

PERKEMBANGAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) DI ERA INDUSTRI 4.0

Fatimah Budi Kurniasari⁽¹⁾, Mita Hapsari Jannah⁽²⁾

⁽¹⁾ Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT)

⁽²⁾ Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT)

email : fatimahbudi198@gmail.com

Abstrak Programmable Logic Controller (PLC) telah menjadi komponen fundamental dalam sistem kendali otomasi industri sejak kemunculannya. Di era Revolusi Industri 4.0, yang didorong oleh konvergensi teknologi digital dan fisik (Cyber-Physical Systems/CPS), arsitektur dan fungsionalitas PLC mengalami pergeseran paradigma. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk menganalisis evolusi PLC, mengidentifikasi fitur-fitur yang memungkinkannya berintegrasi ke dalam ekosistem Smart Manufacturing, dan membahas tantangan serta prospek masa depannya. Metode yang digunakan adalah tinjauan sistematis terhadap publikasi ilmiah terkini yang berkaitan dengan PLC, Industri 4.0, dan Internet of Things (IoT) Industri. Hasil analisis menunjukkan bahwa PLC telah bertransformasi menjadi "PLC Cerdas" yang mendukung komunikasi Industrial Ethernet, keamanan siber bawaan, dan kemampuan Edge Computing. Integrasi ini memungkinkan implementasi Pemeliharaan Prediktif dan Kustomisasi Massal, yang krusial untuk mencapai efisiensi, fleksibilitas, dan interoperabilitas yang disyaratkan oleh Industri 4.0. PLC modern memainkan peran sentral sebagai jembatan antara dunia fisik lantai pabrik dan sistem informasi digital (cloud).

Kata Kunci: Programmable Logic Controller (PLC), Industri 4.0, Otomasi Industri, IoT Industri (IIoT), Cyber-Physical Systems (CPS), Smart Manufacturing..

PENDAHULUAN

Revolusi Industri Keempat (Industri 4.0) ditandai dengan penciptaan Smart Factories dan Smart Products melalui sistem yang saling terhubung (Marr, 2016). Konsep ini berakar pada Sistem Siber-Fisik (CPS) yang memungkinkan mesin dan sistem berkomunikasi serta bekerja sama secara otonom (Lee, 2008).

Di tengah transformasi ini, Programmable Logic Controller (PLC), yang secara historis merupakan tulang punggung kontrol mesin, menghadapi tekanan untuk beradaptasi. PLC tradisional, meskipun andal, seringkali beroperasi sebagai sistem tertutup dengan kemampuan komunikasi yang

terbatas. Era 4.0 menuntut PLC yang mampu memproses data besar, terhubung ke cloud, dan mendukung kecerdasan buatan.

Tujuan dari tinjauan ini adalah untuk menyajikan gambaran komprehensif mengenai bagaimana PLC berevolusi untuk memenuhi tuntutan Industri 4.0, menyoroti integrasi teknologinya, serta mengidentifikasi hambatan dan tren perkembangan di masa depan

METODE TUJUAN

Tinjauan ini dilakukan melalui pengumpulan dan analisis literatur akademik, laporan industri, dan publikasi konferensi yang relevan yang diterbitkan antara tahun 2015 hingga

saat ini. Kata kunci utama yang digunakan dalam pencarian adalah "Programmable Logic Controller," "Industri 4.0," "Industrial Internet of Things (IIoT)," dan "Smart Manufacturing." Fokus analisis adalah pada perubahan arsitektur, protokol komunikasi, dan fungsionalitas PLC sehubungan dengan pilar-pilar utama Industri 4.0.

PEMBAHASAN

Evolusi PLC Menuju Paradigma Industri 4.0

Dari Relai ke Mikroprosesor

Sejak diperkenalkan pada akhir 1960-an untuk menggantikan panel kontrol relai, PLC telah melalui beberapa generasi. Generasi awal berfokus pada kontrol diskrit menggunakan Ladder Diagram (LD). Generasi berikutnya menambahkan kemampuan kontrol analog dan perhitungan aritmatika. Namun, loncatan terbesar terjadi ketika PLC mulai mengadopsi protokol komunikasi Industrial Ethernet (Qin et al., 2016).

Integrasi Teknologi Kunci Industri 4.0

Perkembangan PLC di era 4.0 diwujudkan melalui tiga pilar utama:

a. Konektivitas dan Komunikasi Terbuka
PLC modern kini mendukung protokol Industrial Ethernet (seperti PROFINET, EtherNet/IP) dan protokol data yang berorientasi layanan (service-oriented) seperti OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) dan MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Protokol-protokol ini memfasilitasi komunikasi vertikal (dari PLC ke sistem MES/ERP/Cloud) dan horizontal (Machine-to-Machine), yang merupakan prasyarat utama untuk interoperabilitas di Industri 4.0 (Hermann et al., 2016).

b. Kemampuan Edge Computing

Berbeda dengan PLC lama, PLC cerdas saat ini memiliki daya komputasi yang lebih besar, memungkinkannya menjalankan tugas Edge Computing. Dengan memproses data sensor secara lokal, PLC dapat membuat keputusan real-time tanpa latensi pengiriman data ke cloud. Ini sangat penting untuk aplikasi kontrol loop tertutup yang membutuhkan waktu respons yang sangat cepat (Schlechtendahl et al., 2015).

c. Keamanan Siber Bawaan

Koneksi yang meluas mengekspos PLC ke risiko siber. Oleh karena itu, vendor PLC mulai menyematkan fitur keamanan

seperti enkripsi data, otentikasi pengguna, dan segmentasi jaringan langsung ke dalam firmware perangkat untuk melindungi jaringan kontrol industri (Davies, 2015).

Peran Fungsional PLC dalam Smart Manufacturing

PLC tidak hanya menjadi alat kontrol, tetapi menjadi pengumpul dan pemroses data utama dalam Smart Factory, dengan peran kritis dalam:

Pemeliharaan Prediktif (Predictive Maintenance)

PLC, melalui sensor yang terintegrasi, terus-menerus mengumpulkan data kondisi mesin (vibrasi, suhu, arus). Data big data ini dapat dianalisis secara lokal (Edge) atau di Cloud menggunakan algoritma AI/Machine Learning untuk memprediksi kapan suatu komponen akan gagal. Kemampuan ini meningkatkan uptime dan mengoptimalkan jadwal pemeliharaan, jauh melampaui kemampuan PLC generasi sebelumnya (Stock & Seliger, 2016).

Fleksibilitas dan Kustomisasi Massal

Untuk memenuhi permintaan pasar akan produk yang sangat kustomisasi, jalur produksi harus cepat beradaptasi. PLC modern mendukung arsitektur kontrol

modular. Di mana modul-modul produksi kecil memiliki PLC-nya sendiri (decentralized control), yang dapat dengan mudah dikonfigurasi ulang atau diganti tanpa memengaruhi keseluruhan lini produksi, mendukung konsep kustomisasi massal (Lasi et al., 2014).

Implementasi Sistem Siber-Fisik

Dalam CPS, PLC bertindak sebagai "otak" yang menghubungkan lapisan siber (program, data, cloud) dengan lapisan fisik (aktuator, motor, sensor). Misalnya, sistem penanganan material (seperti shuttle pallet) sering dikendalikan oleh PLC untuk menjalankan program pergerakan kompleks yang disinkronkan dengan perintah dari sistem IT (Ilamsyah et al., 2025).

Tantangan dan Arah Masa Depan

Meskipun kemajuan telah dicapai, terdapat tantangan signifikan:

1. Standarisasi Protokol: Meskipun OPC UA menjadi populer, tantangan interoperabilitas antara perangkat keras dari vendor yang berbeda masih ada.
2. Keamanan Operasional (OT Security): Melindungi sistem PLC dari serangan siber memerlukan protokol pelatihan dan kebijakan keamanan yang ketat.

3. Kebutuhan Kompetensi: Terjadi kesenjangan keterampilan; insinyur otomasi harus menguasai tidak hanya kontrol klasik tetapi juga jaringan IT/OT, analisis data, dan keamanan siber (Rüßmann et al., 2015).

Arah masa depan PLC meliputi peningkatan daya komputasi, adopsi Soft PLC berbasis PC Industri yang menawarkan fleksibilitas software yang lebih tinggi, dan integrasi Kecerdasan Buatan yang lebih dalam untuk memungkinkan kontrol adaptif dan otonom.

Kesimpulan

PLC telah berhasil bertransformasi dari sekadar perangkat kontrol diskrit menjadi pengontrol cerdas yang terintegrasi, yang sangat penting bagi realisasi Industri 4.0. Evolusi ini ditandai dengan adopsi komunikasi terbuka (IIoT), kemampuan Edge Computing, dan peningkatan fitur keamanan siber. PLC modern adalah penghubung tak terpisahkan antara dunia fisik dan digital, yang perannya akan terus berkembang seiring dengan kematangan teknologi Smart Manufacturing di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

Davies, R. (2015). Industry 4.0 Digitalisation for productivity and

growth. European Parliamentary Research Service (EPRS).

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE.

Ilamsyah, I., Aris, A., Hafidhi, N., Ramadani Halip, V., & Farizky, M. (2025). Penggunaan Programmable Logic Controller dalam Pengembangan Mesin Shuttle Pallet Otomatis. ICIT Journal, 11(1), 26-37.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, 6(4), 239–242.

Lee, E. A. (2008). Cyber physical systems: Design challenges. In 11th IEEE International Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), pp. 363-369. IEEE.

Marr, B. (2016). Industry 4.0: What you need to know about the next industrial revolution. Forbes.

Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A review of PLC-based cyber-physical systems in smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 38, 262-272.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group.

Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready. Production Engineering, 9(1), 143-148.

Stock, T., & Seliger, G. (2016).
Opportunities of sustainable
manufacturing in Industry 4.0.
Procedia CIRP, 40, 536-541.