

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan perancangan prototype sistem kontrol mesin potong berbasis PLC Mitsubishi dan HMI dengan metode PID control posisi.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di **CV Perjuangan Steel**, dengan waktu pelaksanaan meliputi tahap perancangan, pembuatan sistem, pemrograman, hingga pengujian alat. Penelitian dilakukan pada skala prototipe yang merepresentasikan sistem kerja mesin potong.

3.2.1 Rencana Kegiatan

No	Kegiatan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli
1	Pengajuan & Persetujuan Judul	✓						
2	Studi Literatur & Pengumpulan Jurnal	✓	✓					
3	Penyusunan Proposal Skripsi		✓	✓				
4	Seminar Proposal					✓	✓	
5	Analisis Kebutuhan Sistem		✓	✓	✓			
6	Perancangan Sistem (Blok Diagram, Flowchart)		✓	✓	✓		✓	

7	Perancangan Hardware & Wiring			✓		✓		✓
8	Pemrograman PLC (Ladder Diagram)		✓	✓	✓		✓	✓
9	Desain & Pemrograman HMI		✓	✓			✓	✓
10	Perakitan Alat & Integrasi Sistem						✓	
11	Pengujian Sistem			✓		✓	✓	
12	Pengambilan & Analisis Data			✓	✓	✓		
13	Penyusunan Laporan Skripsi			✓			✓	✓
14	Revisi & Finalisasi Skripsi						✓	✓

3.3 Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan skripsi ini, teknik pengumpulan data yang digunakan meliputi metode yang menitikberatkan pada perancangan, implementasi, dan pengujian suatu sistem Teknik Tahapan penelitian meliputi:

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur ditunjukan untuk mendapatkan teori-teori yang didapat dari referensi atau sumber-sumber yang akan dijadikan landasan pengerjaan laporan ini. Studi ini meliputi tentang pemahaman teori dan konsep serta metode yang cocok untuk membentuk kerangka berfikir, agar penelitian ini bersifat logis dan terarah. Studi literature dilakukan dengan mempelajari

buku dan literatur yang menunjang dalam penyusunan Laporan Akhir. dilakukan dengan mempelajari:

- Buku sistem kontrol dan otomasi industri
- Lembar data PLC, HMI, motor stepper, dan rotary encoder
- Jurnal nasional dan internasional terkait mesin potong otomatis berbasis PLC
- Standar keselamatan kerja mesin industri

3.3.2 Observasi

Observasi digunakan untuk mengumpulkan data dengan cara mengamati dan mencatat secara langsung serta melakukan penelitian dalam suatu periode tertentu secara sistematis tentang hal-hal tertentu yang diamati. Dalam penelitian observasi dilakukan pada saat melakukan pengamatan hasil dari pembuatan alat.

3.3.3 Studi Empiris

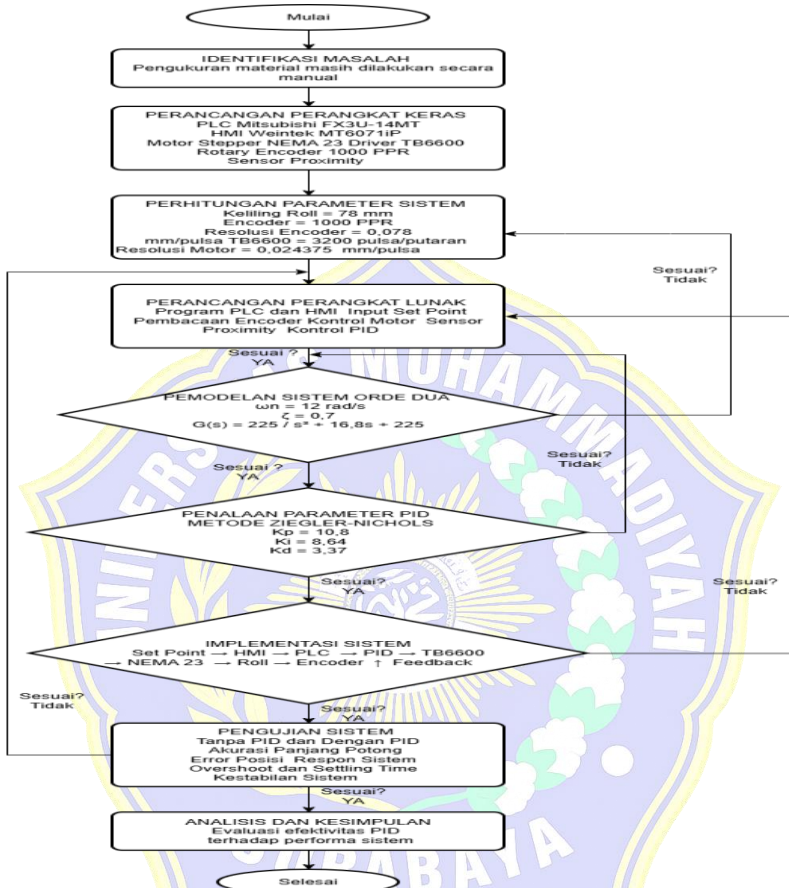
Studi empiris ditunjukan untuk mendapatkan hasil dari alat penelitian yang telah di proyeksikan dan menjadi perbandingan untuk menunjang rancang bangun yang akan dikerjakan pada skripsi peneliti.

3.3.4 Dokumentasi

Dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data-data dan spesifikasi peralatan saat melakukan pengamatan.

3.3.5 Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan, secara garis besar digambarkan dalam diagram. Penelitian ini dilakukan melalui beberapatahapan metodologi yaitu studi literatur dan pengecekan fisik dilapangan.



Gambar 3.1 Diagram Alir penelitian

3.3.5.1 Penjelasan Singkat Alur Penelitian

1. Studi Literatur dan Identifikasi Masalah

Mengumpulkan referensi dari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang membahas PLC Mitsubishi, HMI, pengendali PID, serta sistem kontrol posisi untuk memahami teori dan merumuskan permasalahan yang akan diselesaikan.

2. Pengumpulan Data Lapangan

Melakukan pengamatan langsung dan pencatatan kondisi kerja mesin potong di CV Perjuangan Steel Surabaya untuk mengetahui sistem yang berjalan dan kendala yang ada.

3. Analisis Kebutuhan Sistem

Menentukan spesifikasi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang sesuai agar sistem kontrol posisi dapat berfungsi sesuai kebutuhan mesin.

4. Perancangan Hardware

Merancang skema rangkaian kelistrikan dan tata letak perangkat yang meliputi PLC, HMI, sensor posisi, motor penggerak, dan pengatur kecepatan/driver.

5. Perancangan Software

Membuat program berupa diagram tangga (*ladder diagram*) untuk PLC, merancang tampilan antarmuka pada HMI, serta melakukan penyetelan parameter PID agar respon sistem menjadi stabil dan akurat.

6. Implementasi Sistem

Merakit, memasang, dan menghubungkan seluruh komponen perangkat keras serta mengunduh program ke dalam perangkat untuk diintegrasikan pada mesin potong.

7. Pengujian Sistem

Melakukan uji coba operasional dan mengukur kinerja sistem kontrol posisi dengan mengambil data parameter seperti waktu respon, ketepatan posisi, dan kestabilan gerak.

8. Analisis dan Evaluasi

Membandingkan hasil data pengujian dengan standar atau target yang telah ditetapkan. Jika belum sesuai, dilakukan perbaikan atau penyetelan ulang; jika sudah sesuai, dilanjutkan ke tahap akhir.

9. Kesimpulan dan Penyusunan Laporan

Menarik kesimpulan dari keseluruhan hasil penelitian serta menyusun seluruh rangkaian proses dan hasilnya menjadi laporan skripsi.

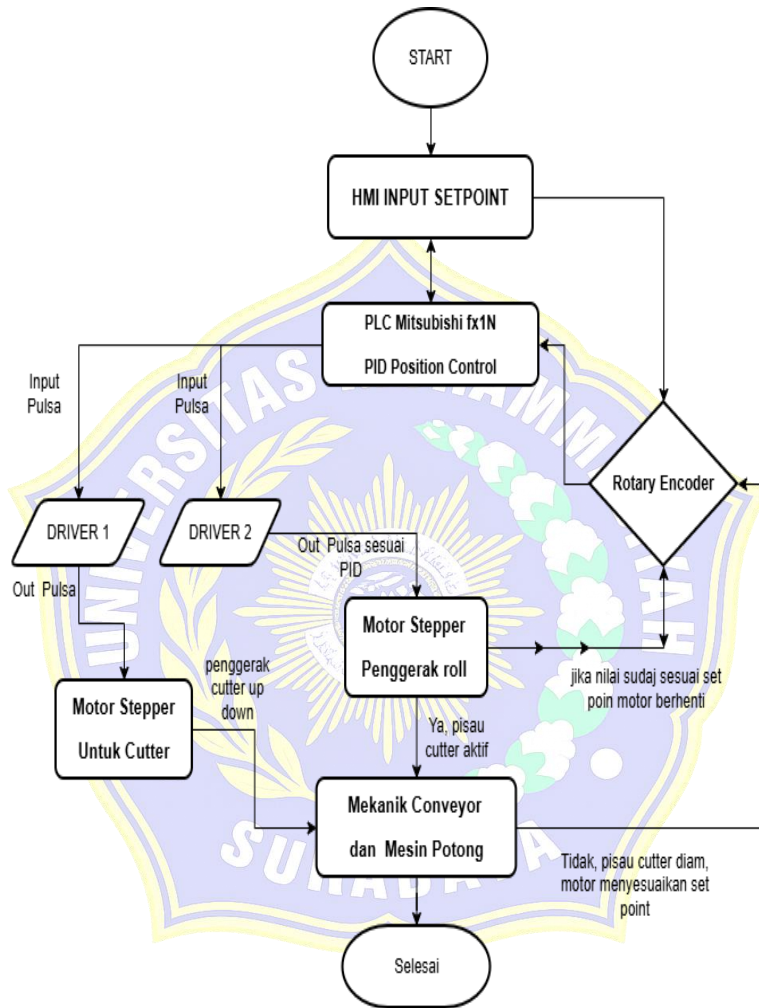
3.4 Perancangan Alat

Perancangan alat merupakan proses perancangan, pembuatan, dan integrasi seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak agar dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah ditentukan. Pada penelitian ini,

rancang bangun sistem dilakukan untuk menghasilkan mesin potong otomatis berbasis PLC Mitsubishi FX3U yang mampu mengukur panjang material menggunakan rotary encoder dan melakukan koreksi pengukuran dengan metode PID. Sistem terdiri dari PLC sebagai pengendali utama, motor penggerak, rotary encoder, sensor proximity, motor stepper, dan mekanisme pemotong. Seluruh komponen dirancang dan dihubungkan sehingga dapat bekerja secara otomatis dalam mengukur panjang material, menghitung selisih potong terhadap set point, serta melakukan koreksi untuk meningkatkan akurasi hasil pemotongan. Dengan rancang bangun ini, diharapkan sistem mampu menghasilkan panjang potongan yang lebih presisi, stabil, dan sesuai dengan nilai yang ditentukan.

3.4.1 Diagram Blok Sistem





Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Kontrol Mesin Potong

3.4.2 Penjelasan Diagram Blog Sistem

1. HMI

Digunakan sebagai operator media interaksi untuk:

- Memasukkan ukuran potong
- Menjalankan sistem

- Memantau posisi mesin
- Menampilkan alarm/kesalahan

2. PLC Mitsubishi FX3U

Berfungsi sebagai pusat sistem kontrol:

- Membaca input dari HMI
- Memproses algoritma PID
- Motor penggerak kontrol
- Menerima posisi sensor umpan balik

3. Driver Motor

Berfungsi memperkuat sinyal kontrol dari PLC agar mampu menggerakkan motor.

4. Motor Stepper

Digunakan sebagai aktuator penggerak mekanik mesin potong menuju posisi target.

5. Mekanik Mesin Potong

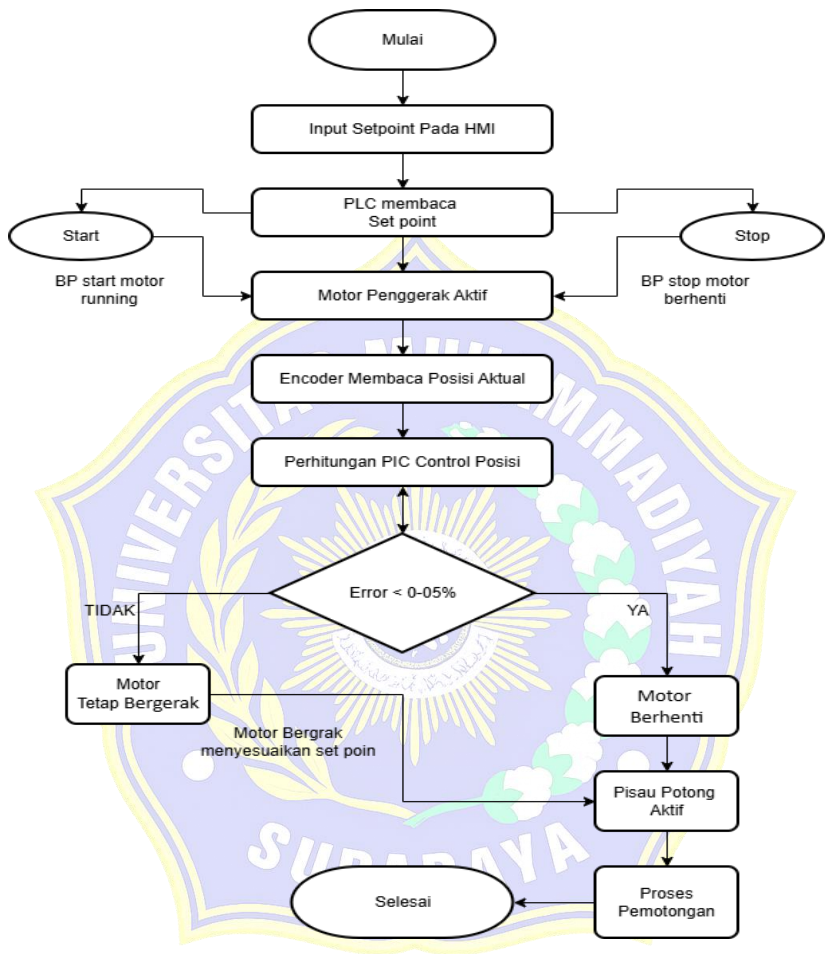
Bagian mekanik yang melakukan proses pemotongan material sesuai posisi yang ditentukan.

6. Sensor Posisi (Rotary Encoder)

Berfungsi membaca posisi aktual mesin potong dan mengirimkan feedback ke PLC agar sistem PID dapat melakukan koreksi error posisi.

3.5 Diagram Alur Sistem

Diagram alur sistem digunakan untuk menjelaskan proses kerja prototype sistem kontrol mesin potong berbasis PLC Mitsubishi dan HMI dengan metode kontrol posisi PID. Diagram ini menggambarkan urutan sistem kerja mulai dari input set point hingga proses pemotongan material selesai dilakukan.



Gambar 3. 3 Diagram Alur Sistem

3.5.1 Penjelasan Diagram Alur Sistem

Penjelasan diagram alur sistem pada prototype mesin potong otomatis berbasis PLC Mitsubishi dan HMI dengan metode PID kontrol posisi adalah sebagai berikut:

1. Start

Sistem mulai bekerja ketika sumber tegangan dan panel kontrol diaktifkan. PLC Mitsubishi melakukan inisialisasi seluruh input dan output sistem.

2. Input set Point pada HMI

Operator memasukkan nilai panjang potong material melalui HMI. Nilai set point ini digunakan sebagai target posisi pemotongan material.

3. PLC Membaca Set Point

PLC Mitsubishi menerima data set point dari HMI kemudian memproses data tersebut sebagai parameter kontrol posisi.

4. Motor Penggerak Aktif

PLC memberikan sinyal output ke driver motor untuk mengaktifkan motor stepper atau motor DC sebagai penggerak material.

5. Encoder Membaca Posisi Aktual

Rotary encoder membaca pergerakan motor dan mengirimkan data posisi aktual ke PLC secara real time sebagai feedback sistem kontrol.

6. Perhitungan PID Kontrol Posisi

PLC melakukan perhitungan error selisih antara posisi aktual dan set point menggunakan metode PID.

Persamaan PID: Rumus 2.1

Metode PID digunakan untuk memperbaiki respon sistem agar posisi motor lebih stabil dan akurat.

7. Pemeriksaan Posisi terhadap Set Point

PLC membandingkan posisi aktual hasil pembacaan encoder dengan nilai set point.

Jika posisi belum sesuai, motor tetap bergerak dan PID terus melakukan koreksi error selisih sesuai set point. Jika posisi sudah sesuai, motor dihentikan.

8. Motor Berhenti

Setelah posisi target tercapai, PLC menghentikan motor penggerak agar material berada tepat pada posisi pemotongan.

9. Pisau Pemotong Aktif

PLC mengaktifkan aktuator pemotong berupa solenoid pneumatic atau motor pemotong untuk melakukan proses pemotongan material.

10. Proses Pemotongan

Material dipotong sesuai panjang yang telah ditentukan pada HMI.

11. Selesai

Setelah proses pemotongan selesai, sistem kembali standby dan siap menerima proses pemotongan berikutnya

3.6 Perhitungan Sistem

3.6.1 Spesifikasi Komponen

Tabel 3.1 spesifikasi penelitian

Parameter	Nilai
PLC	Mitsubishi FX3U
Driver	TB6600
Motor Stepper	NEMA 23
Sudut Step	1,8°
Encoder	1000 PPR
Keliling Roller	78 mm
Driver Microstep	3200 pulsa/putaran

3.6.2 Perhitungan Driver TB6600

- **(Rumus 2.2)**
- Perhitungan jumlah motor langkah
$$\frac{360}{1,8} = 200 \text{ langkah}$$
- Perhitungan langkah mikro
$$200 \times 16 = 3200 \text{ pulsa/putaran}$$
- Sudut tiap pulsa
$$\frac{360}{3200} = 0,1125^\circ$$
- Resolusi
$$\frac{78}{3200} = 0,024375$$

3.6.3 Perhitungan Rotary Encoder

(Rumus 2.3)

Encoder = 1000 PPR

Rol Keliling = 78 mm

Sehingga:

$$1 \text{ denyut} = \frac{78}{1000} = 0,078 \text{ mm}$$

Dan

$$1 \text{ mm} = 12,82 \text{ pulsa/putaran}$$

3.6.4 Hubungan Pulsa Driver dengan Materi Panjang

(Rumus 2.4)

Target 100 mm

Encoder Pulsa

$$100 \times 12,82 = 1282 \text{ pulsa/putaran}$$

Bagian ini akan menjelaskan mengapa pada pengujian encoder 100 mm menghasilkan sekitar 1282 pulsa .

3.6.5 Pemodelan Sistem Orde Dua

Nilai frekuensi alami sebesar 15 rad/s dipilih sebagai parameter pemodelan untuk menghasilkan karakteristik sistem yang stabil dan mendekati respon motor stepper pada prototype. Nilai tersebut digunakan sebagai pendekatan (*engineering assumption*) dalam simulasi MATLAB sehingga model dapat digunakan untuk proses analisis dan perancangan pengendali PID.

(Rumus 2.15_2.16) hasil

$$\omega_n = 15 \text{ rad/s}$$

$$\zeta = 0,7$$

Koefisien redaman dihitung sebagai berikut.

$$2 \zeta \omega_n = 2(0,7)(15) = 21$$

Selanjutnya dihitung nilai frekuensi alami kuadrat.

$$\omega^2 N = 15^2 = 225$$

Sehingga diperoleh fungsi alih motor stepper sebagai berikut.

(Rumus 2.16)

$$G(s) = \frac{225}{s^2 + 21 \text{ detik} + 225}$$

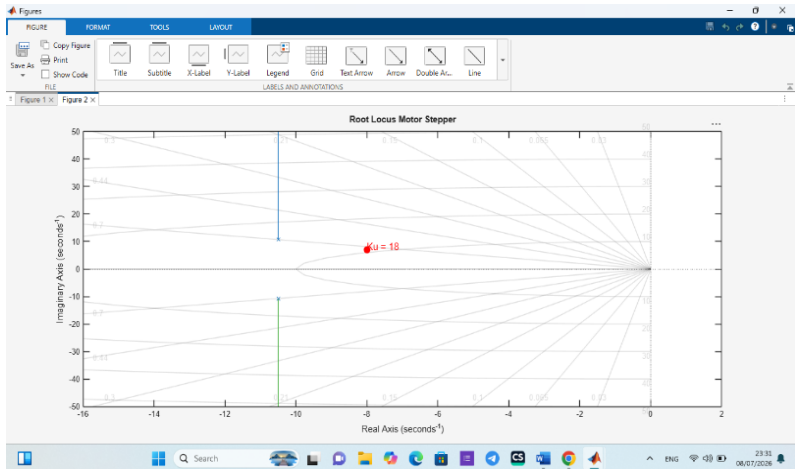
Kemudian jelaskan

- Frekuensi alami
- Rasio redaman
- Fungsi alih system

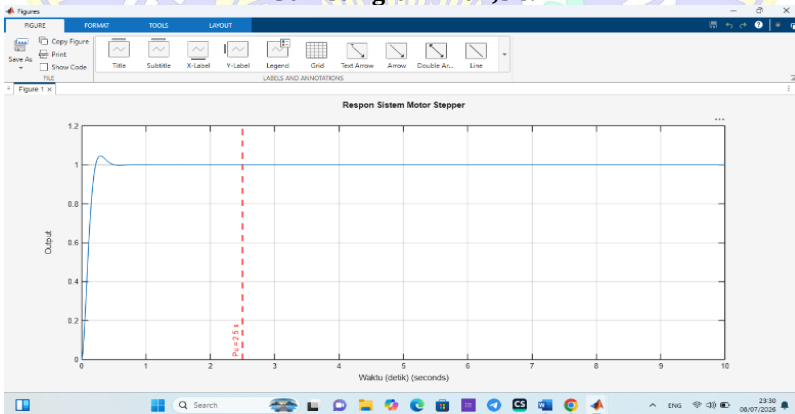
3.6.6 Penalaan PID Ziegler-Nichols

Nilai Ku dan Pu merupakan hasil simulasi matlab eksperimen metode Ziegler-Nichols Closed Loop, yaitu ketika gain proporsional dinaikkan hingga sistem tepat mengalami osilasi berkelanjutan (sustained oscillation). Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menghitung parameter PID.

Gambar grafik Ku 18.



Gambar grafik Pu2,5 s.



Gambar 3. 4 Grafik Ku 18 dan Grafik PU 2,5 s.

Berdasarkan hasil simulasi dari **(Rumus 2.16)** ini diperoleh nilai :

$$Ku = 18$$

$$Pu = 2,5$$

Sehingga diperoleh parameter PID sebagai berikut.

Perhitungan Konstanta Proporsional sesuai **(rumus 2.9)**

$$Kp = 0,6Ku$$

$$Kp = 0,6 \times 18$$

$$Kp = 10,8$$

Perhitungan Konstanta Integral sesuai (**rumus 2.10**)

Waktu integral

$$Ti = \frac{Ku}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ detik}$$

Konstanta integral

$$Ki = \frac{Kp}{Ti}$$

$$Ki = \frac{10,8}{1,25}$$

$$Ki = \mathbf{8,64}$$

Perhitungan Konstanta Derivatif sesuai (**rumus 2.11**)

Waktu derivative

$$Td = \frac{Pu}{8} = \frac{2,5}{8} = 0,3125$$

Konstanta derivative

$$Kd = Kp \times Td$$

$$Kd = 10,8 \times 0,3125$$

$$Kd = \mathbf{3,37}$$

Hasil penalaan menghasilkan parameter pengendali PID sebagai berikut.

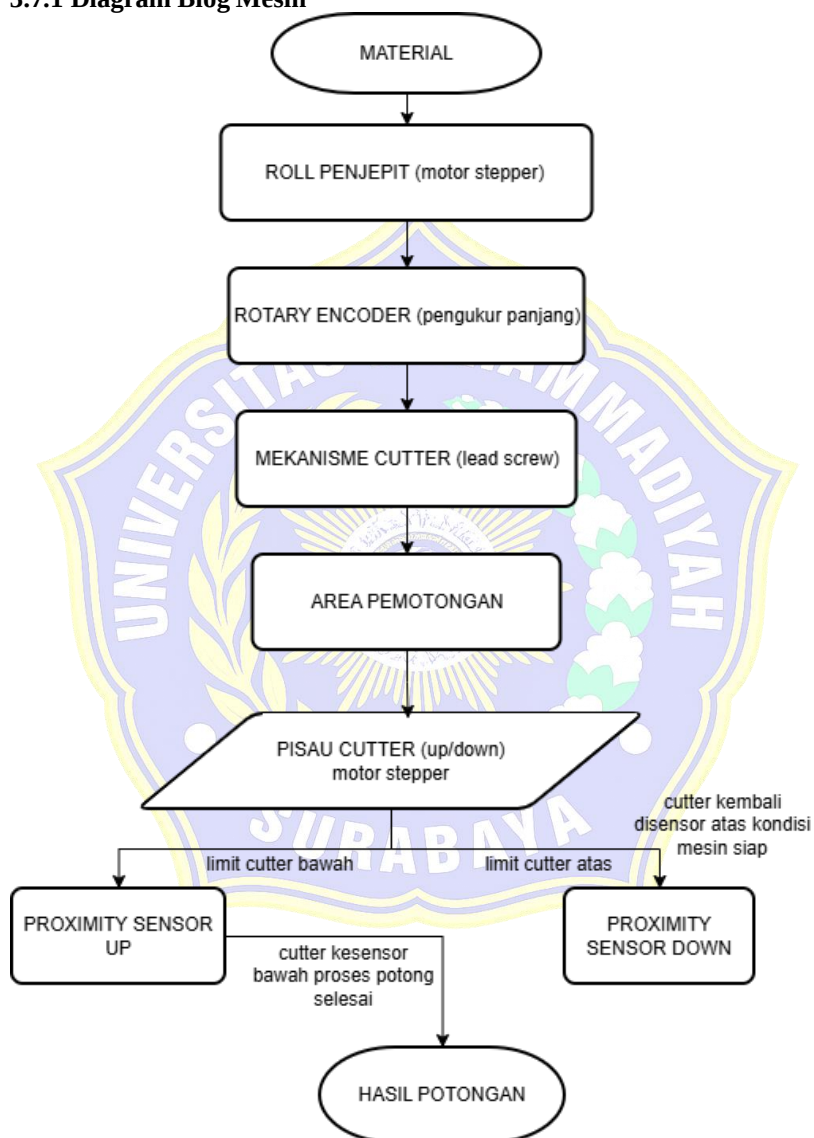
Tabel 3.2 Hasil penalaan menghasilkan parameter pengendali PID

Parameter	Nilai
(K_p)	10,8
(K_i)	8,64
(K_d)	3,37

3.7 Desain Mekanik Mesin

.Desain mekanik mesin merupakan tahap desain bentuk fisik prototipe mesin potong otomatis yang digunakan dalam penelitian. Desain mekanik dibuat untuk mendukung sistem kontrol berbasis PLC Mitsubishi dan HMI agar proses pemotongan material dapat berjalan secara stabil, presisi, dan aman. Perancangan mekanik dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan rangka, kestabilan pergerakan material, posisi sensor, sistem penggerak, serta mekanisme pemotongan. Prototipe mesin dirancang dalam bentuk sederhana namun mampu merepresentasikan sistem kerja mesin potong otomatis pada industri.

3.7.1 Diagram Blog Mesin



Gambar 3. 5 Diagram Blog Mesin

3.7.2 Penjelasan Diagram Blog Mesin

A. Keterangan Mekanik

1. Roll Penjepit (Stepper NEMA 23) berfungsi menarik material masuk ke mesin.
2. Rotary Encoder terpasang pada roll untuk mengukur panjang material.
3. Mekanisme Koreksi Lead Screw berfungsi melakukan koreksi posisi material berdasarkan hasil pengukuran.
4. Pisau Cutter Up-Down (Stepper NEMA 23) berfungsi melakukan proses pemotongan.
5. Proximity Sensor UP mendeteksi posisi awal (home) pisau.
6. Proximity Sensor DOWN mendeteksi posisi akhir langkah potong.
7. Material yang telah dipotong keluar sebagai hasil potongan.

3.8 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan untuk membangun prototype sistem kontrol mesin potong otomatis berbasis PLC Mitsubishi dan HMI dengan metode PID kontrol posisi. Perangkat keras dirancang agar sistem mampu bekerja secara otomatis, stabil, presisi, dan mudah dioperasikan. Sistem perangkat keras terdiri dari beberapa komponen utama yaitu PLC Mitsubishi, HMI, motor penggerak, rotary encoder, proximity sensor, driver motor, ball screw, bearing block, dan mekanisme pemotong.

3.8.1 PLC Mitsubishi

PLC Mitsubishi digunakan sebagai pusat pengendali utama sistem. PLC bertugas membaca data input, memproses program kontrol PID, dan mengendalikan seluruh output sistem.

Fungsi PLC:

- Membaca input dari HMI
- Membaca pulsa rotary encoder
- Mengolah data PID kontrol posisi
- Mengontrol driver motor
- Mengaktifkan sistem pemotong
- Mengontrol sistem keamanan mesin

PLC yang digunakan pada penelitian ini adalah Mitsubishi seri FX3U karena memiliki kemampuan high speed counter untuk membaca pulsa encoder dengan baik.

3.8.2 HMI (Human Machine Interface)

HMI digunakan sebagai media interaksi antara operator dengan sistem kontrol mesin.

Fungsi HMI:

- Memasukkan nilai set point panjang potong
- Menampilkan posisi aktual material
- Menampilkan status mesin
- Menampilkan alarm sistem
- Mengontrol tombol start dan stop

HMI mempermudah operator dalam melakukan monitoring dan pengoperasian mesin secara real time.

3.8.3 Motor Penggerak

Motor penggerak digunakan untuk menggerakkan material menuju posisi pemotongan.

Fungsi motor:

- Menggerakkan roll penjepit
- Mengatur pergerakan material
- Mengontrol posisi material
- Menyesuaikan kecepatan gerak berdasarkan PID

Motor dikontrol oleh PLC melalui driver motor agar pergerakan lebih stabil dan presisi.

3.8.4 Driver Motor

Driver motor digunakan untuk memperkuat sinyal kontrol dari PLC menuju motor penggerak.

Fungsi driver motor:

- Mengontrol arah putaran motor
- Mengatur kecepatan motor
- Menguatkan arus penggerak motor
- Menstabilkan kerja motor

Driver motor membantu sistem memperoleh respon gerakan yang lebih halus.

3.8.5 Rotary Encoder

Rotary encoder digunakan sebagai sensor feedback posisi pada sistem PID.

Fungsi rotary encoder:

- Membaca posisi aktual material
- Menghitung panjang material
- Mengirim pulsa feedback ke PLC
- Membantu koreksi error posisi

Data encoder digunakan PLC untuk menentukan posisi aktual terhadap set point.

3.8.6 Proximity Sensor TL-Q5MC1

Proximity sensor digunakan sebagai sensor pembatas dan posisi awal sistem.

Fungsi proximity sensor:

- Mendeteksi posisi home
- Membatasi pergerakan mekanik
- Menghindari tabrakan mekanik
- Membantu proses reset system

3.8.7 Ball Screw

Ball screw digunakan sebagai mekanisme penggerak linear pada sistem pemotong.

Fungsi ball screw:

- Mengubah gerakan putar menjadi gerakan linear
- Menggerakkan pisau pemotong
- Menghasilkan gerakan presisi
- Mengurangi gesekan mekanik

Penggunaan ball screw membantu meningkatkan akurasi posisi pemotongan.

3.8.8 Bearing Block

Bearing block digunakan sebagaiudukan dan penahan poros mekanik.

Fungsi bearing block:

- Menopang poros sliding
- Menjaga kestabilan gerakan
- Mengurangi getaran
- Memperlancar gerakan mekanik

3.8.9 Pisau Pemotong

Pisau pemotong digunakan untuk melakukan proses pemotongan material secara otomatis.

Fungsi pisau pemotong:

- Memotong material sesuai ukuran
- Bekerja berdasarkan sinyal PLC
- Menghasilkan hasil potong yang rapi

Pisau aktif setelah posisi material sesuai set point.

3.8.10 Power Supply

Power supply digunakan sebagai sumber tegangan sistem kontrol.

Fungsi power supply:

- Menyuplai tegangan PLC
- Menyuplai tegangan sensor
- Menyuplai tegangan driver motor
- Menjaga kestabilan sistem listrik

3.9 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan untuk mengontrol seluruh sistem mesin potong otomatis menggunakan PLC Mitsubishi dan HMI.

Perangkat lunak yang digunakan yaitu:

- GX Works2 untuk pemrograman PLC
- EasyBuilder Pro untuk desain HMI

3.9.1 Program PC Mitsubishi

Program PLC dibuat menggunakan ladder diagram. Fungsi program PLC:

- Membaca input sensor
- Mengontrol motor penggerak
- Mengolah data encoder
- Menghitung PID kontrol posisi
- Mengontrol proses pemotongan
- Mengatur sistem keamanan

Program PLC bekerja secara otomatis berdasarkan urutan kerja sistem yang telah dirancang.

3.9.2 Konfigurasi Input Output PLC

3.9.2.1 Input X

Tabel 3.3 Input PLC

1.	X006	sen up
2.	X007	sen down

3.9.2.2 Output Y

Tabel 3.4 Output PL

	Y000	Sinyal Pulse 1 untuk motor penggerak roll penjepit
	Y001	Sinyal Pulse 2 untuk motor penggerak cutter up down

	Y004	Sinyal Arah motor 1
	Y005	Sinyal Arah motor 2

3.9.2.3 Device Name (M)

Tabel 3.5 Device M PLC

1.	M0	pb.m.rst
2.	M1	pb au/man
3.	M2	out pb au/man
4.	M3	jog man fwd
5.	M4	jog man bwd
6.	M5	m.a/u run
7.	M6	pb jog cut up
8.	M7	cut up a/u
9.	M8	pb jog cut dwn
10.	M9	cut dwn a/u
11.	M10	out pb srcut
12.	M11	out pb srcut
13.	M12	out pb srct up
14.	M13	pb run a/u
15.	M14	out run outo
16.	M15	conter+
17.	M16	a/u conter +
18.	M17	counter -
19.	M18	rst counter

20.	M19	interlock contr
21.	M20	m.interlock zero
21.	M21	interlock countr
22.	M22	pb srcut
23.	M23	intrlock srct
24.	M24	PB INTRLCK SCRCT
25.	M25	LAMP MANUAL
26.	M26	ALRM LMP
27.	M27	LAMP AUTO
28.	M28	SAVE

3.9.2.4 Device Name (D)

Tabel 3.6 Device D PLC

1.	D210	oup pid
2.	D218	OUT PID
3.	D220	set p jog bwd
4.	D230	set p. run
5.	D240	spd cut dwn
6.	D430	set p jog up
7.	D440	spd jog fwd
8.	D500	data hscdr
9.	D530	od roll
10.	D550	d hsl x
11.	D580	d. pls encdr

12.	D600	d. hsl bagi
13.	D630	d. set pnjang
14.	D650	set counter

3.9.3 ProgramHMI

Program HMI digunakan sebagai tampilan monitoring dan pengaturan sistem.

Tampilan HMI meliputi:

Tabel 3.7 tampilan monitoring dan pengaturan system pada HMI

• Input set point
• Monitoring posisi
• Status motor
• Jog manual maju
• Jog manual mundur
• Jog manual cutter up
• Jog annual cutter down
• Tombol cutter auto up down
• Tombol start dan stop
• Input PID Ki, Kp, Kd
• status selisih dari set point
• Input speed running (Hz)
• Input Counter
• Counter hasil potong
• Indikator ready
• Indikator Runing
• Indikator stop

3.9.4 Komunikasi PLC Dan HMI

Komunikasi PLC dan HMI dilakukan menggunakan komunikasi serial RS-232

Tabel 3.8 Komunikasi PLC dan HMI

PIN	PLC	KOMUNIKASI	PIN	HMI
1	RX	←→	6	TX
2	TX	←→	9	RX
5	GND	←→	5	GND

Tujuan komunikasi:

- Mengirim data set point
- Monitoring sistem secara real time
- Menampilkan alarm
- Mengontrol mesin melalui HMI

3.10 Pengujian PID Kontrol Posisi Menggunakan MATLAB

Pengujian PID kontrol posisi dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem sebelum diterapkan pada mesin prototype. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik respon motor stepper NEMA 23 terhadap pengendali PID melalui simulasi menggunakan MATLAB. Simulasi dilakukan berdasarkan model matematis sistem orde dua yang telah diperoleh dari proses pemodelan, sehingga parameter PID yang dihasilkan dapat dianalisis terlebih dahulu tanpa risiko terhadap perangkat keras. Model matematis sistem motor stepper dinyatakan sebagai sistem orde dua dengan fungsi alih: (**Rumus 2.16**)

Model tersebut merepresentasikan karakteristik dinamis motor stepper yang digunakan pada sistem penggerak roll mesin pemotong otomatis. Berdasarkan model tersebut dilakukan proses penalaan parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols sehingga diperoleh nilai parameter seperti **Tabel 3.1**.

Parameter tersebut kemudian dimasukkan ke dalam blok pengendali PID pada MATLAB untuk membentuk sistem kontrol loop tertutup (*closed loop*). Selanjutnya dilakukan simulasi respon langkah (*step response*) dengan nilai set point sebesar 100 mm untuk membandingkan performa sistem tanpa PID dan sistem dengan PID.

Pada simulasi tanpa PID, motor hanya dikendalikan berdasarkan karakteristik alami plant. Respon sistem menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai set point relatif lebih lama, masih terdapat error keadaan tunak (*steady-state error*), serta respon terhadap perubahan posisi belum optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem belum mampu mempertahankan posisi secara presisi apabila terjadi gangguan maupun perubahan beban.

Setelah pengendali PID diterapkan, karakteristik respon sistem mengalami peningkatan yang signifikan. Nilai K_p sebesar 10,8 mempercepat respon motor menuju posisi target sehingga waktu naik (*rise time*) menjadi lebih singkat. Nilai K_i sebesar 8,64 berfungsi menghilangkan error keadaan tunak dengan melakukan koreksi berdasarkan akumulasi kesalahan yang terjadi selama proses pengendalian. Sementara itu, nilai K_d sebesar 3,37 memberikan efek peredaman sehingga respon sistem menjadi lebih stabil dan mampu mengurangi overshoot ketika mendekati posisi referensi.

Hasil simulasi MATLAB menunjukkan bahwa sistem dengan PID mampu mencapai nilai set point lebih cepat dibandingkan sistem tanpa PID. Selain itu, waktu tunak (*settling time*) menjadi lebih singkat, overshoot dapat ditekan, dan error posisi mendekati nol. Hal tersebut menunjukkan bahwa parameter PID hasil penalaan Ziegler-Nichols telah sesuai dengan karakteristik plant motor stepper NEMA 23.

Pada penelitian ini, simulasi MATLAB digunakan sebagai tahap validasi awal sebelum implementasi pada perangkat keras. Tahapan tersebut penting karena memungkinkan peneliti mengevaluasi performa pengendali tanpa risiko kerusakan komponen akibat parameter yang kurang sesuai. Setelah diperoleh respon yang stabil pada simulasi, parameter PID dengan nilai $K_p = 10,8$, $K_i = 8,64$, dan $K_d = 3,37$ diterapkan pada PLC Mitsubishi FX3U sebagai pengendali utama mesin prototype.

PLC kemudian menghitung nilai error berdasarkan selisih antara panjang target dan panjang aktual yang dibaca oleh rotary encoder 1000 PPR. Error tersebut diproses menggunakan algoritma PID sehingga PLC menghasilkan jumlah pulsa koreksi yang dikirimkan ke driver TB6600 untuk menggerakkan motor stepper NEMA 23. Posisi aktual terus dipantau oleh rotary encoder sebagai sinyal umpan balik sehingga proses pengendalian berlangsung secara tertutup (*closed-loop control*). Pada sistem prototype, hasil pembacaan rotary encoder dikonversi menjadi panjang material menggunakan persamaan: **(Rumus 2.4)** dengan keliling roll sebesar 78 mm dan resolusi encoder sebesar 1000 pulsa per putaran. Jumlah pulsa yang harus dikirimkan ke driver motor dihitung menggunakan persamaan: **(rumus 2.5)** karena driver TB6600 diatur pada resolusi 3200 pulsa untuk satu putaran penuh motor stepper. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh bahwa satu pulsa motor menghasilkan perpindahan material sebesar: **(rumus 2.3)** sedangkan satu pulsa rotary encoder merepresentasikan perpindahan sepanjang: **(rumus 2.4)** Resolusi motor yang lebih kecil dibandingkan resolusi sensor memungkinkan PLC melakukan koreksi posisi secara lebih halus sehingga hasil pemotongan memiliki tingkat ketelitian yang tinggi.

Dengan demikian, pengujian menggunakan MATLAB membuktikan bahwa model orde dua yang digunakan telah mampu merepresentasikan karakteristik motor stepper NEMA 23. Parameter PID hasil penalaan Ziegler-Nichols juga mampu meningkatkan kualitas respon sistem dibandingkan tanpa PID. Parameter tersebut selanjutnya diterapkan pada PLC Mitsubishi FX3U dan mesin prototype sehingga sistem kontrol posisi dapat bekerja secara stabil, cepat, dan akurat sesuai dengan panjang pemotongan yang telah ditentukan.



