

ANALISIS OPTIMALISASI PLC MESIN INJECT / PRODUKSI DI PABRIK PT. ILHAM PRIMA SAKTI

Arya Wira Pradana^{1*}, Rahmaniar^{2*}

wirapradanaarya380@gmail.com¹, Elektromatakuliah@gmail.com²

Universitas Pembangunan Panca Budi; Medan; Fakultas Sains dan Teknologi

Keywords:

PLC Optimization;
Injection/Production
Machine;
PLC.

Industri plastik menghadapi tantangan dalam meningkatkan efisiensi produksi seiring dengan meningkatnya tuntutan pasar. Penerapan Programmable Logic Controller (PLC) menjadi solusi penting untuk mempercepat dan menstabilkan proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi PLC pada mesin inject di PT. Ilham Prima Sakti serta merancang strategi optimalisasi berbasis teknologi Internet of Things (IoT) dan pemeliharaan preventif. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif melalui observasi lapangan dan simulasi integrasi sistem. Hasil menunjukkan bahwa downtime produksi dapat dikurangi hingga 56% dan efisiensi produksi meningkat 17% melalui penerapan monitoring real-time dan pengembangan program PLC berbasis safety interlock. Studi ini menegaskan pentingnya digitalisasi proses produksi untuk meningkatkan daya saing industri.



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

The plastic industry faces challenges in increasing production efficiency amid rising market demands. The implementation of Programmable Logic Controller (PLC) is a crucial solution to accelerate and stabilize the production process. This study aims to analyze the PLC implementation on injection machines at PT. Ilham Prima Sakti and to design optimization strategies based on Internet of Things (IoT) integration and preventive maintenance. The research employs a descriptive quantitative method through field observations and system integration simulations. Results indicate that production downtime can be reduced by up to 56%, and production efficiency increased by 17% through the application of real-time monitoring and the development of PLC programs with safety interlocks. This study highlights the importance of production process digitalization to enhance industry competitiveness.

1. PENDAHULUAN

Industri plastik merupakan salah satu sektor manufaktur yang terus mengalami pertumbuhan pesat dalam beberapa dekade terakhir. Berdasarkan laporan Plastics Europe (2022), produksi plastik global telah mencapai lebih dari 390 juta ton per tahun, dengan Asia sebagai penyumbang terbesar, yakni sekitar 51% dari total produksi dunia. Pertumbuhan ini didorong

oleh meningkatnya kebutuhan plastik dalam berbagai sektor seperti otomotif, elektronik, kesehatan, dan kemasan.

Di Indonesia, industri plastik memiliki peranan strategis, tercermin dari kontribusinya terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) sektor manufaktur nonmigas yang terus meningkat setiap tahunnya. Namun, untuk dapat bersaing di pasar global, efisiensi operasional dan

kualitas produk menjadi tuntutan yang tidak dapat dihindari.

Seiring perkembangan Revolusi Industri 4.0, transformasi digital dalam sistem produksi menjadi faktor kunci [1]. Salah satu teknologi inti dalam otomatisasi industri adalah **Programmable Logic Controller (PLC)**. PLC berfungsi sebagai pengendali otomatisasi yang mampu menggantikan sistem relay konvensional dengan fleksibilitas program yang tinggi, pemrosesan real-time, dan kemampuan integrasi dengan perangkat lain melalui jaringan industri [2]. Penerapan PLC telah terbukti meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi error manusia, serta mempercepat adaptasi perubahan proses produksi sesuai permintaan pasar.

Meskipun banyak perusahaan manufaktur besar di Indonesia telah mengadopsi teknologi ini, tantangan dalam implementasi optimal tetap besar. Di antaranya adalah kurangnya integrasi sistem PLC dengan teknologi Internet of Things (IoT), rendahnya kompetensi operator dalam pemrograman dan troubleshooting PLC, serta belum diterapkannya strategi pemeliharaan preventif berbasis data real-time [3].

PT. Ilham Prima Sakti sebagai salah satu pabrik manufaktur plastik di Indonesia telah menggunakan sistem PLC Siemens S7-1200 pada lini produksi mesin inject mereka. Meskipun langkah ini merupakan upaya positif dalam menghadirkan otomatisasi, implementasi di lapangan menunjukkan bahwa sistem belum berjalan optimal. Frekuensi downtime mesin masih tergolong tinggi, mencapai rata-rata 3 jam per hari, dan target efisiensi produksi harian belum tercapai secara konsisten.

Observasi awal menunjukkan bahwa faktor-faktor penyebab utama adalah keterbatasan pemantauan real-time, program PLC yang belum dioptimalkan, dan ketidakteraturan dalam pemeliharaan sistem.

Ketiadaan sistem pemantauan berbasis real-time membuat deteksi masalah menjadi reaktif, sehingga sering kali kerusakan terdeteksi setelah gangguan besar terjadi. Padahal, dengan integrasi IoT dan SCADA system, monitoring kondisi mesin dapat dilakukan secara otomatis dan prediktif, meminimalkan risiko downtime tidak terencana. Selain itu, kurangnya pelatihan bagi operator dalam memahami logika kontrol, interpretasi alarm sistem, serta dasar troubleshooting menyebabkan ketergantungan

penuh pada teknisi eksternal saat terjadi gangguan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

- Menganalisis implementasi sistem PLC pada mesin inject di PT. Ilham Prima Sakti secara mendalam.
- Mengidentifikasi faktor-faktor penghambat kinerja optimal sistem PLC.
- Merancang dan menguji strategi optimalisasi berbasis integrasi IoT, pemrograman ulang PLC, serta penguatan kompetensi operator.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan produktivitas, efisiensi, serta keandalan sistem produksi di PT. Ilham Prima Sakti, sekaligus menjadi referensi untuk penerapan optimalisasi PLC di sektor industri manufaktur lainnya

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) adalah alat kontrol digital berbasis mikroprosesor yang dirancang untuk mengotomatisasi proses industri. PLC mampu menerima masukan dari berbagai sensor, memproses informasi berdasarkan program tertentu, dan menghasilkan output untuk mengontrol aktuator seperti motor listrik, katup, dan lampu indikator [2]

Seiring perkembangan teknologi, PLC modern kini mendukung komunikasi berbasis Ethernet, Profinet, dan Modbus, sehingga memudahkan integrasi dengan sistem SCADA dan IoT [3]

Dalam industri manufaktur, PLC memainkan peran penting dalam meningkatkan fleksibilitas produksi, akurasi kontrol, serta meminimalkan downtime operasional.

PLC juga memiliki komponen yang sangat penting dan berperan penting dalam penggunaannya. Setiap komponen memiliki peran spesifik yang mendukung operasi keseluruhan dari PLC [4]. Unit prosesor adalah komponen inti dari PLC yang bertanggung jawab untuk menjalankan program dan mengolah data. Modul input/output (I/O) adalah komponen lain yang sangat penting dalam PLC. Modul ini bertugas untuk menghubungkan PLC dengan dunia luar, yaitu perangkat sensor dan aktuator. Cara kerja Programmable Logic

Controller (PLC) sangat bergantung pada siklus kerja yang dikenal sebagai "scan cycle." Siklus ini merupakan proses berulang yang memungkinkan PLC untuk membaca input, menjalankan logika kontrol, dan memperbarui output secara sistematis.

Selain komponen PLC, PLC juga memiliki cara kerja. Cara kerja Programmable Logic Controller (PLC) sangat bergantung pada siklus kerja yang dikenal sebagai "scan cycle." Siklus ini merupakan proses berulang yang memungkinkan PLC untuk membaca input, menjalankan logika kontrol, dan memperbarui output secara sistematis. Pada umumnya, siklus ini terdiri dari beberapa langkah utama: pemindaian input, eksekusi program, pemindaian output, dan pemeliharaan.

Dalam otomasi industri PLC memiliki keunggulan. Tiga keunggulan utama PLC adalah fleksibilitas dalam pengaturan, keandalan dalam kondisi ekstrem, dan efisiensi dalam pengelolaan energi. Setiap keunggulan ini berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan efektivitas operasional di berbagai sektor industri. Fleksibilitas dalam pengaturan adalah salah satu keunggulan utama PLC. PLC dapat dengan mudah diprogram ulang untuk memenuhi kebutuhan spesifik dari berbagai aplikasi industri.

Dalam penelitian ini, PLC Siemens S7-1200 menjadi fokus utama karena memiliki fleksibilitas tinggi, kemudahan pemrograman, dan kapabilitas integrasi jaringan industri.

2.2 Internet of Things (IoT) dalam Sistem Otomasi

Optimalisasi adalah proses untuk mencapai hasil terbaik dari suatu sistem atau proses dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia secara efisien. Dalam konteks manufaktur, optimalisasi berfokus pada peningkatan efisiensi operasional, pengurangan biaya, dan peningkatan kualitas produk.

Pendekatan optimalisasi teknologi dalam konteks otomasi industri sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Salah satu cara untuk mencapai optimalisasi ini adalah melalui penggunaan automasi sebagai alat optimalisasi dan penerapan pemrograman adaptif pada Programmable Logic Controller (PLC).

Internet of Things (IoT) adalah konsep penghubungan perangkat fisik ke internet, memungkinkan mereka untuk mengumpulkan,

mengirimkan, dan bertukar data secara otomatis [5]

Dalam konteks industri, IoT memungkinkan sistem produksi menjadi lebih transparan dan prediktif.[6] Integrasi IoT dengan PLC memberikan keuntungan besar seperti:

- Monitoring kondisi mesin secara real-time.
- Analisis data historis untuk prediksi kegagalan.
- Optimalisasi energi dan sumber daya.

Menurut [7] penerapan IoT di sektor manufaktur dapat meningkatkan efisiensi operasional hingga 30% dan mengurangi downtime tidak terencana sebesar 35%.

Penelitian ini mengaplikasikan integrasi IoT untuk memantau parameter suhu, getaran, dan konsumsi energi pada mesin inject, sehingga meningkatkan kemampuan prediksi terhadap potensi kerusakan.

2.3 Pemeliharaan Preventif dan Prediktif

Pemeliharaan preventif (Preventive Maintenance) adalah strategi perawatan mesin yang dilakukan secara rutin berdasarkan jadwal, sebelum terjadi kerusakan (Riyan Hidayat, 2023).

Tujuan utama dari pemeliharaan preventif adalah untuk meningkatkan keandalan dan ketersediaan peralatan, serta mengurangi biaya pemeliharaan secara keseluruhan. Dengan melakukan pemeliharaan secara teratur, perusahaan dapat memastikan bahwa peralatan berfungsi pada tingkat optimal, sehingga meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional.

Sementara itu, pemeliharaan prediktif (Predictive Maintenance) menggunakan data sensor dan algoritma analitik untuk memprediksi waktu kegagalan komponen [9].

Manfaat utama dari penerapan preventive dan predictive maintenance adalah:

- Mengurangi frekuensi kerusakan mendadak.
- Memperpanjang usia mesin.
- Menurunkan biaya perbaikan darurat.

Dalam penelitian ini, kedua pendekatan pemeliharaan diterapkan untuk menjaga performa mesin inject pasca integrasi IoT dan optimalisasi program PLC.

2.4 Lean Manufacturing dalam Konteks Otomasi

Lean Manufacturing adalah metodologi yang berfokus pada eliminasi pemborosan

(waste) dalam proses produksi tanpa mengorbankan produktivitas [10].

Lean manufacturing mengidentifikasi tujuh jenis pemborosan yang perlu dihilangkan, yaitu:

1. Pemborosan dalam produksi berlebih.
2. Pemborosan dalam waktu tunggu.
3. Pemborosan dalam transportasi.
4. Pemborosan dalam proses yang tidak efisien.
5. Pemborosan dalam persediaan.
6. Pemborosan dalam gerakan yang tidak perlu.
7. Pemborosan dalam produk cacat

Prinsip utama Lean menurut [11] adalah:

- Mengidentifikasi nilai tambah dari perspektif pelanggan.
- Menciptakan aliran produksi yang lancar.
- Membangun sistem produksi berbasis permintaan (pull system).

Integrasi Lean dengan otomasi berbasis PLC dan IoT mampu meningkatkan kecepatan respons terhadap perubahan permintaan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya [12].

Dalam konteks penelitian ini, prinsip Lean diterapkan dalam analisis waktu siklus produksi untuk mengurangi non-value-added time akibat downtime mesin.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus. Metode ini dipilih untuk mengamati dan mendeskripsikan kondisi nyata sistem PLC pada mesin inject di PT. Ilham Prima Sakti, serta untuk menguji efektivitas strategi optimalisasi berbasis integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dan pemeliharaan preventif. Desain ini memungkinkan analisis empiris terhadap performa sistem sebelum dan sesudah intervensi teknologi, dengan menggunakan data primer yang dikumpulkan secara langsung di lapangan. Populasi penelitian adalah seluruh mesin inject berbasis PLC Siemens S7-1200 di PT. Ilham Prima Sakti, dengan sampel lima unit mesin yang mengalami penurunan efisiensi.

Teknik pengumpulan data meliputi dokumentasi historis produksi, observasi siklus kerja mesin, pengujian downtime, serta wawancara terstruktur dengan operator dan teknisi. Analisis data dilakukan dengan statistik deskriptif, paired sample T-test untuk menguji

perbedaan sebelum dan sesudah optimalisasi, serta regresi sederhana untuk mengukur pengaruh perubahan terhadap efisiensi.

2.5 Analisis Data Real-Time dalam Optimalisasi Produksi

Dalam konteks industri, data real-time sangat penting karena memungkinkan pemantauan dan pengendalian proses secara langsung, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan tepat.

Data real-time memainkan peran krusial dalam pengambilan keputusan di lingkungan industri. Dengan informasi yang tersedia secara instan, manajer dan operator dapat membuat keputusan yang lebih baik berdasarkan kondisi terkini dari proses produksi. Misalnya, dalam sistem manufaktur, data real-time memungkinkan identifikasi masalah secara cepat, seperti deteksi kesalahan atau cacat produk, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum masalah tersebut berkembang menjadi lebih serius.

Sistem pengolahan data pada Programmable Logic Controller (PLC) melibatkan beberapa langkah kunci yang memastikan bahwa data dari berbagai sumber dapat dikumpulkan, diproses, dan digunakan untuk pengendalian proses secara efektif. Mekanisme ini dimulai dengan pemindaian input, di mana PLC membaca status dari semua perangkat input, seperti sensor dan saklar. Data yang diperoleh kemudian diproses menggunakan logika kontrol yang telah diprogram sebelumnya. Setelah pemrosesan, PLC mengupdate output berdasarkan hasil dari logika kontrol tersebut, yang dapat berupa perintah untuk menghidupkan atau mematikan perangkat output seperti motor atau katup.

Analisis data real-time memberikan sejumlah manfaat signifikan bagi organisasi, terutama dalam konteks pengambilan keputusan dan pengelolaan sumber daya. Dua manfaat utama yang akan dibahas di sini adalah peningkatan akurasi deteksi masalah dan optimalisasi pengelolaan sumber daya. Salah satu manfaat utama dari analisis data real-time adalah kemampuannya untuk meningkatkan akurasi dalam mendeteksi masalah. Dengan data yang tersedia secara langsung, organisasi dapat memantau kinerja sistem dan proses secara terus-menerus.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimalisasi sistem PLC pada mesin inject merupakan langkah strategis yang penting bagi PT. Ilham Prima Sakti untuk meningkatkan efisiensi dan daya saing. Penelitian ini akan berfokus pada analisis kinerja sistem PLC saat ini, identifikasi faktor-faktor penghambat, dan usulan strategi optimalisasi berbasis pendekatan teknis dan manajerial.

Penerapan teknologi otomasi seperti Programmable Logic Controller (PLC) menjadi salah satu solusi penting untuk meningkatkan kecepatan, ketepatan, dan konsistensi proses produksi. Teknologi ini memungkinkan proses manufaktur yang lebih cerdas dan terintegrasi, yang pada akhirnya dapat meningkatkan daya saing industri secara global.

Dengan mengintegrasikan teknologi modern seperti IoT, menerapkan strategi pemeliharaan preventif, serta meningkatkan kompetensi sumber daya manusia, diharapkan perusahaan dapat memaksimalkan potensi sistem PLC yang dimiliki. Hasil dari optimalisasi ini tidak hanya akan memberikan keuntungan finansial bagi perusahaan tetapi juga memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan industri plastik di Indonesia secara keseluruhan.

Optimalisasi PLC juga memiliki dampak langsung terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Konsumen saat ini semakin menuntut produk plastik yang tidak hanya tahan lama tetapi juga ramah lingkungan dan diproduksi secara efisien. Plastics Europe (2022) melaporkan bahwa sekitar 30% perusahaan plastik yang telah mengadopsi teknologi otomasi melaporkan peningkatan kepuasan pelanggan melalui pengurangan kesalahan produksi. Dengan demikian, optimalisasi sistem PLC bukan hanya menjadi kebutuhan internal perusahaan tetapi juga bagian dari strategi untuk memenuhi tuntutan pasar global yang semakin ketat. PT. Ilham Prima Sakti dapat memanfaatkan teknologi ini untuk meningkatkan daya saing produknya baik di pasar domestik maupun internasional.

4.1 Kondisi Awal Sistem PLC di PT. Ilham Prima Sakti

Salah satu masalah utama dalam implementasi PLC pada mesin inject di PT. Ilham Prima Sakti adalah tidak adanya analisis data secara real-time. Analisis data secara real-time merupakan elemen penting dalam pengelolaan proses produksi modern karena memungkinkan pemantauan kinerja mesin

secara terus-menerus dan mendeteksi potensi masalah sebelum terjadi kerusakan

Dari audit awal pada 5 mesin inject berbasis PLC Siemens S7-1200, ditemukan:

- Frekuensi downtime rata-rata 3,2 jam per hari.
 - Efisiensi waktu siklus: hanya 68% dari target desain (idealnya 90%).
 - Kualitas output: tingkat reject produk mencapai 7% (di atas standar industri 3%).
- Analisis terhadap log data PLC menunjukkan bahwa banyak downtime disebabkan:
- Sensor suhu tidak akurat (20% kasus).
 - Overload cycle mesin (25% kasus).
 - Gangguan komunikasi antara PLC dan HMI (15% kasus).
 - Kesalahan logika ladder program (10% kasus).
 - Sisanya kombinasi faktor kecil (30%).

Diagnosis awal: Problem dominan berasal dari sensor dan kurangnya pemeliharaan terjadwal.

4.2 Simulasi Optimalisasi: Integrasi Monitoring Real-Time

Real-time Monitoring adalah pengiriman data yang terus diperbarui tentang sistem, proses atau peristiwa. Pemantauan ini menyediakan aliran informasi dengan jeda waktu nol atau rendah, sehingga penundaan antara pengumpulan dan analisis data sangat minimal [13].

Hal ini memungkinkan deteksi cepat terhadap anomali, masalah kinerja, dan peristiwa penting lainnya. Dalam proyek percontohan, dilakukan integrasi sistem monitoring berbasis IoT dengan parameter:

- Pemasangan sensor suhu digital DS18B20 untuk monitoring real-time.
- Pemasangan energy meter berbasis Modbus TCP untuk mengukur konsumsi energi mesin.
- Dashboard berbasis SCADA (Wonderware Intouch) untuk menampilkan status mesin.

Data dikumpulkan dalam 30 hari uji coba.

Hasil:

Parameter	Sebelum Integrasi	Sesudah Integrasi
Downtime rata-rata	3,2 jam/hari	1,4 jam/hari
Persentase output reject	7%	2,5%
Konsumsi energi per unit produk	1,8 kWh	1,3 kWh
Rata-rata efisiensi siklus	68%	88%

Interpretasi:

- Monitoring real-time memungkinkan pendeteksian dini anomali suhu dan overload mesin.

- Penyesuaian waktu cycle berdasarkan data historis berhasil menurunkan reject rate.

- Pengelolaan energi lebih efektif, mendukung aspek keberlanjutan produksi.

4.3 Perbaikan Pemrograman PLC

PLC memang menjadi tulang punggung hampir semua proses otomatisasi dalam manufaktur hingga saat ini, dan terus berkembang lebih canggih seiring dengan perkembangan teknologi industri di sekitarnya. Oleh karena itu diperlukannya perbaikan program dalam PLC.

Ditemukan beberapa kelemahan dalam ladder diagram yang diprogram sebelumnya:

- Tidak adanya interlock otomatis saat suhu over limit.

- Tidak ada sistem fail-safe untuk emergency stop.

Solusi yang diterapkan:

- Penambahan rung kontrol suhu kritis.
- Implementasi emergency stop berbasis safety relay dalam ladder diagram.

Uji Validasi:

Setelah perubahan program, simulasi beban tinggi berhasil dijalankan tanpa terjadi trip mesin, dan waktu restart mesin menurun 40%.

4.4 Strategi Pemeliharaan Baru: Hybrid Maintenance (Preventive + Predictive)

Mengubah pola pemeliharaan:

- Preventive: Inspeksi fisik sensor, koneksi kabel, dan module I/O tiap 2 minggu.

- Predictive: Analisis getaran motor injeksi menggunakan sensor accelerometer sederhana dan Machine Learning prediksi kegagalan bearing.

Hasil Implementasi:

- Deteksi dini 2 kasus getaran abnormal → mencegah kerusakan motor Rp 45 juta.

- Tidak ada kerusakan mendadak selama periode 60 hari setelah implementasi.

4.5 Analisis Statistik

4.5.1 Uji Paired Sample T-Test

Menguji beda downtime sebelum dan sesudah optimalisasi.

- Hipotesis nol (H_0): Tidak ada beda downtime.

- Hipotesis alternatif (H_1): Ada beda downtime.

Hasil uji:

- p-value = 0,003 ($< 0,05$)

- Kesimpulan: Tolak H_0 , terdapat perbedaan signifikan dalam downtime mesin sebelum dan sesudah optimalisasi.

4.5.2 Analisis Korelasi

Antara waktu downtime dan efisiensi produksi:

- Koefisien korelasi Pearson $r = -0,82 \rightarrow$ korelasi negatif kuat.

Interpretasi: Semakin rendah downtime, semakin tinggi efisiensi produksi.

4.6 Pembahasan

Optimalisasi PLC berbasis integrasi IoT, perbaikan ladder programming, serta strategi hybrid maintenance terbukti secara signifikan memperbaiki kinerja mesin inject.

Temuan penting:

- Real-time monitoring menjadi kunci dalam pencegahan kerusakan dan pengambilan keputusan cepat.

- Kualitas program PLC berpengaruh besar terhadap reliabilitas sistem otomasi.

- Strategi prediktif memperpanjang usia komponen kritis tanpa perlu menunggu kerusakan terjadi.

Implikasi untuk industri:

- Implementasi digitalisasi berbasis PLC + IoT merupakan keharusan untuk manufaktur modern.

- Investasi pada SDM (pelatihan troubleshooting PLC & IoT) sama pentingnya dengan investasi hardware

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi awal sistem PLC menunjukkan performa yang belum optimal, dengan downtime rata-rata mencapai 3,2 jam per hari dan efisiensi produksi hanya sebesar 68% dari kapasitas maksimal. Faktor-faktor penghambat utama meliputi keterbatasan monitoring real-time, pemeliharaan reaktif, dan keterbatasan dalam pemrograman PLC.
2. Strategi optimalisasi yang meliputi integrasi sistem monitoring berbasis IoT, perbaikan ladder programming, serta penerapan hybrid maintenance (preventive dan predictive) terbukti efektif dalam meningkatkan performa sistem produksi.
3. Hasil implementasi menunjukkan perbaikan signifikan:
 - Downtime mesin berkurang hingga 56% menjadi 1,4 jam per hari.
 - Efisiensi produksi meningkat dari 68% menjadi 85%.
 - Tingkat reject produk turun dari 7% menjadi 2,5%.
 - Konsumsi energi per unit produk berkurang sebesar 28%.
4. Uji statistik menggunakan Paired Sample T-Test mengonfirmasi bahwa perbedaan kinerja produksi sebelum dan sesudah optimalisasi adalah signifikan pada taraf signifikansi 5% ($p < 0,05$).
5. Integrasi IoT dengan sistem PLC tidak hanya meningkatkan keandalan operasional, tetapi juga membuka peluang pengembangan sistem produksi berbasis data real-time dan predictive analytics, sesuai arah transformasi industri menuju konsep Smart Manufacturing.

Dengan demikian, optimalisasi sistem PLC berbasis teknologi informasi dan strategi pemeliharaan berbasis data nyata dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan daya saing industri manufaktur, khususnya di sektor produksi plastik.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini. Ucapan terima kasih saya sampaikan dengan tulus kepada kedua orangtua, keluarga dan teman seperjuangan yang senantiasa mendoakan dan mendukung penulis dalam penelitian hingga penulisan artikel. Terimakasih kepada PT. Ilham Prima yang memberikan kesempatan dan dukungan penuh dalam pelaksanaan penelitian ini. Serta Kerjasama yang terjalin sangat mempermudah proses penelitian dan memberikan pengalaman yang berharga. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kemajuan pabrik di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Herdiana. H, "Programmable Logic Controller (PLC) dan perkembangannya dalam industri 4.0," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, vol. 1, pp. 15–23, 2024.
- [2] E. , & A. M. O. Alphonsus, "A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)," pp. 1185–1205, 2016.
- [3] T. Ardiansyah and D. Risfendra, "Rancangan Sistem Mounting Device Berbasis PLC Menggunakan HMI," 2020.
- [4] A. A. Putra, "Implementasi Sistem Kontrol Penggerak Motor Stepper Pada Proses Molding Microplastic Berbasis Pid Menggunakan Plc Dan Arduino," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3601.
- [5] M. , A. A. Hadid, "Internet of Things (IoT) dalam manufaktur: Studi aplikasi dan integrasi," *Indonesian Journal of Industrial Engineering*, vol. 12, pp. 65–72, 2021.
- [6] H. Prabowo, "Integrasi Internet of Things dalam sistem otomasi pabrik: Studi kasus penerapan di industri kecil menengah," *Jurnal Teknologi Informasi dan Industri*, vol. 7, pp. 90–97, 2019.
- [7] A. Setiawan, "Penerapan Internet of Things (IoT) pada sistem produksi berbasis PLC," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 12, pp. 1–10, 2023.
- [8] A. Riyan Hidayat, "Analisa Waktu Optimasi Perawatan Mesin CNC Milling dengan Pendekatan Value Stream Mapping Serta Perbaikan dengan Failure Mode and Effect Analysis pada Mesin CNC Milling," 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>

- [9] Ismail. M, “Predictive maintenance approach in smart manufacturing,” *Journal of Industrial Technology*, , vol. 19, pp. 75–83, 2023.
- [10] M. Ghosh, “Lean manufacturing performance in Indian manufacturing plants,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2012.
- [11] C. A. Lestari, “Implementasi Lean Manufacturing untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi,” vol. 1, 2023.
- [12] R. Henao, W. Sarache, and I. Gómez, “Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges,” Jan. 20, 2019, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.jelepro.2018.10.116.
- [13] A. Kiswantono and M. Fajri, “Dielektrika-Jurnal Ilmiah Kajian Teori dan Aplikasi Teknik Elektro Transformasi Proteksi Tegangan: Sistem Monitoring IoT untuk Pemantauan Real-Time ARTICLE INFO ABSTRACT,” vol. 11, no. 2, p. 119, 2024.