengembangan sistem, tetapi juga mencakup penerapan teknologi dalam berbagai sektor seperti kesehatan, pendidikan, industri, dan pemerintahan. Hal ini menunjukkan bahwa riset informatika memiliki cakupan yang sangat luas dan dapat diterapkan dalam berbagai bidang kehidupan.

Untuk memperjelas hasil penelitian, berikut disajikan ringkasan temuan utama dalam bentuk tabel:

Tabel Ringkasan Hasil Penelitian

No	Aspek yang Dianalisis	Hasil Temuan
1	Perkembangan Riset	Mengalami peningkatan pesat dan signifikan
2	Fokus Penelitian	Beralih ke AI, Big Data, IoT, dan Cloud Computing
3	Metode Penelitian	Menggunakan pendekatan berbasis data (data-driven)
4	Kolaborasi	Meningkat secara nasional dan internasional
5	Kompleksitas Penelitian	Semakin tinggi dan multidisipliner

V. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, dapat dianalisis bahwa dinamika riset informatika di era industri 4.0 menunjukkan adanya perubahan yang sangat signifikan tidak hanya dari segi jumlah penelitian, tetapi juga dari segi kualitas, pendekatan, serta tujuan dari penelitian itu sendiri. Peningkatan fokus pada teknologi seperti kecerdasan buatan, big data, Internet of Things, dan komputasi awan mencerminkan bahwa arah perkembangan riset informatika saat ini sangat dipengaruhi oleh kebutuhan akan sistem yang mampu bekerja secara otomatis, cepat, dan akurat dalam mengolah data.

Temuan mengenai dominasi metode berbasis data menunjukkan bahwa penelitian informatika telah mengalami pergeseran paradigma yang cukup jelas. Jika sebelumnya penelitian lebih berorientasi pada pengujian teori atau pengembangan sistem sederhana, maka pada era saat ini penelitian lebih menekankan pada pemanfaatan data sebagai dasar utama dalam pengambilan keputusan. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan dalam mengelola dan menganalisis data menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan suatu penelitian.

Selain itu, meningkatnya kompleksitas sistem yang dikembangkan dalam penelitian menunjukkan bahwa riset informatika tidak lagi berdiri sendiri sebagai satu bidang yang terpisah, melainkan telah terintegrasi dengan berbagai teknologi lain. Sistem yang dibangun saat ini umumnya terdiri dari beberapa komponen yang saling terhubung, seperti pengumpulan data, pemrosesan data, analisis, hingga visualisasi hasil. Integrasi ini memungkinkan sistem untuk bekerja secara lebih efisien dan memberikan hasil yang lebih optimal.

Dari sisi kolaborasi, hasil penelitian yang menunjukkan adanya peningkatan kerja sama antar peneliti mengindikasikan bahwa permasalahan yang dihadapi dalam era industri 4.0 semakin kompleks dan tidak dapat diselesaikan oleh satu disiplin ilmu saja. Kolaborasi multidisipliner menjadi sangat penting karena memungkinkan penggabungan berbagai keahlian untuk menghasilkan solusi yang lebih komprehensif. Selain itu, kolaborasi internasional juga membuka peluang untuk pertukaran pengetahuan dan teknologi yang lebih luas.

Dalam konteks penerapan, hasil penelitian yang menunjukkan bahwa riset informatika telah digunakan di berbagai sektor seperti kesehatan, pendidikan, industri, dan pemerintahan menunjukkan bahwa peran informatika semakin luas dan strategis. Hal ini mengindikasikan bahwa penelitian informatika tidak hanya berkontribusi dalam pengembangan teknologi, tetapi juga dalam meningkatkan kualitas layanan dan efisiensi di berbagai sektor kehidupan.

Namun demikian, perkembangan ini juga membawa berbagai tantangan yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan utama adalah meningkatnya risiko terkait keamanan dan privasi data. Dengan semakin banyaknya data yang digunakan dalam penelitian, maka potensi terjadinya kebocoran atau penyalahgunaan data juga semakin besar. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan yang lebih baik serta regulasi yang jelas dalam pengelolaan data.

Selain itu, peningkatan kompleksitas teknologi juga menuntut kemampuan sumber daya manusia yang lebih tinggi. Tidak semua peneliti memiliki kemampuan yang memadai dalam menguasai teknologi terbaru, sehingga dapat menjadi hambatan dalam pengembangan riset. Hal ini menunjukkan pentingnya peningkatan kompetensi melalui pendidikan dan pelatihan yang berkelanjutan.

Di sisi lain, peluang yang dihasilkan dari dinamika riset informatika ini juga sangat besar. Perkembangan teknologi memungkinkan terciptanya inovasi yang dapat memberikan solusi terhadap berbagai permasalahan yang kompleks, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi dan kualitas hidup masyarakat. Dengan demikian, riset informatika memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung transformasi digital di berbagai sektor.

Untuk memperjelas pembahasan, berikut disajikan ringkasan analisis:

Tabel 5.1 Analisis Pembahasan

No	Aspek	Analisis
1	Fokus Teknologi	Mengarah ke sistem cerdas dan otomatis
2	Metode Penelitian	Berbasis data dan analisis besar
3	Kompleksitas Sistem	Terintegrasi dan multidisipliner
4	Kolaborasi	Meningkat lintas bidang dan negara
5	Tantangan	Keamanan data dan keterbatasan SDM
6	Peluang	Inovasi luas di berbagai sektor

Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa dinamika riset informatika di era industri 4.0 merupakan suatu proses transformasi yang kompleks dan berkelanjutan, dimana perkembangan teknologi, kebutuhan industri, serta kemampuan sumber daya manusia saling berinteraksi dalam membentuk arah penelitian di masa depan.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dinamika riset informatika di era industri 4.0 mengalami perkembangan yang sangat pesat dan membawa perubahan yang signifikan dalam berbagai aspek penelitian. Perubahan tersebut tidak hanya terlihat dari meningkatnya jumlah penelitian yang dilakukan, tetapi juga dari pergeseran fokus, metode, serta kompleksitas sistem yang dikembangkan dalam penelitian informatika.

Riset informatika pada era ini menunjukkan kecenderungan yang kuat menuju pemanfaatan teknologi canggih seperti kecerdasan buatan, big data, Internet of Things, dan komputasi awan, yang berperan penting dalam mendukung pengolahan data secara cepat, akurat, dan dalam skala besar. Selain itu, metode penelitian yang digunakan juga mengalami perubahan dari pendekatan konvensional menuju pendekatan berbasis data, dimana data menjadi elemen utama dalam menghasilkan solusi dan inovasi yang lebih efektif.

Perkembangan tersebut juga diikuti dengan meningkatnya kompleksitas sistem yang dibangun, yang menunjukkan bahwa penelitian informatika saat ini tidak lagi bersifat sederhana, melainkan melibatkan integrasi berbagai teknologi yang saling terhubung. Hal ini diperkuat dengan adanya peningkatan kolaborasi antar peneliti yang bersifat multidisipliner, yang memungkinkan penyelesaian permasalahan secara lebih komprehensif.

Di sisi lain, dinamika riset informatika juga menghadapi berbagai tantangan, terutama yang berkaitan dengan keamanan dan privasi data, serta keterbatasan sumber daya manusia dalam mengikuti perkembangan teknologi yang sangat cepat. Tantangan-tantangan tersebut perlu diatasi melalui peningkatan kompetensi, penguatan sistem keamanan, serta pengembangan kebijakan yang mendukung penggunaan teknologi secara aman dan bertanggung jawab.

Secara keseluruhan, riset informatika di era industri 4.0 memiliki peran yang sangat strategis dalam mendorong inovasi dan transformasi digital di berbagai sektor kehidupan. Oleh karena itu, diperlukan upaya yang berkelanjutan dalam mengembangkan penelitian yang tidak hanya berorientasi pada kemajuan teknologi, tetapi juga pada manfaat nyata yang dapat dirasakan oleh masyarakat secara luas.

Kontribusi Penulis: Abduhu Rafik: Konseptualisasi, Perancangan Metodologi, Analisis Data, Penulis Draf Awal, dan supervise, Investigasi, visualisasi, validasi simulasi, serta penyusunan dan penyuntingan Naskah Akhir.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan

Pendanaan:-

Ucapan Terima Kasih:-

Konflik Kepentingan Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersedian Data;https:-

Pesetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis pertama:https:-

Penulis kedua:https:-

Penulis ketiga:-

REFRENSI

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey," *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393–422, 2002.
- [2] I. F. Akyildiz and M. C. Vuran, *Wireless Sensor Networks*. Wiley, 2010.
- [3] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [4] G. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, and A. Passarella, "Energy conservation in wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 3, pp. 537–568, 2009.
- [5] M. Bacco, P. Barsocchi, E. Ferro, A. Gotta, and M. Ruggeri, "The digitisation of agriculture," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 10, pp. 10–17, 2017.
- [6] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006.
- [7] R. Boutaba et al., "A comprehensive survey on machine learning for networking," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 1995–2021, 2018.
- [8] A. Boukerche et al., "Localization systems for wireless sensor networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, no. 6, pp. 6–12, 2007.
- [9] L. Breiman, "Random forests," *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [10] M. Chen, S. Mao, and Y. Liu, "Big data: A survey," *Mobile Networks and Applications*, vol. 19, pp. 171–209, 2014.
- [11] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges," *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247–1256, 2003.
- [12] T. M. Cover and P. E. Hart, "Nearest neighbor pattern classification," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, no. 1, pp. 21–27, 1967.
- [13] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of sensor networks," *Computer*, vol. 37, no. 8, pp. 41–49, 2004.
- [14] J. Dean and S. Ghemawat, "MapReduce: Simplified data processing," *Communications of the ACM*, vol. 51, no. 1, pp. 107–113, 2008.
- [15] L. Deng and D. Yu, "Deep learning: Methods and applications," *Foundations and Trends in Signal Processing*, vol. 7, no. 3–4, pp. 197–387, 2014.
- [16] J. Gubbi et al., "Internet of Things: A vision," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [17] J. Han, M. Kamber, and J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*. Elsevier, 2011.
- [18] K. He et al., "Deep residual learning for image recognition," in *IEEE Conference*, 2016.
- [19] G. Hinton et al., "Deep belief networks," *Neural Computation*, vol. 18, no. 7, pp. 1527–1554, 2006.
- [20] M. I. Jordan and T. M. Mitchell, "Machine learning trends," *Science*, vol. 349, no. 6245, pp. 255–260, 2015.
- [21] R. Kitchin, *Big Data Revolution*. Sage, 2014.
- [22] A. Krizhevsky et al., "ImageNet classification," in *NIPS*, 2012.
- [23] J. Lee et al., "Cyber-physical systems in Industry 4.0," *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18–23, 2015.
- [24] S. Li, L. D. Xu, and S. Zhao, "IoT applications," *Information Systems Frontiers*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, 2015.
- [25] J. Manyika et al., "Big data report," McKinsey Global Institute, 2011.
- [26] P. Mell and T. Grance, "Cloud computing definition," NIST, 2011.
- [27] T. Mitchell, *Machine Learning*. McGraw-Hill, 1997.
- [28] M. E. Porter and J. Heppelmann, "Smart connected products," *Harvard Business Review*, 2014.
- [29] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson, 2016.
- [30] K. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, 2016.
- [31] W. Shi et al., "Edge computing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2016.

- [32] S. Singh and N. Singh, "Big data analytics," *Procedia Computer Science*, vol. 50, pp. 375–380, 2015.
- [33] A. S. Tanenbaum and D. Wetherall, *Computer Networks*. Pearson, 2011.
- [34] H. R. Varian, "Big data opportunities," *Journal of Economic Perspectives*, vol. 28, no. 2, pp. 3–28, 2014.
- [35] S. Wang et al., "Edge computing survey," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 128–140, 2018.
- [36] L. D. Xu et al., "Industry 4.0 overview," *IEEE Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, 2014.
- [37] Q. Yang et al., "Federated learning," *ACM Transactions*, 2019.
- [38] Q. Zhang et al., "Cloud computing review," *Future Generation Computer Systems*, vol. 25, no. 6, pp. 599–616, 2010.
- [39] K. Zhou et al., "Industry 4.0 overview," in *IEEE Conference*, 2015.
- [40] P. Zikopoulos and C. Eaton, *Understanding Big Data*. McGraw-Hill, 2011.
- [41] E. Prasetyo and T. Nugroho, "Implementasi kecerdasan buatan dalam sistem informasi modern," *Jurnal Informatika Indonesia*, vol. 14, no. 2, pp. 101–110, 2019.
- [42] B. Santoso and R. Hidayat, "Analisis big data dalam pengambilan keputusan berbasis teknologi," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 8, no. 1, pp. 45–56, 2020.
- [43] T. P. Putra and A. Wijaya, "Penerapan Internet of Things pada sistem monitoring cerdas," *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 10, no. 3, pp. 120–130, 2021.
- [44] D. Nugraha and Y. Pratama, "Pengembangan sistem berbasis cloud computing dalam industri digital," *Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 6, no. 2, pp. 89–98, 2018.
- [45] A. Kurniawan and D. Saputra, "Transformasi digital pada era industri 4.0," *Jurnal Teknologi dan Industri*, vol. 12, no. 1, pp. 15–25, 2022.
- [46] F. Rahman and H. Setiawan, "Analisis keamanan data dalam sistem berbasis IoT," *Jurnal Keamanan Informasi*, vol. 5, no. 2, pp. 77–88, 2020.
- [47] S. Wibowo and P. Lestari, "Machine learning dalam analisis data besar," *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 11, no. 1, pp. 33–42, 2019.
- [48] T. E. P. Prasetyo, "Dinamika riset informatika di era industri 4.0," *Jurnal Riset Informatika*, vol. 13, no. 2, pp. 55–66, 2021.
- [49] T. E. P. Prasetyo and M. Fauzan, "Perkembangan teknologi digital dan implikasinya terhadap penelitian informatika," *Jurnal Teknologi Modern*, vol. 9, no. 3, pp. 201–210, 2022.
- [50] T. E. P. Prasetyo, "Integrasi artificial intelligence dalam sistem berbasis data," *Jurnal Informatika dan Sistem Cerdas*, vol. 15, no. 1, pp. 1–12, 2023.

Publisher's Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.