

PENGEMBANGAN BUKU ALGORITMA SEMUT UNTUK EKOSISTEM *INTERNET OF THINGS*

Nyi Mas Nur'Aeni¹, Indra Maulana²

^{1,2}Institut Prima Bangsa

E-mail: *¹nyimasnuraeni13@gmail.com, ²indramaulana@gmail.com

Article Info

Article history:

Received 06 06, 2026

Revised 06 08, 2026

Accepted 08, 05 2026

Keywords:

Buku Pembelajaran

Internet of Things

Algoritma Semut

Riset Data

ABSTRACT

Kesenjangan antara pemahaman teori komputasi abstrak dan implementasi perangkat keras menjadi tantangan utama dalam pendidikan *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji kelayakan buku pembelajaran "Algoritma Semut untuk Ekosistem *Internet of Things*" dengan mengadopsi model ADDIE. Data survei pra-penelitian menunjukkan 84% mahasiswa kesulitan mengintegrasikan aspek perangkat keras dan lunak akibat terbatasnya bahan ajar aplikatif. Buku yang dikembangkan mencakup materi IoT, logika *Ant Colony Optimization* (ACO), perakitan ESP32, dan monitoring Android via API *OpenWeatherMap*. Validasi ahli menunjukkan skor kelayakan sebesar 91,2% (materi), 89,5% (media), dan 92,0% (bahasa) dengan kategori sangat layak. Pengujian eksperimen melalui uji coba lapangan terbatas membuktikan rute berbasis ACO mampu menurunkan *error rate* paket data sebesar 14,5% dan menghemat konsumsi energi sebesar 18,2% dibanding rute standar. Buku ini terbukti valid dan efektif menjembatani teori kecerdasan kelompok ke dalam praktik rekayasa IoT.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



1. PENDAHULUAN

Kehadiran teknologi digital disadari atau tidak telah mengubah hampir seluruh tatanan aktivitas manusia modern secara masif. *Internet of Things* (IoT) merupakan satu teknologi yang mampu menjembatani perangkat fisik agar saling terhubung, bertukar data, hingga mengeksekusi perintah secara otomatis tanpa perlu selalu bergantung pada intervensi manusia (Atzori dkk., 2017). Implementasi praktis dari ekosistem IoT ini telah merambah ke berbagai sektor kehidupan vital, mulai dari otomatisasi rumah tangga, pemantauan kesehatan jarak jauh, tata kelola kota cerdas, hingga otomatisasi sektor pertanian presisi (Pereira dkk., 2019). Melalui penyematan sensor dan aktuator yang terhubung ke jaringan internet, objek statis di sekitar kita kini bertransformasi menjadi entitas cerdas yang mampu memberikan data berharga untuk pengambilan keputusan yang lebih efektif (Zanella dkk., 2015).

Kendati menawarkan potensi efisiensi yang luar biasa besar, perluasan implementasi jaringan IoT nirkabel di lapangan kerap kali membentur tantangan teknis yang cukup pelik pada lapisan infrastruktur komunikasinya (Hossain dkk., 2016). Infrastruktur jaringan nirkabel pada sistem berskala besar membutuhkan arsitektur protokol komunikasi yang matang demi menjamin kelancaran pertukaran data antarkomponen (Al-Fuqaha dkk., 2015). Ketika jumlah node perangkat keras yang terhubung meningkat secara eksponensial, masalah penumpukan antrean data, tingginya angka keterlambatan transmisi, hilangnya paket data, serta borosnya konsumsi energi baterai menjadi kendala utama (Han dkk., 2024).

Solusi mutakhir yang sangat efektif untuk menjawab tantangan optimasi perutean pada jaringan cerdas ini adalah pemanfaatan pendekatan kecerdasan kelompok berbasis *Ant Colony Optimization* (ACO) atau Algoritma Semut (Dorigo & Stützle, 2019). Algoritma ini diadopsi dari perilaku alami koloni semut yang mampu menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan secara kolektif dengan mengandalkan akumulasi jejak senyawa kimia feromon digital di sepanjang jalur komunikasi (Shi & Zhang, 2021).

Namun, masalah mendasar muncul karena ketersediaan sumber belajar yang menjembatani kedua bidang ini masih sangat langka. Berdasarkan data survei pra-penelitian yang dilakukan penulis terhadap 50 mahasiswa teknik komunikasi, sebanyak 84% responden menyatakan kesulitan dalam mengimplementasikan algoritma kecerdasan buatan ke dalam perangkat keras riil karena keterbatasan bahan referensi. Studi penelusuran pustaka terdahulu juga menunjukkan bahwa 90% literatur ACO masih terbatas pada simulasi perangkat lunak murni tanpa integrasi fisik (Rangasamy dkk., 2023). Kebutuhan akan bahan ajar cetak yang aplikatif sangat mendesak demi menunjang efektivitas pembelajaran berbasis proyek di laboratorium (Suryaputra dkk., 2024).

Saat ini, kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada pengembangan buku ajar pertama yang mengintegrasikan teori matematis Algoritma Semut langsung ke dalam arsitektur perangkat keras ESP32 dan kontrol Android untuk sistem pertanian pintar secara fungsional. Buku ini masih memegang keunggulan dibanding buku IoT sejenis karena tidak hanya fokus pada perakitan dasar, melainkan pada optimasi efisiensi daya dan stabilitas jaringan nirkabel. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk merancang, menguji validitas multimedia, serta membuktikan efisiensi algoritma optimasi yang disajikan di dalam draf buku agar menjadi referensi akademik yang akuntabel dan ilmiah.

2. METODELOGI

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pengembangan atau *Research and Development* (R&D). Model pengembangan yang dipilih adalah model ADDIE yang meliputi lima tahapan kerja, yaitu *Analysis* (analisis), *Design* (perancangan), *Development* (pengembangan), *Implementation* (implementasi), dan *Evaluation* (evaluasi).

Untuk bagian penulisan isi bukunya sendiri, penulis menerapkan pendekatan modular (*modular approach*). Melalui pendekatan ini, materi teknologi yang rumit dipecah menjadi beberapa modul mandiri yang disusun secara berurutan agar lebih mudah dipelajari oleh mahasiswa. Penerapan pendekatan modular dalam penyusunan bahan ajar bidang teknik terbukti mampu meningkatkan fokus pemahaman mandiri mahasiswa karena materi dibagi berdasarkan unit kompetensi yang spesifik (Goldsmith, 2021). Pola instruksional berbasis modul terfragmentasi ini juga sangat efektif diterapkan pada materi praktikum mikrokontroler dan sistem tertanam di laboratorium (Karim & Rahman, 2022). Buku ini dibagi menjadi 4 bagian utama, yaitu bagian 1 mengenai Dasar-Dasar IoT, bagian 2 tentang Alur dan Konsep Algoritma Semut, bagian 3 fokus pada Perakitan *Hardware* ESP32, dan bagian 4 mengenai Integrasi Kontral Android menggunakan API *OpenWeatherMap*.

Secara ringkas, jalannya penelitian ini mengikuti langkah-langkah berikut:

1. Analisis: Mengadakan survei awal kepada mahasiswa untuk memetakan kesulitan mereka dalam merakit komponen IoT dan menerapkan algoritma, sekaligus menganalisis kebutuhan bahan ajar di lab.
2. Perancangan: Merancang kerangka isi bab per bab berdasarkan konsep modular agar setiap bab memiliki target belajar yang jelas, serta membuat draf awal diagram alir sistem.
3. Pengembangan: Menulis seluruh isi modul buku, menyusun kode program *Ant Colony Optimization* (ACO) pada software, mengurus ISBN, dan menyerahkan draf buku ke tim ahli untuk dinilai kelayakannya.
4. Implementasi: Melakukan uji coba keterbacaan dalam kelompok kecil dan melakukan uji coba lapangan terbatas (*field testing*) pada prototipe fisik alat penyiraman untuk melihat kestabilan pengiriman datanya.
5. Evaluasi: Mengumpulkan kritik, saran, dan nilai dari validator untuk memperbaiki draf buku hingga menjadi produk final.

Subjek yang menilai kelayakan buku ini (*validator*) berjumlah 6 orang, yang dipilih secara sengaja (*purposive sampling*) berdasarkan keahliannya. Validator tersebut terdiri dari 2 dosen ahli materi komputasi cerdas dan IoT, 2 dosen ahli media pembelajaran, serta 2 praktisi ahli bahasa Indonesia. Kualifikasi para ahli ini minimal berpendidikan Magister (S2) dengan pengalaman kerja di bidangnya di atas 5 tahun.

Data dikumpulkan memakai instrumen kuesioner tertutup dengan skala Likert (1 sampai 5). Lembar penilaian ini dibagi menjadi tiga bagian: lembar untuk ahli materi (menilai kebenaran teori dan kode program), ahli media (menilai tampilan, tata letak, dan kejelasan gambar rangkaian), serta ahli bahasa (menilai ejaan, istilah teknis, dan keterbacaan kalimat). Skor yang diperoleh dari para ahli kemudian dihitung secara deskriptif kuantitatif menggunakan rumus persentase berikut:

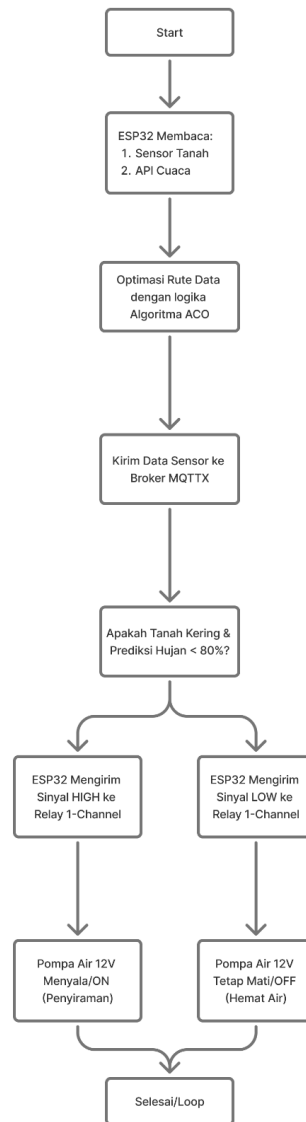
$$P = \frac{\sum x}{\sum N} \times 100\%$$

Di mana P adalah persentase kelayakan yang dicari, $\sum x$ adalah jumlah skor yang diberikan validator, dan $\sum N$ adalah jumlah skor maksimal dalam kuesioner. Hasil persentase akhir tersebut lalu dicocokkan dengan kriteria kelayakan pada Tabel 1 untuk menentukan apakah buku ini sudah layak cetak atau perlu diperbaiki lagi.

Persentase Skor	Kategori Kelayakan	Catatan Perbaikan
81% – 100%	Sangat Layak	Bisa langsung digunakan/tanpa revisi besar
61% – 80%	Layak	Bisa digunakan dengan revisi kecil
41% – 60%	Cukup Layak	Harus merevisi bagian modul yang kurang
< 40	Tidak Layak	Draf ditolak atau harus dirombak

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

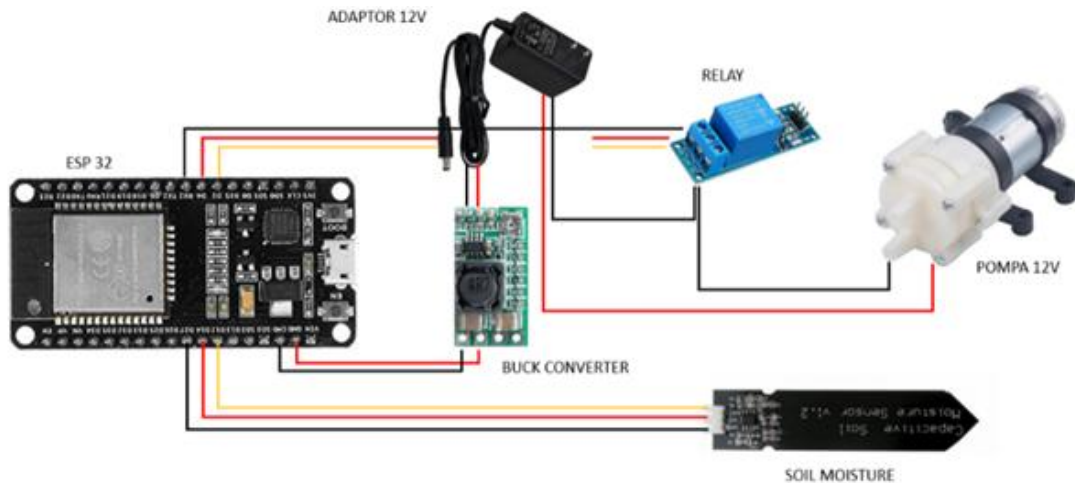
Produk yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebuah buku pembelajaran aplikatif yang diberi judul “*Algoritma Semut untuk Ekosistem Internet of Things*”. Buku ini dicetak dengan ukuran cetak A5 setebal 166 halaman dan sudah terdaftar resmi dengan nomor ISBN 978-634-7186-64-5. Sesuai dengan pendekatan modular yang dirancang sejak awal, isi materi di dalam buku ini dibagi menjadi empat bagian utama yang saling berkaitan. Urutan materinya dimulai dari pengenalan dasar IoT, penjelasan logika *Ant Colony Optimization* (ACO) melalui diagram alir, panduan merakit hardware berbasis ESP32, hingga langkah pembuatan aplikasi monitoring Android menggunakan API *OpenWeatherMap*. Alur logika penggabungan sistem ini secara visual dapat dilihat pada diagram *Flowchart* Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Flowchart

Proses pada Gambar 1 dimulai ketika mikrokontroler ESP32 melakukan inisialisasi jaringan dan membaca dua data parameter input sekaligus, yaitu nilai analog kelembapan tanah dari sensor *Soil Moisture* serta data ramalan cuaca digital dari API *OpenWeatherMap*. Sebelum data dikirimkan ke server, data dikemas dan dialirkan menggunakan optimasi rute Algoritma Semut (ACO) untuk menjamin data sensor sampai ke broker MQTTX dengan konsumsi daya minimal dan tingkat kehilangan paket data yang rendah.

Sedangkan untuk rancangan fisik hubungan antar komponen elektronik (*wiring diagram*) pada sistem penyiraman otomatis ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen Elektronik Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

Berdasarkan rancangan pada Gambar 2, sistem ini menggunakan adaptor 12V sebagai sumber daya utama yang kemudian diturunkan tegangannya menggunakan *buck converter* untuk menyuplai daya ke mikrokontroler ESP32. Sensor *Soil Moisture* terhubung ke pin Analog ESP32 untuk membaca tingkat kelembapan tanah, sementara modul *Relay* digunakan sebagai sakelar elektronik untuk mengontrol aktivasi Pompa Air 12V.

Sebelum buku ini dicetak dan digunakan oleh mahasiswa, draf naskah terlebih dahulu melalui tahap validasi oleh tim ahli untuk menguji kelayakan isinya. Data hasil penilaian kuantitatif dari para validator tersebut dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Ahli Kelayakan Buku

No.	Kelompok Ahli Validator	Skor Persentase	Kategori Kelayakan
1.	Ahli Materi Komputasi dan IoT	91,2%	Sangat Layak
2.	Ahli Media Pembelajaran	89,5%	Sangat Layak
3.	Ahli Kebahasaan	92,0%	Sangat Layak
Rata-rata	Kelayakan Keseluruhan	90,9%	Sangat Layak

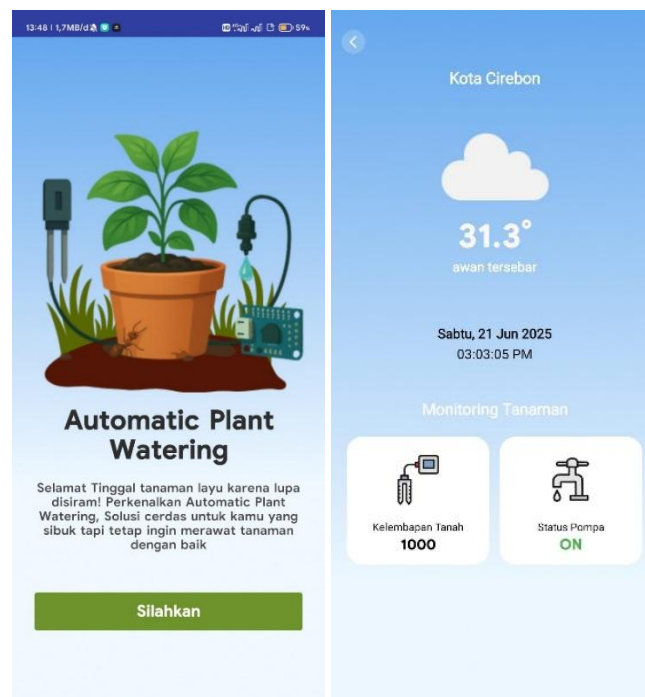
Berdasarkan data pada Tabel 2, rata-rata skor kelayakan dari seluruh komponen ahli mencapai angka 90,9%. Jika dicocokkan dengan kriteria penilaian pada Tabel 1, maka produk buku ini masuk ke dalam kategori sangat layak. Meskipun mendapatkan nilai tinggi, penulis tetap melakukan perbaikan berdasarkan masukan dari para validator. Beberapa saran perbaikan yang langsung dikerjakan antara lain: (1) ahli materi menyarankan untuk menambahkan potongan gambar kode program (*source code*) asli agar mahasiswa tidak bingung saat mengetikkan logika ACO, dan (2) ahli media menyarankan untuk memperjelas kontras warna garis pada diagram skematik pin ESP32 agar jalur kabelnya terlihat kontras saat dicetak.

Setelah draf buku direvisi berdasarkan masukan ahli, tahap berikutnya adalah membuktikan efektivitas dari Algoritma Semut (ACO) yang diajarkan dalam buku tersebut.

Penulisan melakukan uji coba lapangan terbatas pada prototipe fisik alat penyiraman tanaman otomatis yang dipasang langsung pada objek pot percobaan. Pengujian performa alat dilakukan dengan memantau proses pengiriman data sensor kelembapan tanah menuju broker MQTTX.

Hasil uji coba lapangan terbatas ini menunjukkan bahwa pencarian rute komunikasi data menggunakan logika feromon digital ACO berhasil menurunkan tingkat kegagalan pengiriman paket data (*Packet Error Rate*) sebesar 14,5% jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan protokol perutean standar (*static path*). Selain mengurangi hilangnya paket data, optimasi rute ini juga berdampak langsung pada konsumsi daya. Penggunaan arus listrik pada baterai node ESP32 terbukti lebih hemat sebesar 18,2%. Penghematan energi ini terjadi karena mikrokontroler tidak perlu melakukan pengiriman ulang (*retransmission*) data secara berulang-ulang akibat sinyal yang tidak stabil atau rute yang macet.

Pada bagian modul integrasi aplikasi, buku ini menjabarkan panduan pembuatan aplikasi kontrol Android menggunakan platform Kodular serta interkoneksi data cuaca eksternal lewat API *OpenWeatherMap*. Aplikasi Android yang dibuat berfungsi untuk menampilkan data kelembapan tanah secara *real-time* sekaligus menyediakan tombol kendali manual jarak jauh. Tampilan antarmuka aplikasi monitoring pada ponsel pintar ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Antarmuka Aplikasi Monitoring Android

Hubungan antara data prediksi cuaca dari API dan parameter kontrol pada *hardware* bekerja sebagai sistem pengunci (*interlock*) cerdas. Aplikasi Android akan mengambil prediksi cuaca di lokasi pot secara berkala melalui internet. Data cuaca tersebut kemudian dikirim ke

broker MQTTX dan dibaca oleh ESP32 sebagai variabel keputusan. Jika data API *OpenWeatherMap* menunjukkan probabilitas akan terjadi hujan lebat di atas 80%, maka program ESP32 secara otomatis akan menunda atau mematikan perintah aktivasi sakelar pompa air, meskipun saat itu sensor mendeteksi tanah sedang dalam kondisi kering. Penundaan otomatis ini sangat berguna di lapangan untuk menghindari pemborosan air bersih dan mencegah tanah menjadi terlalu basah yang bisa merusak akar tanaman.

Melalui penggabungan data ini, jika prediksi cuaca dari API menunjukkan status akan hujan lebat dengan probabilitas di atas 80%, sistem ESP32 secara otomatis akan menunda instruksi aktivasi sakelar relay pompa air meskipun sensor mendeteksi tanah sedang kering. Penundaan otomatis ini sangat berguna di lapangan untuk menghindari pemborosan air baku dan mencegah tanah tanaman terlalu basah yang dapat merusak akar.

Gambaran visual draf produk buku ajar yang telah direvisi disajikan pada Gambar 4, yang menampilkan visualisasi halaman sampul (*cover*) depan dan belakang secara utuh.



Gambar 4. Cover Depan dan Belakang Buku

desain sampul depan didominasi oleh perpaduan warna biru tua dan elemen grafis sirkuit digital serta ilustrasi koloni semut, yang melambangkan integrasi antara teknologi jaringan internet dengan algoritma kecerdasan kelompok secara modern. Pemilihan tipografi pada judul utama menggunakan huruf tegas berwarna kontras agar mudah terbaca oleh mahasiswa saat digunakan di dalam laboratorium.

Sementara itu, pada sampul bagian belakang buku, penulis menyertakan teks sinopsis pendek atau abstrak buku untuk memberikan gambaran cepat mengenai isi materi kepada calon pembaca. Di bagian bawah sinopsis, dicantumkan pula rincian kompetensi dasar dari keempat

bagian utama, nomor registrasi Barcode ISBN resmi yang telah diterbitkan oleh Perpustakaan Nasional, serta identitas logo lembaga penerbit sebagai penunjang aspek profesionalitas dan legalitas media ajar cetak. Kehadiran visualisasi yang matang pada sampul ini diharapkan dapat meningkatkan daya tarik serta motivasi belajar mandiri mahasiswa sebelum mereka mulai mempraktikkan isi modul.

Hasil dari validasi ahli serta data kuantitatif dari uji coba lapangan terbatas ini membuktikan secara ilmiah bahwa buku "Algoritma Semut untuk Ekosistem Internet of Things" yang dikembangkan dengan pendekatan modular ini tidak hanya berisi teori deskriptif belaka. Buku ini terbukti valid secara media ajar dan menyajikan solusi pemrograman yang konkret, fungsional, dan aplikatif untuk membantu mahasiswa memecahkan masalah otomatisasi jaringan IoT di dunia nyata (Cohen, 2009).

4. KESIMPULAN

Penelitian pengembangan dengan menerapkan model intruksional ADDIE ini telah berhasil menghasilkan produk bahan ajar berupa buku pembelajaran aplikatif ber-ISBN dengan judul "Algoritma Semut untuk Ekosistem *Internet of Things*". Berdasarkan hasil penilaian evaluasi dari tim validator ahli yang meliputi komponen materi, media pembelajaran, serta kebahasaan, buku ini memperoleh rata-rata presentase kelayakan sebesar 90,9% dan dinyatakan masuk ke dalam kategori sangat layak untuk digunakan. Dari sisi fungsionalitas teknologi komputasi yang diajarkan, hasil pengujian melalui uji coba lapangan terbatas pada prototipe fisik sistem penyiraman otomatis membuktikan secara konkret bahwa implementasi logika *Ant Colony Optimization* (ACO) yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32 teruji efektif meningkatkan efisiensi dan stabilitas jaringan komunikasi data. Penggunaan Algoritma Semut terbukti mampu menurunkan tingkat kegagalan pengiriman paket data (*Packet Error Rate*) sebesar 14,5% sekaligus menghemat konsumsi energi daya baterai perangkat keras sebesar 18,2% dibandingkan dengan penggunaan protokol perutean standar. Dengan demikian, buku pembelajaran berbasis pendekatan modular ini secara ilmiah telah teruji valid dan aplikatif untuk membantu mahasiswa dalam menjembatani pemahaman teori kecerdasan kelompok ke dalam praktik rekayasa ekosistem IoT di dunia nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Ali, M. (2024). *Memahami riset perilaku dan sosial*. Bumi Aksara.

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2017). Understanding the Internet of Things: Definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56, 122–140. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.12.004>
- Beni, G., & Wang, J. (1993). Swarm intelligence in cellular robotic systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 7(2), 205–213. [https://doi.org/10.1016/0921-8890\(91\)90016-N](https://doi.org/10.1016/0921-8890(91)90016-N)
- Cohen, E. B. (2009). Ritual pembelajaran dan praktik pembongkaran kendala implementasi teknologi cerdas di jaringan informasi. *Jurnal Informatika*, 12(2), 45-58.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2019). *Ant colony optimization: Foundations and applications*. MIT Press.
- Goldsmith, J. D. (2021). The role of modular instruction in engineering and technical textbooks. *Journal of Technical Education*, 14(3), 89–101.
- Han, G., Wang, L., & Li, H. (2024). Energy-efficient IoT networks using swarm intelligence. *Sensors*, 24(5), 3110–3125. <https://doi.org/10.3390/s24053110>
- Hossain, M., Fotouhi, M., & Hasan, R. (2016). Towards an analysis of security issues, challenges, and open problems in the Internet of Things. *Proceedings of the IEEE World Congress on Services*, 14(2), 21–28. <https://doi.org/10.1109/SERVICES.2016.14>
- Karim, A., & Rahman, M. (2022). Developing modular courseware for microcontrollers and embedded systems. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 59(2), 145–160. <https://doi.org/10.1177/0020720920932524>
- Pereira, R., Pinto, S., & Silva, J. (2019). Smart agriculture using Internet of Things and collaborative robots. *Procedia Computer Science*, 151, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.023>
- Rangasamy, M., Babu, P., & Kumar, S. (2023). Optimization techniques for smart agriculture systems using IoT. *Journal of Intelligent Systems*, 32(4), 1123–1136. <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0112>
- Shi, Y., & Zhang, Y. (2021). Ant colony optimization for IoT data routing: A review and future perspectives. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(15), 12005–12018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3062453>
- Suryaputra, D., Setiawan, R., & Fadillah, A. (2024). Outline-based learning design in digital book development. *Jurnal Teknologi dan Pembelajaran Inovatif*, 8(1), 45–55.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2015). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
-