

Rancang Bangun *Cut-To-Length* Berbasis PLC Untuk Pemotong Kertas Secara Otomatis

Fithri Az Zahra¹, Joki Irawan², Sarah Chairul Annisa³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl. KH. Sholeh Iskandar, Kedung Badak, Kecamatan Tanah Sareal, Kota Bogor

email : azzaara694@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun mesin Cut to Length untuk pemotongan kertas otomatis berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Omron CP2E. Sistem mengintegrasikan proses penarikan, pengukuran panjang, penjepitan, dan pemotongan kertas secara berurutan. Motor stepper NEMA 23 digunakan untuk menggerakkan feed roller, motor stepper NEMA 17 digunakan untuk menggerakkan mekanisme penjepit, dan aktuator linear 12 VDC digunakan untuk menggerakkan pisau pemotong. Penentuan panjang kertas dilakukan berdasarkan jumlah pulse motor stepper yang diperoleh melalui kalibrasi tanpa menggunakan sensor umpan balik. Sistem dirancang untuk menghasilkan tiga ukuran potongan tetap, yaitu 220 mm, 450 mm, dan 620 mm, dengan nilai kalibrasi masing-masing sebesar 1.150, 2.300, dan 3.000 pulse. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali pada setiap ukuran sehingga diperoleh 15 data pemotongan. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error sebesar 0,82% pada target 220 mm, 0,00% pada target 450 mm, dan 0,29% pada target 620 mm. Rata-rata error keseluruhan sebesar 0,37% dengan tingkat kesesuaian panjang sebesar 99,63%. Perhitungan penggunaan satu roll kertas sepanjang 30.000 mm menghasilkan rata-rata efisiensi material sebesar 99,31% dan rata-rata waste sebesar 0,69%. Berdasarkan hasil tersebut, mesin Cut to Length yang dirancang mampu melakukan pemotongan kertas secara otomatis, berurutan, dan konsisten dengan tingkat kesalahan serta limbah material yang relatif rendah pada skala prototipe.

Kata kunci: aktuator linear, Cut to Length, kalibrasi pulse, motor stepper, PLC Omron CP2E.

Abstract

This study aims to design and develop an automatic paper cut-to-length machine based on an Omron CP2E Programmable Logic Controller (PLC). The system integrates paper feeding, length measurement, clamping, and cutting processes in a sequential operation. A NEMA 23 stepper motor is used to drive the feed roller, a NEMA 17 stepper motor operates the clamping mechanism, and a 12 VDC linear actuator drives the cutting blade. The paper length is determined based on the number of stepper motor pulses obtained through calibration without using a feedback sensor. The system is designed to produce three fixed cutting lengths of 220 mm, 450 mm, and 620 mm, with calibrated values of 1,150, 2,300, and 3,000 pulses, respectively. Five tests were conducted for each cutting length, resulting in a total of 15 cutting trials. The test results showed average errors of 0.82% for the 220 mm target, 0.00% for the 450 mm target, and 0.29% for the 620 mm target. The overall average error was 0.37%, corresponding to a length conformity rate of 99.63%. Material usage calculations based on a 30,000 mm paper roll resulted in an average material efficiency of 99.31% and an average waste percentage of 0.69%. These results demonstrate that the developed cut-to-length machine can perform automatic, sequential, and consistent paper cutting with relatively low cutting errors and material waste at the prototype scale.

Keywords: cut-to-length, linear actuator, Omron CP2E PLC, pulse calibration, stepper motor.

I. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi otomasi mendorong penggunaan Programmable Logic Controller (PLC) untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses produksi. PLC berfungsi mengendalikan mesin secara otomatis berdasarkan program dan urutan kerja yang telah ditentukan. Mo dkk. menjelaskan bahwa PLC banyak digunakan dalam sistem manufaktur adaptif untuk mengatur proses produksi secara otomatis [1]. Selain itu, perkembangan perangkat keras, perangkat lunak, kemampuan pemrosesan, dan komunikasi menjadikan PLC tetap relevan untuk diterapkan pada smart factory dan mesin produksi otomatis [2].

Salah satu penerapan otomasi di bidang manufaktur adalah proses Cut to Length, yaitu pemotongan material gulungan menjadi lembaran dengan panjang tertentu. Pada industri kertas, ketepatan ukuran diperlukan agar hasil produksi sesuai kebutuhan dan penggunaan material dapat dikendalikan. Silalahi dkk. menunjukkan bahwa optimasi panjang material pada industri pulp and paper dapat membantu mengurangi material berlebih dalam proses produksi [3].

Margono dan Ariyansah merancang mesin pemotong material plastik sedotan menggunakan air cylinder yang dikendalikan oleh PLC Omron Sysmac CP1E [4]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa PLC dapat digunakan untuk mengatur proses pemotongan secara otomatis. Sementara itu, Ur Rahman dkk. mengembangkan mesin pemotong kertas menggunakan PLC, HMI, motor stepper, dan mekanisme roller untuk mengatur proses penarikan dan pemotongan kertas [5]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini mengembangkan mesin Cut to Length kertas otomatis berbasis PLC Omron CP2E. Motor stepper NEMA 23 digunakan untuk menggerakkan feed roller, NEMA 17 digunakan pada mekanisme penjepit, dan aktuator linear 12 VDC digunakan untuk menggerakkan pisau pemotong. Berbeda dengan penelitian Ur Rahman dkk. yang menggunakan HMI, penelitian ini menggunakan panel selektor untuk memilih tiga ukuran tetap, yaitu 220 mm, 450 mm, dan 620 mm. Penentuan panjang kertas dilakukan berdasarkan jumlah pulse motor stepper tanpa menggunakan sensor umpan balik, sehingga kalibrasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara jumlah pulse dan perpindahan kertas. Melalui integrasi PLC, motor stepper, feed roller, penjepit, dan aktuator linear, sistem diharapkan mampu melakukan proses penarikan, pengukuran, penjepitan, dan pemotongan kertas secara otomatis untuk kebutuhan skala prototipe atau laboratorium.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa (engineering design) dengan pendekatan pengembangan prototipe secara iteratif, meliputi tahap identifikasi kebutuhan, perancangan, pembuatan, integrasi, pengujian, dan penyempurnaan sistem. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor. Bahan utama yang digunakan pada perancangan sistem disajikan pada Tabel 1.

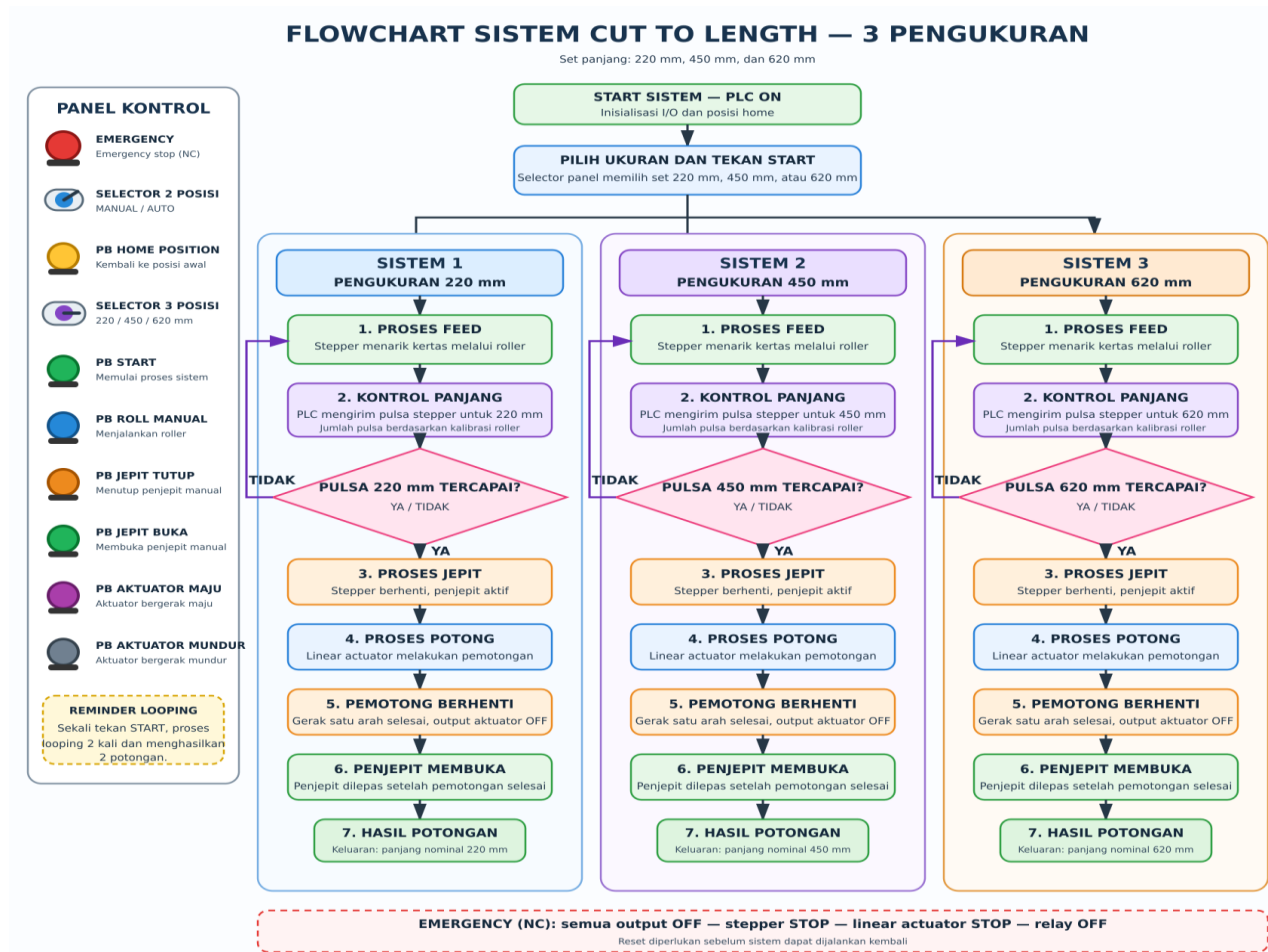
Tabel 1. Bahan yang digunakan pada perancangan sistem

No	Komponen	Kuantitas	Fungsi
1	PLC Omron CP2E	1 unit	Pusat kendali sistem
2	Driver TB6600	2 unit	Driver motor stepper NEMA 23 dan 17
3	Motor stepper NEMA 23	1 unit	Penggerak feed roller

No	Komponen	Kuantitas	Fungsi
4	Motor stepper NEMA 17	1 unit	Penggerak penjepit kertas
5	Aktuator linear 12 VDC	1 unit	Penggerak pisau pemotong
6	Power supply 24 VDC	1 unit	Sumber catu daya
7	Relay module	5 unit	Saklar elektronik
8	Push button	6 unit	Perintah input sistem
9	Converter	1 unit	Menurunkan tegangan 24 V ke 12 V

Proses pemotongan kertas dilakukan untuk memperoleh ukuran lembaran sesuai kebutuhan. Hasil pemotongan dipengaruhi oleh beberapa factor, seperti mekanisme pemotong, kondisi dan ketajaman pisau, posisi kertas, serta gaya yang terjadi saat proses pemotongan. Pada pemotongan kertas board, kondisi permukaan pisau dapat memengaruhi gaya potong dan kualitas hasil pemotongan. Pisau dengan tingkat kekasaran permukaan rendah cenderung menghasilkan potongan yang lebih baik dengan gaya potong yang lebih kecil [6]. Jumlah Pulse disesuaikan dengan jarak perpindahan kertas yang diperoleh melalui proses kalibrasi. Setelah kertas mencapai panjang yang ditentukan, PLC memberikan perintah untuk menjalankan mekanisme pemotongan. Dengan urutan tersebut, proses penarikan dan pemotongan dapat dilakukan secara otomatis [7]. PLC Omron CP2E dirancang sebagai pengendali utama yang mengatur proses penarikan, pengukuran berdasarkan jumlah pulse, penjepitan, pemotongan, dan penghitungan jumlah potongan. Penerapan PLC pada mesin pemotong yang terintegrasi dengan motor juga dapat digunakan untuk mengatur panjang material dan urutan pemotongan [8]. Dalam menjalankan program, PLC bekerja menggunakan siklus *scan*. Siklus tersebut meliputi pembacaan kondisi input, eksekusi program *Ladder Diagram*, dan pembaruan kondisi *output*. Proses ini berlangsung secara berulang selama PLC dalam kondisi bekerja, sehingga perubahan pada input dapat diproses dan diteruskan ke perangkat output sesuai dengan program yang telah dibuat [9]. Ladder diagram digunakan untuk membuat logika kerja seperti start, stop, interlock, timer, counter, mode manual, mode otomatis, dan urutan kerja aktuaktor. Standar pemrograman PLC modern mengacu pada IEC 61131-3 yang mencakup beberapa bahasa pemrograman, termasuk Ladder Diagram, Function Block Diagram, Structured Text, dan Sequential Function Chart [10]. Motor stepper NEMA 23 digunakan sebagai penggerak feed roller, motor stepper NEMA 17 sebagai penggerak penjepit, dan aktuator linear 12 VDC sebagai penggerak pisau pemotong. Driver TB6600 digunakan untuk mengendalikan motor stepper, sedangkan modul relay digunakan sebagai perantara antara output PLC dan aktuator linear.

Urutan kerja sistem digambarkan melalui flowchart pada Gambar 1. Proses dimulai dengan inisialisasi dan pemeriksaan posisi awal (home position). Operator memilih mode operasi dan ukuran potongan melalui selektor pada panel kontrol. Pada mode otomatis, PLC mengirimkan pulse kepada driver TB6600 sehingga motor NEMA 23 memutar feed roller hingga jumlah pulse mencapai nilai kalibrasi yang ditentukan. Selanjutnya PLC mengaktifkan NEMA 17 untuk menutup penjepit, kemudian menggerakkan aktuator linear untuk melakukan pemotongan. Aktuator dikembalikan ke posisi awal, penjepit dibuka, dan counter internal PLC bertambah. Siklus penarikan, penjepitan, dan pemotongan diulang hingga jumlah potongan target tercapai, kemudian sistem kembali ke kondisi standby.



Gambar 1. Flowchart sistem kerja alat

Panjang perpindahan kertas ditentukan berdasarkan jumlah pulse motor stepper NEMA 23 yang diberikan oleh PLC, tanpa menggunakan sensor umpan balik. Keliling roller dihitung berdasarkan diameter roller sebesar 2 inch (50,8 mm) menggunakan persamaan keliling lingkaran:

$$C = \pi D \quad (1)$$

sehingga diperoleh $C = 3,1416 \times 50,8 = 159,59$ mm. Nilai tersebut menjadi dasar perhitungan kalibrasi jumlah pulse terhadap panjang perpindahan kertas. Rasio pulse terhadap panjang ditentukan melalui kalibrasi menggunakan persamaan:

$$\text{Pulse/mm} = \text{Jumlah Pulse} / \text{Panjang Hasil} \quad (2)$$

Nilai pulse yang diberikan kepada PLC untuk setiap target panjang dihitung menggunakan:

$$\text{Pulse} = \text{Panjang} \times \text{Pulse/mm} \quad (3)$$

Karena jarak antara keluaran feed roller dan posisi pemotongan sebesar 85 mm, perpindahan awal kertas dihitung dengan menambahkan offset:

$$L \text{ awal} = L \text{ potong} + L \text{ offset} \quad (4)$$

dengan L awal adalah panjang perpindahan awal, L potong adalah panjang potong, dan L offset adalah jarak roller ke penjepit. Persamaan (1)-(4) digunakan pada tahap kalibrasi dan pemrograman

PLC untuk menentukan set point pulse pada tiga ukuran potongan, yaitu 220 mm, 450 mm, dan 620 mm.

Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian setiap komponen (push button, limit switch, driver dan motor stepper, relay dan aktuator linear, serta home position) hingga pengujian sistem terintegrasi. Pada pengujian terintegrasi, setiap ukuran potongan diuji sebanyak lima kali sehingga diperoleh 15 data pemotongan. Parameter yang diamati meliputi panjang target, panjang aktual, persentase kesalahan (error), dan waktu penarikan. Pengujian penggunaan material dilakukan dengan mencatat panjang awal roll sebesar 30.000 mm, jumlah potongan utuh yang dihasilkan, serta sisa material untuk menghitung efisiensi dan waste.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perakitan menunjukkan bahwa mekanisme feed roller, penjepit, dan aktuator pemotong telah berhasil direalisasikan sesuai rancangan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Feed roller menggunakan motor stepper NEMA 23 dengan permukaan roller dilapisi karet untuk mengurangi slip. Mekanisme penjepit menggunakan motor stepper NEMA 17 yang dihubungkan dengan lead screw untuk menghasilkan gerakan vertikal pelat penjepit. Mekanisme pemotong menggunakan aktuator linear 12 VDC yang digerakkan melalui modul relay dua channel. Hasil ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2. Hasil perakitan keseluruhan mesin Cut to Length

Pengujian PLC menunjukkan bahwa mode auto, mode manual, emergency stop, home position, counter, dan output PLC seluruhnya berfungsi sesuai rancangan. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian PLC

NO	Parameter pengujian	Hasil Yang diharapkan	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Tombol AUTO	Mode otomatis aktif	Berhasil	Sesuai

2	Tombol MANUAL	Mode manual aktif	Berhasil	Sesuai
3	<i>Emergency Stop</i>	Seluruh <i>Output OFF</i>	Berhasil	Sesuai
4	<i>Home Position</i>	Sistem Kembali ke <i>Home Position</i>	Berhasil	Sesuai
5	<i>Counter PLC</i>	Menghitung jumlah <i>Pulse</i>	Berhasil	Sesuai
6	<i>Output PLC</i>	Mengaktifkan motor dan aktuaktor	Berhasil	Sesuai

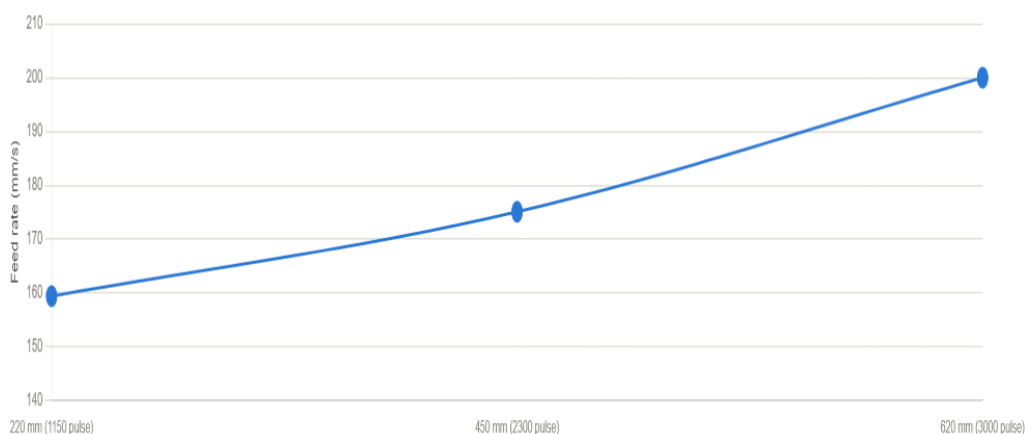
Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara jumlah pulse yang diberikan PLC dan panjang perpindahan aktual kertas. Pengujian dilakukan pada tiga target panjang, yaitu 220 mm, 450 mm, dan 620 mm. . Rasio jumlah ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil kalibrasi pulse motor stepper

Pulse	Target Panjang (mm)	Panjang Kalibrasi (mm)	Rasio Pulse/mm
1150	220	220	5,22
2300	450	450	5,11
3000	620	620	4,83

Perbedaan rasio pulse/mm pada setiap target menunjukkan bahwa hubungan antara jumlah pulse dan perpindahan aktual belum sepenuhnya linier, yang diduga dipengaruhi oleh tekanan feed roller, perubahan diameter efektif roller akibat lapisan karet, slip antara roller dan kertas, serta proses akselerasi-deselerasi motor. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan nilai pulse empiris yang berbeda untuk setiap target panjang, bukan satu faktor kalibrasi tunggal.

Pengujian motor stepper NEMA 23 menunjukkan feed rate rata-rata sebesar 159,42 mm/s untuk target 220 mm, 175,09 mm/s untuk 450 mm, dan 200 mm/s untuk 620 mm, setara dengan kecepatan putar roller sekitar 60-75 RPM. Pengujian NEMA 17 dan aktuator linear menunjukkan bahwa mekanisme penjepit dan pemotong dapat bekerja sesuai perintah PLC pada seluruh pengujian yang dilakukan pada grafik berikut:



Gambar 3 Hasil grafik motor stepper NEMA 23

Kurva feed rate (mm/s) dari Tabel 4.3 sudah dibuat semakin panjang target potongan, feed rate rata-rata makin tinggi (159,42 → 175,09 → 200 mm/s), karena pada lintasan lebih panjang motor bekerja lebih lama pada kecepatan stabil sehingga pengaruh akselerasi-deselerasi di awal/akhir gerakan jadi relatif lebih kecil. Waktu tempuh dan RPM roller muncul saat hover.

Pengujian NEMA 17 dilakukan untuk mengetahui kemampuan mekanisme penjepit dalam membuka, menutup, dan menahan posisi kertas selama proses pemotongan. Motor menggerakkan *lead screw* untuk menghasilkan gerakan vertikal pada pelat penjepit. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Motor Stepper NEMA 17

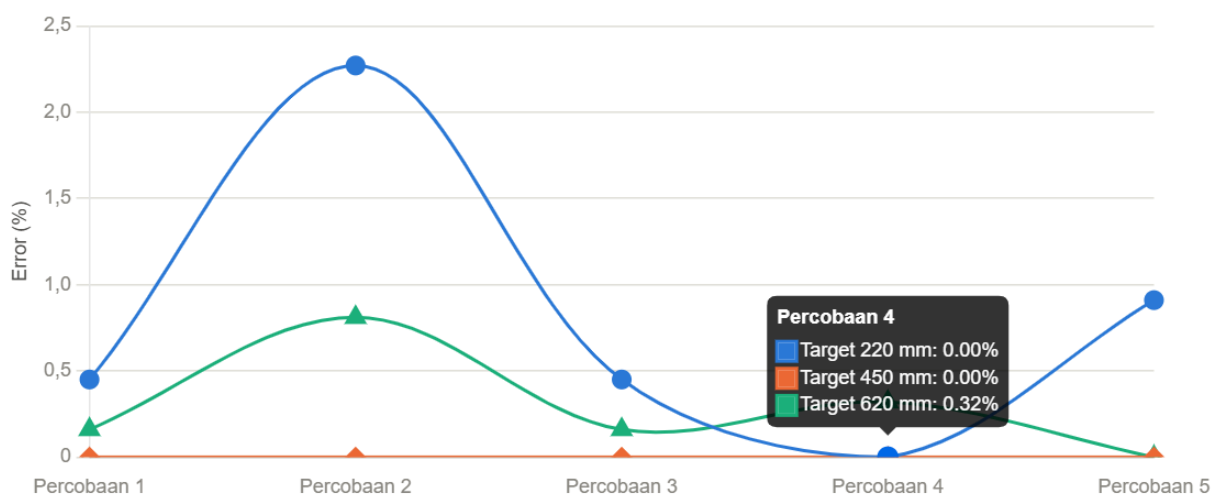
No	Pengujian	Hasil
1	Penjepit membuka	Berhasil
2	Penjepit menutup	Berhasil

Pengujian aktuator linear dilakukan untuk memastikan mekanisme pemotong dapat bergerak maju, bergerak mundur, dan melakukan pemotongan sesuai perintah PLC. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Linear Aktuaktor

No	Pengujian	Hasil
1	Gerakan maju	Berhasil
2	Gerakan mundur	Berhasil
3	Pemotongan material	Berhasil

Pengujian terintegrasi dilakukan setelah setiap komponen dapat bekerja secara individual. Pengujian bertujuan mengetahui kemampuan sistem menghasilkan panjang potongan sesuai target. Hasil pengujian sistem *cut to length* pada grafik berikut :



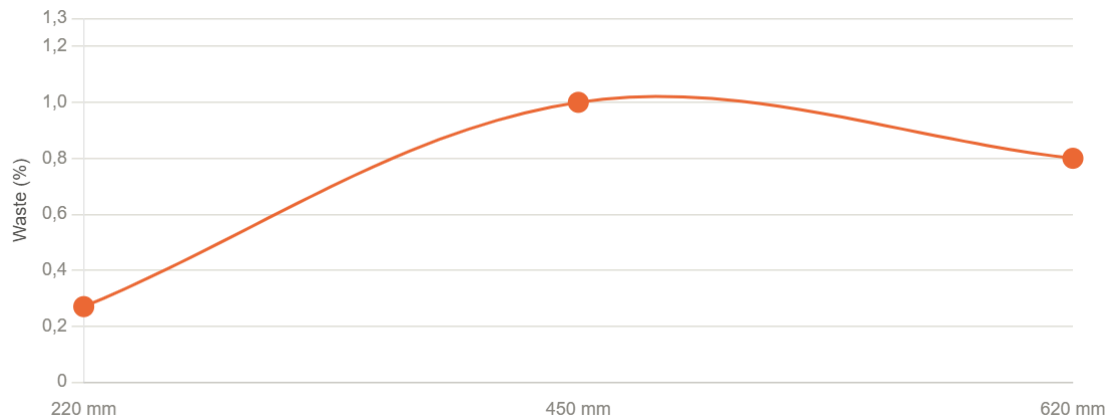
Gambar 4 kurva pengujian sistem *Cut To Length*

Kurva error (%) untuk kelima percobaan di tiap target sudah dibuat. Terlihat jelas:

1. Target 450 mm (oranye) datar di 0% — paling konsisten dari semua percobaan.

2. Target 220 mm (biru) paling fluktuatif, dengan lonjakan di percobaan ke-2 (2,27%).
3. Target 620 mm (hijau) relatif stabil rendah, dengan satu puncak kecil di percobaan ke-2 (0,81%).

Perhitungan penggunaan material dilakukan berdasarkan panjang awal roll sebesar 30.000 mm. Hasil perhitungan jumlah potongan dan efisiensi material pada grafik berikut :



Gambar 5. Hasil jumlah potongan dan hasil efisiensi material

Target potongan 220 mm menghasilkan waste paling rendah sebesar 0,27% dengan efisiensi 99,73%, sedangkan target 450 mm menghasilkan waste tertinggi sebesar 1,00%. Perbedaan tersebut terjadi karena panjang roll tidak selalu habis dibagi oleh panjang potongan yang ditentukan. Secara keseluruhan, rata-rata efisiensi penggunaan material dari ketiga variasi panjang mencapai 99,31% dengan rata-rata waste sebesar 0,69%.

Secara keseluruhan, PLC Omron CP2E berhasil mengendalikan proses penarikan, penjepitan, pemotongan, dan penghitungan jumlah potongan secara otomatis dan berurutan. Sistem mampu menghasilkan potongan kertas pada tiga ukuran dengan tingkat kesalahan dan limbah material yang relatif rendah pada skala prototipe, meskipun hubungan antara jumlah pulse dan panjang aktual belum sepenuhnya linier sehingga berpotensi ditingkatkan melalui penambahan sensor umpan balik.

Pengujian sistem cut to length dilakukan sebanyak lima kali pada setiap ukuran sehingga diperoleh 15 data pemotongan. Rekapitulasi hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi hasil pengujian sistem cut to length

Target	Set Pulse	Rata-rata Error	Akurasi
220 mm	1150	0,82%	99,18%
450 mm	2300	0,00%	100,00%
620 mm	3000	0,29%	99,71%
Keseluruhan	-	0,37%	99,63%

Target 450 mm menghasilkan potongan paling stabil karena seluruh hasil pengujian memiliki error 0%, sedangkan target 220 mm memiliki rata-rata error paling besar. Perhitungan penggunaan material dilakukan berdasarkan satu roll kertas sepanjang 30.000 mm. Hasil perhitungan jumlah potongan dan efisiensi material ditunjukkan pada Tabel 4.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian, mesin Cut to Length kertas otomatis berbasis PLC Omron CP2E berhasil menjalankan proses penarikan, penjepitan, dan pemotongan kertas secara otomatis dan berurutan. Motor stepper NEMA 23 menggerakkan feed roller, motor stepper NEMA 17 menggerakkan penjepit, dan aktuator linear 12 VDC menggerakkan pisau pemotong, dengan panjang potongan diatur berdasarkan hasil kalibrasi pulse, yaitu 1.150 pulse untuk 220 mm, 2.300 pulse untuk 450 mm, dan 3.000 pulse untuk 620 mm.

Dari 15 kali pengujian, diperoleh rata-rata error keseluruhan sebesar 0,37% dengan tingkat kesesuaian panjang sebesar 99,63%. Rata-rata error pada target 220 mm, 450 mm, dan 620 mm masing-masing sebesar 0,82%, 0,00%, dan 0,29%, dengan target 450 mm menghasilkan potongan paling stabil.

Penggunaan satu roll kertas sepanjang 30.000 mm menghasilkan rata-rata efisiensi material sebesar 99,31% dan rata-rata waste sebesar 0,69%, dengan efisiensi tertinggi pada target 220 mm sebesar 99,73%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mesin Cut to Length berbasis PLC yang dirancang mampu melakukan pemotongan kertas secara otomatis, berurutan, dan konsisten dengan tingkat kesalahan serta limbah material yang relatif rendah pada skala prototipe. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan rotary encoder sebagai umpan balik dan HMI sebagai antarmuka pengaturan untuk meningkatkan akurasi dan fleksibilitas sistem.

REFERENSI

- [1] F. Mo, M. Ugarte Querejeta, J. Hellewell, H. U. Rehman, M. Illarramendi Rezabal, J. C. Chaplin, D. Sanderson, and S. Ratchev, "PLC orchestration automation to enhance human-machine integration in adaptive manufacturing systems," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 71, pp. 172-187, 2023.
- [2] K.-C. Yao, C.-L. Lin, and C.-H. Pan, "Industrial Sustainable Development: The Development Trend of Programmable Logic Controller Technology," *Sustainability*, vol. 16, no. 14, art. 6230, 2024.
- [3] A. Silalahi, T. P. Hidayat, H. A. Hutahaean, and F. Suwasto, "Optimasi Panjang Mainroll pada Industri Pulp & Paper untuk Kebutuhan Kertas HVS dengan Integer Programming," *Metris: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 25, no. 2, 2024.
- [4] T. Margono and R. Ariyansah, "Perancangan dan Pabrikasi Mesin Pemotong Material Plastik Sedotan dengan Air Cylinder Berbasis PLC Omron Sysmac CP1E," *Journal Teknik Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan dan Sains (METIKS)*, vol. 3, no. 1, pp. 28-38, 2023.
- [5] M. Z. Ur Rahman, M. S. Shabbir, M. Hassan, M. U. Hassan, H. Ahmad, and A. Waleed, "Stepper-based Precise Paper Cutting Machine with PLC and HMI," in *2024 International Conference on Horizons of Information Technology and Engineering (HITE)*, 2024.
- [6] F. Reza, "Pengaruh Roughness pada Penggerindaan Material High Speed Steel (HSS) dengan Batu Gerinda CBN 46 untuk Proses Pemotongan Kertas Board," *Skripsi, Universitas Bung Hatta*, 2026.

- [7] H. Prayogo and R. Hartayu, "Design and control of an automatic cable-cutting machine with the implementation of a stepper control program using PLC," *Gema Wiralodra*, vol. 14, no. 3, pp. 1281-1291, 2023.
- [8] S. P. Agnihotri and M. P. Joshi, "Servo Motor and PLC Based Cutting Machine System," *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 2024.
- [9] S. Sehr, *Programmable Logic Controllers and HMI Integration in Industrial Automation*. Springer, 2020, pp. 45-46.
- [10] IEC 61131-3, "Programmable Controllers - Part 3: Programming Languages," International Electrotechnical Commission, 2025.