

Analisis Dampak Implementasi Mesin *Firmware Uploading* Dengan Kapasitas 60 *Integrated Circuit* Permenit Pada Perusahaan *IC Card*

Fathur Rachman, Timotius Anggit Kristiawan*, Farika Tono Putri

Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi Dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
* anggit.kristiawan@polines.ac.id

Abstract

The IC Card (IC Card) manufacturing industry still widely relies on manual methods for firmware uploading into integrated circuits, a process that involves contract labor and basic tools. This method poses several limitations including low throughput, high labor dependency, and a significant risk of human error. These issues affect overall efficiency, product quality, and operational cost. The gap identified lies in the lack of automation in the firmware uploading process, especially within local industries. To address this, the present study aims to evaluate the impact of implementing an automated Firmware Uploading Machine with a capacity of 60 integrated circuits per minute. The research methodology includes a combination of engineering design and field performance testing. The proposed system employs servo motor technology, fiber optic sensors, and PLC-based control to replace manual handling. Experimental results indicate a six-fold increase in production capacity, substantial reductions in labor requirements, and improved operational efficiency. Furthermore, a Break-even point (BEP) analysis confirms that the return on investment can be achieved in a relatively short time. In conclusion, the automated firmware uploading system offers a practical solution for improving productivity, lowering operational costs, and enabling the industrial transition towards high-efficiency and smart manufacturing environments.

Keywords: Automation; BEP; efficiency; firmware uploading; integrated circuit

1. Pendahuluan

Industri manufaktur *IC Card* (*IC Card*) memiliki proses produksi yang kompleks dan menuntut efisiensi tinggi. Salah satu tahapan penting dalam proses tersebut adalah pemrograman *firmware* ke dalam *integrated circuit*. Namun, di beberapa industri lokal, proses ini masih dilakukan secara manual dengan bantuan alat sederhana dan tenaga kerja borongan. Metode ini tidak hanya kurang efisien, tetapi juga memiliki risiko kesalahan manusia dan beban kerja fisik yang tinggi, sehingga mempengaruhi kualitas dan produktivitas secara keseluruhan [1][2][3]. Penggunaan sistem otomatis berbasis PLC dan sensor serat optik telah terbukti dapat meningkatkan efisiensi proses serupa dalam berbagai sektor industri [4].

Data hasil pengamatan langsung pada sistem kerja manual di salah satu industri *IC Card* selama periode 1–11 September 2023 menunjukkan bahwa produksi per shift cenderung stabil, namun memerlukan jumlah tenaga kerja yang besar. Rincian data produksi tersebut ditampilkan pada Tabel 1, Pengerjaan firmware uploading integrated circuit secara manual berikut:

Table 1. Pengerjaan firmware uploading integrated circuit secara manual

Pengerjaan <i>firmware uploading integrated circuit</i> secara manual				
Tanggal	Hari	Shift	Produksi (<i>Integrated circuit</i>)	Total Tenaga Borong
1-Sep-23	Friday	Shift 1	31500	14
1-Sep-23	Friday	Shift 2	32000	14
1-Sep-23	Friday	Shift 3	31500	14
2-Sep-23	Saturday	Shift 1	32000	14
2-Sep-23	Saturday	Shift 2	31500	14

Pengerjaan <i>firmware uploading integrated circuit</i> secara manual				
Tanggal	Hari	Shift	Produksi (<i>Integrated circuit</i>)	Total Tenaga Borong
2-Sep-23	Saturday	Shift 3	32000	14
3-Sep-23	Sunday	Shift 1	31500	14
3-Sep-23	Sunday	Shift 2	32000	14
3-Sep-23	Sunday	Shift 3	31500	14
4-Sep-23	Monday	Shift 1	32000	14
4-Sep-23	Monday	Shift 2	31500	14
4-Sep-23	Monday	Shift 3	32000	14
5-Sep-23	Tuesday	Shift 1	31500	14
5-Sep-23	Tuesday	Shift 2	32000	14
5-Sep-23	Tuesday	Shift 3	31500	14
6-Sep-23	Wednesday	Shift 1	32000	14
6-Sep-23	Wednesday	Shift 2	31500	14
6-Sep-23	Wednesday	Shift 3	32000	14
7-Sep-23	Thursday	Shift 1	31500	14
7-Sep-23	Thursday	Shift 2	32000	14
7-Sep-23	Thursday	Shift 3	31500	14
8-Sep-23	Friday	Shift 1	32000	14
8-Sep-23	Friday	Shift 2	31500	14
8-Sep-23	Friday	Shift 3	32000	14
9-Sep-23	Saturday	Shift 1	31500	14
9-Sep-23	Saturday	Shift 2	32000	14
9-Sep-23	Saturday	Shift 3	31500	14
10-Sep-23	Sunday	Shift 1	32000	14
10-Sep-23	Sunday	Shift 2	31500	14
10-Sep-23	Sunday	Shift 3	32000	14
11-Sep-23	Monday	Shift 1	31500	14
11-Sep-23	Monday	Shift 2	32000	14

Data menunjukkan sistem manual menghasilkan $\pm 31.500 - 32.000$ IC per shift namun membutuhkan 14 tenaga kerja per shift, yang memicu tingginya biaya dan risiko kesalahan. Studi sebelumnya membuktikan bahwa otomatisasi berbasis PLC dan sensor meningkatkan efisiensi, presisi, dan stabilitas proses [5][6]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi mesin Firmware Uploading otomatis berkapasitas 60 IC/menit dari aspek teknis, tenaga kerja, dan kelayakan ekonomi melalui analisis BEP.

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu di bidang otomasi industri, khususnya dalam hal implementasi sistem *firmware uploading* yang terintegrasi dengan sensor optik dan sistem kendali berbasis PLC. Dengan pendekatan ini, riset ini memperkuat pemahaman mengenai efisiensi proses manufaktur berbasis kendali otomatis, sekaligus membuka peluang pengembangan sistem sejenis pada lini produksi massal lainnya yang memerlukan akurasi

dan kecepatan tinggi, yang dapat dijadikan acuan dalam studi lanjut di bidang teknik mesin, teknik elektro, mekatronika, dan rekayasa manufaktur.

2. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan rekayasa teknik (*engineering design*) yang terdiri dari tahapan perancangan, perakitan, pengujian, serta analisis performa dan ekonomi dari Mesin Firmware Uploading otomatis [6]. Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

a. Identifikasi Masalah dan Perumusan Tujuan

Pada tahap awal, dilakukan identifikasi permasalahan yang dihadapi oleh industri *IC Card*, yaitu rendahnya kapasitas produksi *firmware uploading* akibat metode kerja manual yang masih bergantung pada tenaga borong. Hal ini sejalan dengan temuan Li et al. yang menunjukkan bahwa otomatisasi berperan dalam meningkatkan efisiensi dan mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual [11]. Dari sini dirumuskan tujuan penelitian untuk merancang sistem otomatisasi yang mampu meningkatkan efisiensi, akurasi, dan mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja.

b. Perancangan Sistem

Perancangan mesin dilakukan dengan SolidWorks 2021 untuk menghasilkan model 3D yang mengintegrasikan motor servo, sensor fiber optic, dan PLC sebagai pusat kendali [7][9]. Studi oleh Ma'arif et al. menunjukkan bahwa sistem berbasis PLC dan servo efektif menurunkan *cycle time* [5], sementara Kafila et al. berhasil menerapkan kontrol posisi otomatis dengan auto-homing berbasis PLC [6]. Mesin dirancang untuk memproses 60 *IC* per menit, menggantikan sistem manual yang hanya mampu 10 *IC* per menit.

c. Pembuatan dan Perakitan Mesin

Setelah desain selesai, dilakukan proses pembuatan dan perakitan mesin secara langsung. Komponen-komponen utama seperti motor servo Mitsubishi HG-KN43J-S100, sensor fiber optic OMRON E32-TC200A, silinder pneumatik SMC CDQ2B32-20DZ, serta kontroler PLC Mitsubishi FX3U-16MT diintegrasikan untuk membentuk sistem kerja otomatis. Teknologi servo motor dipilih karena kemampuannya memberikan kontrol posisi dan kecepatan yang presisi [12][13]. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Andani et al. mengenai pengaturan posisi dan kecepatan motor servo menggunakan PLC [13], serta studi oleh Yufrida et al. terkait optimalisasi torsi servo dalam sistem dispenser otomatis [14].

d. Pengujian dan Evaluasi Kinerja

Setelah mesin selesai dirakit, dilakukan uji coba di area produksi selama periode waktu tertentu. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kinerja mesin otomatis dengan sistem manual dari beberapa aspek:

- Kapasitas pemrosesan per menit dan per shift,
- Konsistensi hasil pemrograman firmware,
- Pengurangan kebutuhan tenaga kerja borong,
- Efisiensi waktu proses.

e. Analisis Ekonomi (*Break Even Point/BEP*)

Tahap akhir dari penelitian ini adalah analisis ekonomi menggunakan metode *Break-even point (BEP)*. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan biaya investasi mesin terhadap penghematan biaya tenaga kerja harian, serta peningkatan output produksi. Analisis ini relevan dengan studi yang menekankan pentingnya evaluasi kelayakan investasi dalam sistem otomatisasi [7][8].

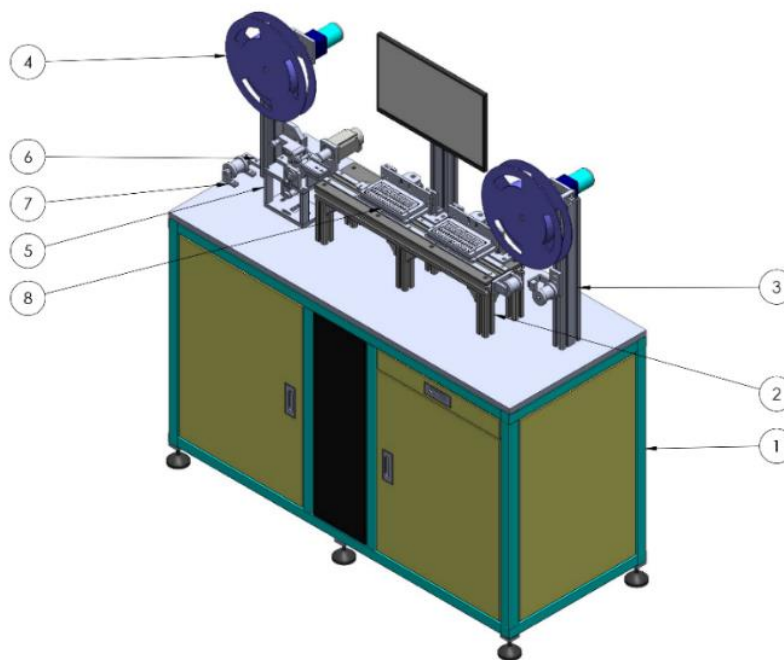
Dengan tahapan-tahapan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi teknis dan ekonomis terhadap permasalahan produksi firmware uploading yang selama ini masih bergantung pada metode manual.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Desain Mesin

Mesin Firmware Uploading dirancang untuk menggantikan metode manual dalam proses pemrograman IC [9]. Desain dibuat menggunakan SolidWorks 2021 dan mencakup unit transportasi, roll penarik, input-output holder, serta sistem kendali otomatis berbasis PLC [7][9]. Penggunaan PLC memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengaturan kerja, sinkronisasi aktuator, dan integrasi sensor, seperti ditunjukkan pada studi Ma'arif et al. dan Kafila et al. yang mengembangkan sistem servo dan auto-homing berbasis PLC [5][6]. Mesin ini juga mengadopsi prinsip sistem konveyor otomatis untuk mendukung alur kerja yang stabil dan berkelanjutan [4].

Gambar desain mesin *Firmware Uploading* otomatis yang telah dirancang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini. Desain ini menggambarkan konfigurasi komponen utama serta alur kerja mekanis dan kontrol yang terintegrasi dalam sistem.



Gambar 1. Desain Mesin Firmware Uploading

No	Nama komponen
1	Base frame
2	Transport
3	Input
4	Output
5	Roll penarik <i>integrated circuit</i>
6	Tensioner
7	Roll bebas
8	Pin Respon Reset Unit

Secara mekanis, mesin menggunakan motor servo untuk menggerakkan gulungan IC secara presisi dan sistem pneumatik untuk mengatur respon reset unit. Motor servo memberikan kecepatan stabil dan akurasi posisi tinggi [13], sementara sensor fiber optic memastikan deteksi posisi dan keberadaan IC selama proses berlangsung [14][15]. Seluruh sistem dikendalikan oleh PLC Mitsubishi FX3U-16MT yang diprogram untuk menjalankan siklus otomatis secara konsisten [9] dan pendekatan ini terbukti efektif pada berbagai sistem otomasi lokal [14].

3.2. Pengujian Mesin

Setelah proses perakitan selesai, mesin diuji langsung di area produksi selama 15 hari, mulai dari tanggal 4 hingga 19 April 2025. Pengujian dilakukan terhadap *integrated circuit*. Dalam periode tersebut, mesin beroperasi dalam 47 shift aktif. Selama pengujian, dilakukan pencatatan jumlah produksi untuk setiap shift, guna mengetahui konsistensi kapasitas produksi serta keandalan mesin [9].

Pengujian di lingkungan produksi nyata menjadi tahap penting untuk menilai stabilitas dan respons sistem otomatis terhadap variasi beban kerja. Hal ini sejalan dengan temuan Putri dan Mowaviq yang menunjukkan bahwa sistem konveyor otomatis berbasis PLC mampu menjaga kestabilan produksi dan efisiensi kerja dalam kondisi operasional harian industri [4].

Hasil pengujian mesin selama 15 hari tersebut disajikan pada Tabel 2 di bawah ini. Tabel 2 ini menunjukkan jumlah *integrated circuit* yang berhasil diproses oleh mesin Firmware Uploading otomatis untuk setiap shift kerja.

Table 2. jumlah *integrated circuit* yang berhasil diproses oleh mesin Firmware Uploading otomatis.

Tanggal	Shift	Produksi (<i>integrated circuit</i>)	Bad <i>integrated circuit</i> (<i>integrated circuit</i>)	Produksi Aktual (<i>integrated circuit</i>)
04-04-2025	Shift 1	32000	30	31970
04-04-2025	Shift 2	32000	72	31928
04-04-2025	Shift 3	32000	72	31928
05-04-2025	Shift 1	32000	97	31903
05-04-2025	Shift 2	32000	99	31901
05-04-2025	Shift 3	32000	75	31925
06-04-2025	Shift 1	32000	97	31903
06-04-2025	Shift 2	32000	77	31923
06-04-2025	Shift 3	32000	94	31906
07-04-2025	Shift 1	32000	36	31964
07-04-2025	Shift 2	32000	31	31969
07-04-2025	Shift 3	32000	38	31962
08-04-2025	Shift 1	32000	73	31927
08-04-2025	Shift 2	32000	67	31933
08-04-2025	Shift 3	32000	65	31935
09-04-2025	Shift 1	32000	100	31900
09-04-2025	Shift 2	32000	42	31958
09-04-2025	Shift 3	32000	60	31940

Tanggal	Shift	Produksi (integrated circuit)	Bad integrated circuit (integrated circuit)	Produksi Aktual (integrated circuit)
10-04-2025	Shift 1	32000	46	31954
10-04-2025	Shift 2	32000	80	31920
10-04-2025	Shift 3	32000	20	31980
11-04-2025	Shift 1	32000	45	31955
11-04-2025	Shift 2	32000	49	31951
11-04-2025	Shift 3	32000	74	31926
12-04-2025	Shift 1	32000	100	31900
12-04-2025	Shift 2	32000	36	31964
12-04-2025	Shift 3	32000	96	31904
13-04-2025	Shift 1	32000	22	31978
13-04-2025	Shift 2	32000	20	31980
13-04-2025	Shift 3	32000	61	31939
14-04-2025	Shift 1	32000	89	31911
14-04-2025	Shift 2	32000	61	31939
14-04-2025	Shift 3	32000	32	31968
15-04-2025	Shift 1	32000	92	31908
15-04-2025	Shift 2	32000	80	31920
15-04-2025	Shift 3	32000	75	31925
16-04-2025	Shift 1	32000	39	31961
16-04-2025	Shift 2	32000	20	31980
16-04-2025	Shift 3	32000	46	31954
17-04-2025	Shift 1	32000	41	31959
17-04-2025	Shift 2	32000	56	31944
17-04-2025	Shift 3	32000	85	31915
18-04-2025	Shift 1	32000	97	31903
18-04-2025	Shift 2	32000	63	31937
18-04-2025	Shift 3	32000	46	31954
19-04-2025	Shift 1	32000	38	31962
19-04-2025	Shift 2	32000	36	31964
47 shift		1504000	2870	1501130

Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin bekerja stabil dengan rata-rata produksi ± 3.200 IC per shift, atau ± 60 IC per menit. Sistem kontrol dan sensor terbukti optimal dalam mendeteksi posisi dan keberadaan IC [12]. Cacat IC sebesar 0,19%, dengan total 2.870 IC cacat dari 1.504.000 IC target produksi yang terdeteksi berasal dari gulungan awal, bukan dari proses mesin, jadi tidak ada pengaruh terhadap performa mesin. Kinerja sistem ini sejalan dengan temuan Andani et al. [13] dan Yufrida et al. [14], yang menunjukkan bahwa motor servo dengan kontrol PLC mampu menjaga presisi dan meminimalkan kesalahan dalam proses otomatisasi.

3.3. Perbandingan Sistem Otomatis dan Sistem Manual

Untuk mengetahui sejauh mana peningkatan kinerja yang dihasilkan oleh mesin *Firmware Uploading* otomatis, dilakukan perbandingan antara sistem manual dan sistem otomatis dari berbagai aspek penting seperti kecepatan produksi, kebutuhan tenaga kerja, konsistensi, efisiensi biaya, dan ergonomi kerja [13].

Perbandingan lengkap antara sistem manual dan sistem otomatis disajikan dalam Tabel 3 berikut ini. Tabel 3 ini dirangkum berdasarkan data produksi aktual yang tercatat pada periode 1–11 September 2023 untuk sistem manual, dan 4–19 April 2025 untuk sistem otomatis.

Table 3 Perbandingan sistem manual dan sistem otomatis

No	Aspek Perbandingan	Sistem Manual	Mesin Firmware Uploading
1	Kecepatan Produksi	$\pm 31.500\text{--}32.000$ integrated circuit/shift (berdasarkan data revisi 1–11 Sept 2023, total $\pm 1.016.000$ integrated circuit)	± 32.000 integrated circuit/shift (berdasarkan data 4–19 April 2025, total $\pm 1.504.000$ integrated circuit)
2	Jumlah Tenaga Kerja	14 tenaga borong per shift	1 operator pengawas per shift
3	Konsistensi Produksi	Stabil, kisaran $\pm 31.500\text{--}32.000$ integrated circuit/shift (fluktuasi rendah)	Sangat stabil, konsisten ± 32.000 integrated circuit/shift setiap shift
4	Output Produksi per Shift	± 31.750 integrated circuit/shift $\times 3$ shift = ± 95.250 integrated circuit/hari	± 32.000 integrated circuit/shift $\times 3$ shift = ± 96.000 integrated circuit/hari
5	Biaya Operasional Bulanan	$14 \times \text{Rp}2.180.000$ (UMK Kudus 2023) = $\text{Rp}30.520.000$ /bulan	Biaya listrik & perawatan mesin: $\pm \text{Rp}500.000\text{--}\text{Rp}700.000$ /bulan
6	Ergonomi & Risiko Kerja	Tinggi: aktivitas fisik berulang (menyusun, memposisikan, memeriksa), berisiko kelelahan otot dan potensi cedera ringan	Rendah: hanya memantau layar, minim aktivitas fisik, risiko kerja sangat rendah

Dari perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa mesin otomatis memberikan keunggulan signifikan dari segi efisiensi tenaga kerja, konsistensi produksi, dan penghematan biaya operasional. Selain itu, sistem otomatis juga secara langsung meningkatkan aspek keselamatan dan kenyamanan kerja operator, karena tidak lagi membutuhkan aktivitas fisik berulang yang berpotensi menimbulkan kesalahan dalam proses produksi [13].

3.4. Pembahasan

Pembahasan dalam penelitian ini difokuskan pada efektivitas dan efisiensi penggunaan Mesin *Firmware Uploading* otomatis dibandingkan sistem manual, serta kelayakan investasi mesin melalui analisis *Break-even point (BEP)*. Pembahasan mencakup lima aspek utama: efisiensi kecepatan produksi, penggunaan tenaga kerja, konsistensi hasil produksi, biaya operasional, dan pengembalian investasi.

a. Efisiensi Kecepatan Produksi

Sistem manual menghasilkan rata-rata $\pm 31.500\text{--}32.000$ integrated circuit per shift dengan 14 tenaga borong. Mesin *Firmware Uploading* otomatis mampu memproses ± 32.000 integrated circuit per shift secara konsisten dengan hanya 1

operator pengawas. Proses pemrograman berlangsung otomatis dan minim interupsi, sehingga efisiensi siklus kerja meningkat secara signifikan [9], [14].

b. Efisiensi Penggunaan Tenaga Kerja

Sistem manual membutuhkan 14 tenaga kerja per shift, atau 42 orang untuk 3 shift. Sebaliknya, sistem otomatis hanya memerlukan 1 operator per shift. Jika dihitung dalam sebulan (26 hari kerja), sistem manual membutuhkan 1.092 orang-shift/bulan, sedangkan mesin hanya 78 orang-shift/bulan. Efisiensi ini selaras dengan temuan studi-studi sebelumnya mengenai kontribusi otomatisasi dalam mengurangi kebutuhan tenaga kerja borong secara drastis [9]. Dengan UMR Kudus 2024 sebesar Rp2.460.160 per orang, biaya tenaga kerja per bulan adalah:

- Sistem manual: $14 \times \text{Rp}2.460.160 = \text{Rp}34.442.240$
- Sistem otomatis: $1 \times \text{Rp}2.460.160 = \text{Rp}2.460.160$

Efisiensi biaya tenaga kerja mencapai Rp31.982.080 per bulan, atau penghematan sekitar 92,8%.

c. Konsistensi Produksi

Sistem otomatis menghasilkan output yang lebih stabil, yakni ± 32.000 IC per shift dengan error rate sangat rendah ($\pm 0,19\%$), dibandingkan dengan sistem manual yang meskipun stabil, tetap memiliki variasi karena faktor kelelahan dan perbedaan kinerja antar operator [13]. Konsistensi ini sangat penting untuk menjaga kualitas dan kontinuitas distribusi produk [10].

d. Biaya Operasional

Biaya operasional sistem manual per bulan mencapai Rp35.192.240, yang terdiri dari gaji, listrik, dan perawatan. Sementara itu, biaya operasional mesin otomatis hanya Rp3.542.560. Tabel 4 Efisiensi biaya seperti ini telah menjadi salah satu pendorong utama transformasi digital dalam industri manufaktur. Rinciannya sebagai berikut:

Table 4. Efisiensi biaya

Komponen	Sistem Manual	Mesin Firmware Uploading
Gaji Tenaga Kerja	Rp34.442.240	Rp2.460.160
Biaya Listrik	Rp250.000	Rp582.400
Biaya Perawatan	Rp500.000	Rp500.000
Total	Rp35.192.240	Rp3.542.560

Penghematan biaya operasional bulanan sebesar Rp31.649.680, atau sekitar 90% lebih hemat.

e. Analisis Break-even point (BEP)

Total biaya investasi mesin Firmware Uploading adalah Rp112.219.635. Dengan penghematan biaya operasional bulanan sebesar Rp31.649.680, maka waktu balik modal dihitung sebagai berikut:

$$BEP = \frac{\text{Rp}112.219.635}{\text{Rp}31.649.680} = 3,55 \text{ bulan}$$

Artinya, investasi mesin balik modal dihitung sebagai berikut: sekitar 3,5 bulan. Hasil ini menunjukkan kelayakan investasi, sebagaimana disarankan dalam berbagai studi mengenai penerapan teknologi otomatisasi [7], [8].

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan mesin *Firmware Uploading* otomatis yang mampu meningkatkan efisiensi dan kapasitas produksi integrated circuit di lingkungan industri. Sistem otomatis ini mampu menurunkan kebutuhan tenaga kerja dari 14 orang per shift menjadi hanya 1 operator pengawas, serta meningkatkan konsistensi hasil produksi. Dari segi biaya, mesin otomatis menghasilkan efisiensi operasional hingga 90%, dengan penghematan biaya bulanan sebesar ±Rp31.649.680. Berdasarkan perhitungan *Break-even point (BEP)*, investasi mesin sebesar Rp112.219.635 dapat kembali dalam waktu sekitar 3,5 bulan. Dengan demikian, mesin Firmware Uploading otomatis yang dikembangkan dalam penelitian ini dinyatakan layak secara teknis dan ekonomis untuk diterapkan sebagai solusi peningkatan produktivitas di sektor industri pembuatan integrated circuit.

Penelitian di masa depan dapat difokuskan pada upaya untuk mempercepat proses *firmware uploading*, seperti dengan menyederhanakan alur kerja mesin, mengurangi jeda waktu antar proses, atau meningkatkan kecepatan *firmware uploading*. Selain itu, riset lanjutan juga dapat mengeksplorasi penggunaan sistem kontrol yang lebih cepat, penambahan fitur paralel proses, atau pengembangan desain mesin yang lebih efisien untuk meningkatkan kinerja secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

- [1] Au-Yong CP, Ali AS, Ahmad F. Enhancing Building Maintenance Cost Performance with Proper Management of Spare Parts. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2016;22(1):72–86.
- [2] Ghosh S, Mallik AK. Modeling and Simulation of Pneumatic Systems Using MATLAB/Simulink. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018;96:2189–2202. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1265-z>
- [3] Morita T, Yamasaki H. Precision Position Control of Servo Motor Systems with Load Variation Using Disturbance Observers. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2021;68(8):7321–7330. <https://doi.org/10.1109/TIE.2020.3002158>
- [4] Putri TWO, Mowaviq MI. Prototipe Sistem Konveyor Otomatis dengan Kendali Kecepatan Berbasis PLC. *Jurnal Barometer*. 2023;6(1):41–48. <https://doi.org/10.35261/barometer.v6i01.4505>
- [5] Ma'arif ES, Assidiq MA, Muchtar H. Modifikasi Cutter Carrier Menggunakan Motor Servo dengan Kendali PLC untuk Menurunkan Cycle Time Mesin Bias Cutter. *Jurnal Fokus Elektroda*. 2022;7(3):155–161. <https://doi.org/10.33772/jfe.v7i3.2>
- [6] Kafila RI, Saputra HM, Nurhakim A. Sistem Auto Homing pada Motor Servo Berbasis PLC OMRON CP1H. *Prosiding SENTER*. 2020;611–617. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Sistem+Auto+Homing+Motor+Servo+PLC
- [7] IDC Technologies. *Programmable Logic Controllers: Principles and Applications*. 2020. Diakses dari: <https://idc-online.com>
- [8] Chen J, Sun D. Development of a Modular Mechatronic System for Flexible Automation. *Mechatronics*. 2014;24(3):230–241. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.12.002>
- [9] Algitta AA, Mustafa S, Ibrahim F, Abdalruof N, Yousef M. Automated Packaging Machine Using PLC. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJASET)*; 2025.
- [10] Acemoglu D, Restrepo P. Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*. 2019;33(2):3–30.
- [11] Li L, Wang Y, Zhang X. How Automated Machines Influence Employment in Manufacturing Enterprises. *PLOS ONE*. 2023;18(3):e0299194.

- [12] Kim H, Okwudire CE. Combined Servo Error Pre-Compensation and Feedrate Optimization—With Application to a 3D Printer and Precision Motion Stage. *arXiv preprint*. 2020. <https://arxiv.org/pdf/2004.06697>
- [13] Andani A, Christoforus IZ, Husnah AN. Sistem Kendali Servo Posisi dan Kecepatan Motor dengan PLC. *Foristek*. 2011;1(2).
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Sistem+Kendali+Servo+Posisi+dan+Kecepatan+Motor+dengan+PLC
- [14] Yufrida AA, Rahayu LP, Syahbana DF. Implementasi Kontrol Torsi Motor Servo Menggunakan Metode PI pada Sistem Automatic Pallet Dispenser. *Jurnal Teknik ITS*. 2021;10(2):A77–A81.
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.72970>
- [15] Liu C-S, Hsu H-C, Lin Y-X. An Optical Sensor for Measuring the Position and Slanting Direction of Flat Surfaces. *Sensors*. 2020;16(7):1061. <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/7/1061/pdf>