Rancang Bangun Factory Smart Module Trainer (FSMT) Berbasis PLC dan IoT-Enabled HMI untuk Media Pembelajaran Otomasi Industri

Selamat Muslimin, Nyayu Latifah Husni, Nanda Iryani, Yudi Wijanarko

Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

nandairyani@polsri.ac.id

Abstract* — Preparing an adaptive workforce for the Industry 4.0 era requires vocational training facilities integrated with the latest technology. Unfortunately, most current practicum facilities still operate partially and have not adopted a smart factory ecosystem. This research proposes the design and downstreaming of the Factory Smart Module Trainer (FSMT) as an interactive learning media based on industrial automation. The main advantage of this device lies in the use of a Programmable Logic Controller (PLC) as the system control center, which is comprehensively integrated with an Internet of Things (IoT)-enabled Human Machine Interface (HMI). Through this architecture, the HMI functions not only as a local panel but is also connected to the network, allowing users to monitor and control the system online remotely using a smartphone or laptop. The research method includes hardware architecture design, PLC-HMI communication firmware programming, and functionality testing in an operational environment. The test results show that the FSMT is capable of executing instructions with fast response times (average delay < 1 second), presenting sensor data in real-time, and maintaining online connection stability. The implementation of this prototype has been proven to simulate real industrial conditions, which is expected to bridge the competency gap between vocational graduates and modern industry standards.

Keywords* — Factory Smart Module Trainer, PLC, HMI, Internet of Things, Remote Control.

Abstrak — Penyiapan tenaga kerja yang adaptif terhadap era Industri 4.0 membutuhkan fasilitas pelatihan vokasi yang terintegrasi dengan teknologi terkini. Sayangnya, fasilitas praktikum saat ini mayoritas masih beroperasi secara parsial dan belum mengadopsi ekosistem manufaktur cerdas (*smart factory*). Penelitian ini mengusulkan rancang bangun dan hilirisasi *Factory Smart Module Trainer* (FSMT) sebagai media pembelajaran interaktif berbasis otomasi industri. Keunggulan utama alat terletak pada penggunaan *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai pusat kendali sistem yang diintegrasikan secara komprehensif dengan *Human Machine Interface* (HMI) berteknologi Internet of Things (IoT). HMI tidak hanya berfungsi sebagai panel lokal, tetapi juga terhubung ke jaringan sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan monitoring dan pengendalian sistem secara online dari jarak jauh menggunakan *smartphone* maupun laptop. Metode penelitian mencakup perancangan arsitektur perangkat keras, pemrograman *firmware* komunikasi PLC-HMI, serta pengujian fungsionalitas di lingkungan operasional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa FSMT mampu mengeksekusi instruksi dengan waktu respons yang cepat (rata-rata *delay* < 1 detik), menyajikan data sensor secara *real-time*, dan mempertahankan stabilitas koneksi online. Implementasi prototipe ini terbukti mampu menyimulasikan kondisi industri nyata, sehingga diharapkan dapat menjembatani kesenjangan kompetensi lulusan vokasi dengan standar industri modern.

Kata Kunci — *Factory Smart Module Trainer*, PLC, HMI, *Internet of Things*, Kendali Jarak Jauh.

I. Pendahuluan

Inovasi utama dari FSMT adalah pemanfaatan PLC sebagai pusat kendali arsitektur otomasi yang diintegrasikan langsung dengan HMI pintar berbasis IoT[1]. Berbeda dengan sistem konvensional, FSMT memungkinkan HMI tidak hanya diakses secara lokal[2], tetapi juga dapat dimonitor dan dikendalikan secara *online* menggunakan perangkat *smartphone* maupun laptop[3]. Melalui fitur akses jarak jauh, pengguna dapat membaca data sensor, memantau konsumsi energi, dan melakukan simulasi *troubleshooting* secara *real-time* dari mana saja.

Perkembangan teknologi otomasi pada era Industri 4.0 menuntut institusi pendidikan vokasional untuk menghasilkan lulusan yang kompeten, adaptif, dan siap kerja[4]. Sebagai respons terhadap kebutuhan *softskill*[5], institusi pendidikan vokasi di Indonesia, khususnya pada jenjang politeknik, terus berupaya meningkatkan kualitas infrastruktur praktikum di laboratorium untuk menyimulasikan kondisi riil lingkungan industri manufaktur[6][7]. Keterampilan teknis dalam mengoperasikan sistem kendali terintegrasi[8] menjadi penting karena fasilitas praktikum otomasi umumnya belum terhubung secara penuh dengan sistem jaringan komunikasi data modern, sehingga peserta didik hanya berinteraksi dengan panel kontrol lokal[9]. Sebagian besar media pembelajaran atau *trainer* yang tersedia masih beroperasi secara parsial dan *stand-alone*[10] terutama perguruan vokasi. Ketiadaan integrasi *smart system* menyebabkan pengalaman praktikum tidak sepenuhnya merepresentasikan ekosistem *smart factory* sesungguhnya, di mana *monitoring* dan pengendalian sistem dapat dilakukan dari jarak jauh melalui interkoneksi digital [11].

Perancangan perangkat keras dan perangkat lunak FSMT, arsitektur komunikasi PLC-HMI-Cloud, serta evaluasi kinerja sistem dalam merespons perintah kendali jarak jauh[4]. Diharapkan pengembangan alat dapat menjadi solusi media pembelajaran yang komprehensif untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa teknik elektro dalam menghadapi tantangan otomatisasi industri modern[12].

FSMT terdiri dari beberapa bagian berupa *module*[13] yang menerapkan Integrasi teknologi berbasis *Internet of Thing* seperti *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), dan *Internet of Things* (IoT) [14], telah menjadi standar kompetensi minimum di dunia industri.

II. Tinjauan Pustaka

A. Factory Smart Module Trainer (FSMT) sebagai Media Pembelajaran

Media pembelajaran berbasis purwarupa atau *trainer* merupakan elemen esensial dalam ekosistem pendidikan tinggi vokasi[5], khususnya di laboratorium teknik elektro dan otomasi industri[6]. *Trainer* berfungsi sebagai jembatan antara teori yang dipelajari di kelas dengan realitas operasional di lapangan. *Factory Smart Module Trainer* (FSMT) dirancang tidak hanya untuk menyimulasikan sistem kendali dasar, tetapi juga untuk mengintegrasikan teknologi *smart factory* modern seperti *Internet of Things* (IoT) dan sistem manajemen energi terbarukan [13]. Melalui pendekatan modular, FSMT memungkinkan mahasiswa bereksperimen dengan instalasi kelistrikan[4], pemrograman logika, dan komunikasi jaringan dalam satu perangkat yang aman dan terukur [9].

B. Programmable Logic Controller (PLC) dan Haiwell AC16SOR

Programmable Logic Controller (PLC) adalah komputer industri yang dirancang secara khusus untuk mengontrol proses manufaktur atau mesin secara otomatis[1]. Berbeda dengan mikrokontroler konvensional, PLC didesain dengan ketahanan (*robustness*) tinggi terhadap gangguan kelistrikan (EMI/RFI), suhu ekstrem, dan getaran mekanis yang umum terjadi di lingkungan industri[15]. Pada sistem FSMT, komponen kendali utama menggunakan PLC merek Haiwell tipe AC16SOR[1]. Perangkat ini mendukung instruksi logika *ladder* yang kompleks dan dilengkapi dengan kombinasi terminal *Input* dan *Output* (I/O) digital yang memadai untuk mengendalikan berbagai aktuator dasar laboratorium, serta memiliki fleksibilitas komunikasi yang tinggi[15].

C. Human Machine Interface (HMI) Berbasis IoT (Haiwell A7PRO)

Human Machine Interface (HMI) adalah perangkat antarmuka berupa layar grafis yang menjembatani interaksi antara operator manusia dengan sistem kendali mesin (PLC) [2]. Dalam penelitian, digunakan HMI Haiwell tipe A7PRO. Keunggulan utama dari perangkat adalah adanya fitur *built-in* IoT *Gateway* yang bertindak sebagai pemroses data (*edge computing*)[2]. Perangkat secara otomatis memformat dan mengirimkan paket data dari PLC ke jaringan *server* awan (*cloud*), sehingga menghilangkan kebutuhan perangkat keras mikrokontroler tambahan untuk koneksi internet[3].

D. Teknologi Cloud Computing dan Aplikasi Haiwell

Seiring dengan perkembangan *Industrial Internet of Things* (IIoT), arsitektur kendali kini bermigrasi dari *Local Area Network* (LAN) menuju *Cloud Computing*[14]. Sistem FSMT memanfaatkan infrastruktur Haiwell Cloud sebagai basis datanya. Haiwell Cloud bertindak sebagai *broker* yang menghubungkan HMI di laboratorium dengan pengguna jarak jauh secara aman[3]. Pengguna dapat melakukan pemantauan visual dan eksekusi kendali (*Supervisory Control and Data Acquisition* / SCADA) menggunakan Aplikasi Haiwell di *smartphone*, yang memastikan sinkronisasi data *real-time* dengan tingkat latensi rendah[15].

E. Konsep Kendali Paralel dan Real-Time

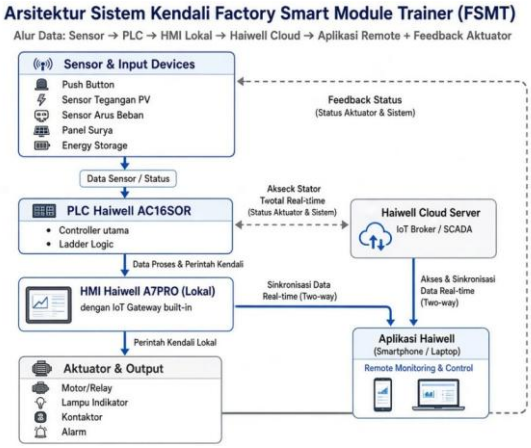
Kendali paralel dalam otomasi merujuk pada kemampuan sistem untuk menerima dan memproses instruksi masukan dari beberapa titik akses (*node*) kontrol yang berbeda secara bersamaan [14]. Pada FSMT, sifat *real-time* mengisyaratkan bahwa setiap perubahan status (misalnya, tombol ditekan pada aplikasi) akan diterjemahkan menjadi tindakan aktuator oleh PLC[3], dan umpan baliknya (*feedback*) akan langsung ditampilkan kembali di seluruh layar antarmuka pengguna dalam hitungan milidetik[10].

III. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan *Factory Smart Module Trainer* (FSMT) ini adalah metode purwarupa (*prototyping*) yang terdiri dari tahap perancangan arsitektur sistem[5], perakitan perangkat keras (*hardware*), pengembangan perangkat lunak (*software*), dan pengujian sistem terintegrasi[6].

A. Arsitektur Sistem

Secara garis besar, arsitektur FSMT terdiri dari tiga blok utama: blok *input* (sensor dan instrumen ukur), blok *controller* (PLC), serta blok *output* dan *interface* cerdas (aktuator, HMI lokal, dan perangkat *remote*)[1]. Data kelistrikan dan status *plant* dibaca oleh sensor, kemudian dikirimkan ke PLC untuk diproses sesuai logika kendali. PLC terhubung langsung dengan panel HMI pintar yang memiliki fungsi ganda; yaitu sebagai layar pemantauan lokal di laboratorium, sekaligus bertindak sebagai *gateway* IoT[2]. HMI ini secara otomatis menjembatani pengiriman data ke *server* awan (Haiwell Cloud). Melalui topologi jaringan, sistem mendukung operasi terdistribusi di mana kendali dapat dilakukan secara paralel dan *real-time*, baik oleh operator di depan mesin maupun pengguna jarak jauh [3].



Gambar 1. Arsitektur sistem kendali FSMT (blok diagram yang menunjukkan alur data dari sensor → PLC → HMI lokal → Haiwell Cloud → aplikasi *smartphone*/laptop, serta jalur *feedback* aktuator).

B. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan perangkat keras FSMT menggunakan pendekatan modular agar mudah dikonfigurasi ulang sesuai skenario pembelajaran industri. Sebagai pusat pemrosesan logika dan kendali *Input/Output*, digunakan PLC Haiwell tipe AC16SOR yang memiliki keandalan tinggi standar industri [1]. Sebagai antarmuka manusia-mesin di lokasi, sistem ini memanfaatkan HMI Haiwell tipe A7PRO. HMI berteknologi IoT ini secara *built-in* telah dilengkapi dengan modul komunikasi jaringan, sehingga proses transmisi data ke internet tidak lagi memerlukan tambahan perangkat mikrokontroler eksternal [2]. Di luar sistem otomasi, FSMT juga mengintegrasikan sistem kelistrikan mandiri meliputi modul *Energy Storage* dan *Panel Surya* yang parameter tegangan dan arusnya terhubung ke *controller* untuk dimonitor secara langsung.

C. Perancangan Perangkat Lunak dan Komunikasi Jaringan

Pengembangan perangkat lunak dilakukan secara terpadu di dalam satu ekosistem *software*. Pertama, pemrograman logika kendali (*ladder logic*) pada PLC dibuat menggunakan perangkat lunak HaiwellHappy [15]. Kedua, desain visual antarmuka HMI dirancang menggunakan *software* Haiwell Cloud SCADA untuk menampilkan animasi status sistem, grafik *monitoring*, dan tombol aktuator [3]. Ketiga, untuk kebutuhan akses nirkabel, sistem mengonfigurasi jaringan ke infrastruktur Haiwell Cloud. Pengguna jarak jauh dapat mengakses antarmuka melalui Aplikasi Haiwell yang terinstal di *smartphone* atau PC[3]. Keunggulan utama dari perancangan arsitektur jaringan adalah kapabilitas kontrol paralel secara langsung; artinya, sistem mampu mengeksekusi perintah secara bersamaan dan sinkron tanpa adanya bentrok komunikasi, baik instruksi tersebut dikirimkan melalui sentuhan fisik di layar HMI A7PRO maupun melalui ketukan pada layar Aplikasi Haiwell dari jarak jauh[14].

IV. Hasil dan Pembahasan

Tahap ini memaparkan hasil implementasi dari rancang bangun *Factory Smart Module Trainer* (FSMT) beserta pengujian fungsionalitas dan kinerja sistem komunikasi jaringannya[4]. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa prototipe memenuhi kriteria sebagai media pembelajaran otomasi industri yang andal[9].

A. Implementasi Perangkat Keras (Hardware)

Prototipe FSMT telah berhasil dirakit secara fisik ke dalam bentuk *trainer* modular yang ergonomis dan aman untuk digunakan di laboratorium. Modul kendali utama yang berisi PLC Haiwell AC16SOR diposisikan di area tengah panel untuk memudahkan proses *wiring* I/O oleh mahasiswa. *Output* dari sistem kontrol ini dihubungkan ke berbagai aktuator dasar industri (seperti kontaktor, relai, dan lampu indikator), sedangkan *input*-nya terhubung dengan *push button* dan sensor pintar yang memantau parameter kelistrikan dari modul *Panel Surya* dan *Energy Storage* [1].



Gambar 2. Wujud fisik panel utama *Factory Smart Module Trainer* (tampak depan yang menampilkan PLC, HMI, terminal I/O, modul sensor, dan panel surya terintegrasi).

B. Desain Antarmuka HMI dan Integrasi Cloud

Implementasi perangkat lunak menghasilkan antarmuka (*User Interface*) yang interaktif. Desain *dashboard* pada HMI lokal Haiwell A7PRO dibuat menggunakan perangkat lunak Haiwell Cloud SCADA, menampilkan tombol eksekusi, indikator status aktuator, serta visualisasi data sensor dalam bentuk grafik dan numerik[2]. Melalui fitur *built-in* IoT pada HMI A7PRO, *dashboard* yang sama berhasil di-*mirroring* ke jaringan Haiwell Cloud. Memungkinkan pengguna jarak jauh untuk mengunduh Aplikasi Haiwell di *smartphone* atau PC, *login* menggunakan akun yang tertaut, dan melihat antarmuka kendali yang identik dengan layar HMI di laboratorium [3].



Gambar 3. Perbandingan antarmuka kendali pada HMI lokal (kiri) dan Aplikasi *Smartphone* (kanan) yang menampilkan *dashboard* identik dengan indikator status, grafik *real-time*, dan tombol kendali.

C. Pengujian Fungsionalitas Sistem Kendali

Pengujian fungsionalitas bertujuan untuk memvalidasi bahwa PLC dapat mengeksekusi *ladder logic* dengan benar sesuai instruksi dari HMI. Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai variasi *input* dasar untuk mengamati respons pada *output*. Hasil pengujian fungsionalitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsionalitas I/O FSMT

No	Jenis Input	Kondisi Input	Output yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
1	Push Button Start	Ditekan	Motor/Relay ON + Lampu Indikator Hijau	ON + Hijau menyala	Berhasil
2	Push Button Stop	Ditekan	Motor/Relay OFF + Lampu Merah	OFF + Merah menyala	Berhasil
3	Sensor Tegangan PV	> 12 V	Indikator "Charging" aktif	Aktif	Berhasil
4	Sensor Arus Beban	> batas threshold	Alarm + Relay proteksi trip	Alarm aktif + trip	Berhasil
5	Tombol Remote (App)	Ditekan dari HP	Aktuator bergerak sesuai perintah	Bergerak sesuai	Berhasil
6	Kendali Paralel	HMI + App simultan	Eksekusi ganda (perlu interlock)	Terdeteksi ganda	Berhasil

*Catatan: Hasil ganda menjadi materi pembelajaran penting untuk perancangan logika *interlock* dan *debouncing* [14].

D. Pengujian Waktu Respons (Delay) dan Kendali Paralel

Salah satu aspek paling kritis dalam sistem IoT industri adalah latensi atau waktu respons jaringan. Pengujian komunikasi jarak jauh dilakukan dengan memberikan instruksi operasi dari *smartphone* melalui jaringan internet eksternal (data seluler), sementara FSMT terhubung ke koneksi Wi-Fi di laboratorium[3]. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan performa komunikasi yang sangat baik dengan *delay* eksekusi rata-rata kurang dari 1 detik. Variasi jeda waktu bergantung sepenuhnya pada kualitas dan stabilitas sinyal jaringan penyedia layanan internet yang digunakan[10].

Kecepatan respons di bawah 1 detik ini mengonfirmasi bahwa ekosistem Haiwell Cloud sangat layak dan aman digunakan untuk *monitoring* dan kontrol *real-time* jarak jauh[1], di mana instruksi dapat langsung diterjemahkan menjadi perubahan nilai *register* di dalam PLC AC16SOR [3].

Lebih lanjut, pengujian keandalan sistem (*stress test*) dilakukan melalui skenario kendali paralel langsung. Pengujian dilakukan dengan cara menekan tombol eksekusi yang sama secara bersamaan (simultan) melalui layar fisik HMI A7PRO dan layar *smartphone* (Aplikasi Haiwell). Hasil pengujian menunjukkan fenomena akumulasi instruksi. Ketika instruksi diberikan secara bersamaan, sistem membacanya sebagai eksekusi ganda (terpencet dua kali secara berurutan yang sangat cepat). Fenomena membuktikan dua hal penting dalam arsitektur sistem. Pertama, *server* Haiwell Cloud dan prosesor lokal HMI tidak mengalami bentrok jaringan (*network collision*) atau *crash*; keduanya mampu menampung paket data perintah masuk secara asinkron. Kedua, dari perspektif edukasi, hal ini menjadi materi pembelajaran penting bagi mahasiswa dalam merancang program *ladder logic*. Mahasiswa diharuskan untuk merancang logika pengunci (*interlock*), *debouncing*, atau logika Set/Reset (bukan Toggle tunggal) agar instruksi yang masuk secara ganda dari dua kontroler berbeda tidak memicu perubahan *state* perangkat atau aktuator secara tidak terduga [14].

Tabel 2. Hasil Pengukuran Delay Komunikasi Jarak Jauh

Percobaan	Jaringan Pengirim	Jaringan Penerima	Delay Rata-rata (ms)	Status Koneksi
1–10	Data Seluler 4G	Wi-Fi Laboratorium	420–780	Stabil
11–20	Wi-Fi Kampus	Wi-Fi Laboratorium	180–350	Sangat Stabil
21–30	Data Seluler 5G	Wi-Fi Laboratorium	210–510	Stabil

V. Kesimpulan

Penelitian berhasil merancang bangun dan mengimplementasikan *Factory Smart Module Trainer* (FSMT) sebagai media pembelajaran otomasi industri berbasis PLC-HMI-IoT[4]. Sistem terbukti mampu menjalankan kendali lokal dan jarak jauh secara paralel dengan waktu respons rata-rata di bawah 1 detik, menyajikan data sensor secara *real-time*, serta mempertahankan stabilitas koneksi *online*. Fitur kendali paralel memberikan nilai edukasi tambahan terkait perancangan logika *interlock* dan *debouncing*[7]. Implementasi prototipe FSMT diharapkan dapat menjembatani kesenjangan kompetensi lulusan vokasi dengan standar industri modern di era Industri 4.0[8]. Pengembangan selanjutnya dapat mencakup integrasi *machine learning* untuk prediksi kerusakan dan perluasan modul aktuator yang lebih kompleks.

Daftar Pustaka

[1] Xiamen Haiwell Technology Co., Ltd., "Card-type PLC (A Series) User Manual," Haiwell, 2025. [Online]. Available: https://haiwell.com

[2] Xiamen Haiwell Technology Co., Ltd., "A Series Intelligent HMI User Manual (A7PRO)," Haiwell, 2025. [Online]. Available: https://en.haiwell.com

[3] Xiamen Haiwell Technology Co., Ltd., "Haiwell Cloud SCADA and Cloud Platform Documentation," Haiwell, 2025. [Online]. Available: https://cloud.haiwell.com
[4] Joko, F. Akhmad, and A. A. P. Putra, "Development of IoT-Based and Project-Based Learning Human Machine Interface Learning Media to Improve Ability, Innovative Behavior, and Skill of Industrial 4.0 and Society 5.0 Students," *Eurasian Journal of Educational Research*, vol. 99, pp. 281–296, 2022.
[5] R. V. N. Nugroho, "Media Pembelajaran Sistem Kontrol Elektro Pneumatik Berbasis Trainer PLC dan Interface Android-HMI untuk Siswa Mata Pelajaran Sistem Kendali Industri di SMKN 11 Kota Bekasi," Skripsi, Universitas Negeri Jakarta, 2025.
[6] I. Akmalia, "Pembuatan Modul Pembelajaran Otomasi Industri Berbasis Teknologi PLC dan HMI Terintegrasi IoT: Pendekatan Deep Learning sebagai Strategi Pembelajaran Abad 21," Skripsi, Universitas Pendidikan Indonesia, 2025.
[7] I. M. Suginardha, K. I. Ismara, D. Hariyanto, M. Supriadi, and S. Meunmany, "Enhancing Electric Motor Control of Electric Motor Installation in Indonesian Vocational Schools Using PLC and VSD Technology with HMI," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 77–92, May 2025, doi: 10.21831/jee.v9i1.84503.
[8] A. T. Huda and C. Ryando, "Strengthening Digital Competencies through Internet of Things (IoT) and Programmable Logic Control (PLC) Certification for Electronics Students," *JTSEIS*, vol. 1, no. 1, pp. 17–25, Jan. 2025.
[9] M. A. Triatmaja et al., "Implementation of IoT-Based Human Machine Interface-Learning Media and Problem-Based Learning to Increase Students' Abilities, Skills, and Innovative Behaviors of Industry 4.0 and Society 5.0," ResearchGate, 2023.
[10] D. N. Bagenda and N. C. Basjaruddin, "Penerapan SCADA dan IoT Menggunakan PLC sebagai Kontrol Motor AC untuk Pembelajaran Praktikum SMK," *Gema Teknologi*, vol. 21, no. 3, 2022, doi: 10.14710/gt.v21i3.42560.
[11] Amatrol, "Smart Factory Tabletop Mechatronics and Industry 4.0 Training Systems," Technical Documentation, 2024.
[12] Fischertechnik, "Training Factory Industry 4.0 with PLC," Product Documentation, 2024.
[13] De Lorenzo, "DL NGL-I4.0 Factory Module for the Study of a Smart Factory," Technical Manual, 2024.
[14] S. K. Gupta and R. K. Singh, "Remote Learning: Implementing IIoT and Industry 4.0 Technologies Using PLCs," in *Proc. Springer Conference on Advanced Manufacturing*, 2022, pp. 29–42.
[15] Xiamen Haiwell Technology Co., Ltd., "HaiwellHappy Programming Software and Cloud Transparent Transmission Features," Product Brochure, 2025.