

**APLIKASI KENDALI PROPORSIONAL *INTEGRAL DERIVATIF* PADA  
MODEL MINI *LIFT* 3 TINGKAT**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RAFAL ESA DINATA**

**NPM 2155021002**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2026**

**APLIKASI KENDALI PROPORSIONAL *INTEGRAL DERIVATIF* PADA  
MODEL MINI *LIFT* 3 TINGKAT**

Oleh

**RAFAL ESA DINATA**

**SKRIPSI**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar**

**SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2026**

## ABSTRAK

### APLIKASI KENDALI PROPORSIONAL *INTEGRAL DERIVATIF* PADA MODEL MINI LIFT 3 TINGKAT

Oleh

**RAFAL ESA DINATA**

Sistem transportasi vertikal menuntut tingkat presisi dan kelancaran pergerakan tinggi melalui sistem kendali tertutup (*closed loop*). Namun, penerapan algoritma standar industri seperti PID (*proportional integral derivatif*) pada *lift* miniatur sering terkendala resolusi perangkat keras, yang memicu *windu p overshoot* dan *chattering* mekanik. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kendali miniatur elevator otomatis berbasis PLC Mitsubishi FX3U untuk mengatasi limitasi tersebut melalui rekayasa algoritma. Sistem digerakkan *Motor DC* dengan *driver IBT-2*, serta menggunakan sensor *proximity* induktif sebagai *pseudo encoder* pembaca posisi. Metode kendali dioptimasi dengan menyederhanakan algoritma menjadi kendali proporsional (P) murni sebagai *trajectory generator* untuk membentuk profil perlambatan *s curve / soft stop*. Dengan menetapkan kapasitas beban operasional statis sebagai batasan masalah, evaluasi difokuskan murni pada respons keandalan sistem kendali. Melalui implementasi logika *cascaded*, sistem *lift* terbukti berhasil mengatasi limitasi *hardware* untuk mencapai akurasi berhenti (*leveling*) di setiap lantai secara presisi dan mulus.

**Kata Kunci:** Elevator Miniatur, PLC FX3U, Kendali Proporsional, *Pseudo-Encoder*, *Cascaded Control*.

## ***ABSTRACT***

### **APLIKASI KENDALI PROPORSIONAL *INTEGRAL DERIVATIF* PADA MODEL MINI LIFT 3 TINGKAT**

***By***

**RAFAL ESA DINATA**

Vertical transportation systems require high precision and smooth movement through closed-loop control. However, implementing industry-standard PID algorithms on miniature prototypes is often hindered by hardware resolution limits, causing wind-up overshoot and mechanical chattering. This study aims to design an automated miniature elevator control system using a Mitsubishi FX3U PLC to overcome these limitations via algorithmic engineering. The system uses a Direct Drive DC Motor, an IBT-2 driver, and an inductive proximity sensor as a pseudo-encoder for *position* tracking. The control method is optimized by simplifying the algorithm into a pure proportional (P) controller acting as a trajectory generator to form an s curve (soft stop) deceleration profile. By establishing static operational load capacity as a boundary condition, the evaluation focuses strictly on control system reliability. Through the implementation of cascaded control, the prototype successfully overcomes hardware constraints, achieving precise and smooth leveling accuracy at every floor.

**Keywords:** Miniature Elevator, PLC FX3U, Proportional Control, Pseudo-Encoder, Cascaded Control.

**LEMBAR PENGESAHAN**

Judul Skripsi : **APLIKASI KENDALI PROPORSIONAL  
INTEGRAL DERIVATIF PADA MODEL MINI  
LIFT 3 TINGKAT**

Nama Mahasiswa : **Rafal Esa Dinata**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2155021002**

Program Studi : **S1 TEKNIK MESIN**


Fakultas : **TEKNIK**

**MENYETUJUI**

1. **Komisi Pembimbing**

  
**Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T**

**NIP.196405062000031001**

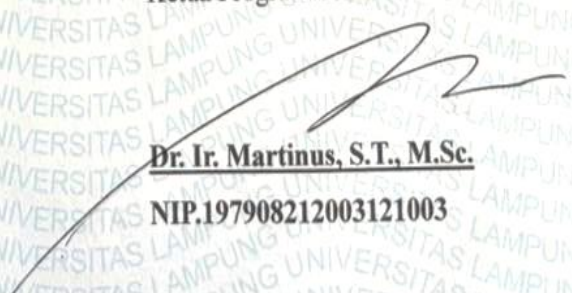
  
**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**

**NIP.197408162000121001**

**MENGETAHUI**

  
**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**

**NIP.197408162000121001**

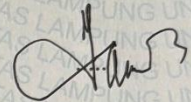
  
**Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**

**NIP.197908212003121003**


**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

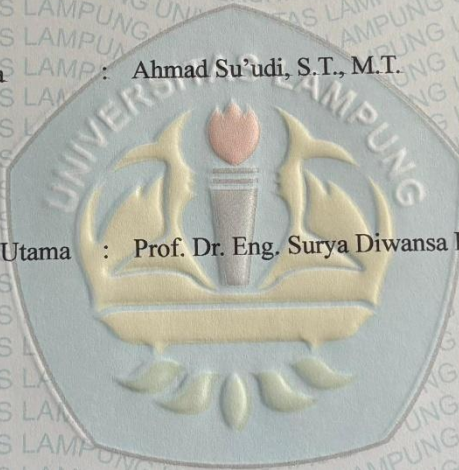
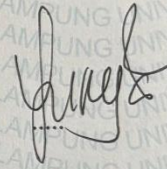
Ketua Penguji : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, S.T., M.T.



Anggota Penguji : Ahmad Su'udi, S.T., M.T.



Penguji Utama : Prof. Dr. Eng. Surya Diwansa Harun, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik

  
Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP.196910302000031001



## PERNYATAAN PENULIS

Skripsi yang berjudul “APLIKASI KENDALI PROPORSIONAL *INTEGRAL DERIVATIF* PADA MODEL MINI LIFT 3 TINGKAT” merupakan hasil karya penulis sendiri dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana yang diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 24 april 2026



Pernyataan

**Rafal Esa Dinata**

**NPM.2155021002**

## RIWAYAT HIDUP



Rafal Esa Dinata dilahirkan di Serang pada tanggal 12 Desember 2003. Penulis merupakan putra dari pasangan Bapak Tatang dan Ibu Dina Rahmawati. Penulis berdomisili di Perumnas, Cilegon, Banten.

Pendidikan formal penulis dimulai di SD YPWKS 5 Cilegon, dilanjutkan ke SMPIT Raudhatul Jannah Cilegon, dan menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Cilegon. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan studi ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Selama masa studi, penulis aktif mengembangkan diri melalui organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HMTM) Universitas Lampung sebagai Anggota Divisi Kaderisasi (2022) dan Anggota Divisi Advokasi (2023). Di bidang profesional, penulis telah menyelesaikan program magang di PT Great Giant Food (2024) serta di PT Stechoq Robotika Indonesia (2023), di mana penulis berhasil meraih penghargaan sebagai penyusun The Best Prototype.

Penulis telah dinyatakan lulus dan menyelesaikan pendidikan Strata-1 (S1) pada tahun 2026 setelah mempertahankan skripsi yang berjudul "Aplikasi Kendali Proporsional Integral Derivatif pada Model Mini Lift 3 Tingkat". Penelitian tersebut disusun di bawah bimbingan Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T., Ahmad Su'udi S.T., dan Prof. Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. Dengan selesainya studi ini, penulis berhak menyandang gelar Sarjana Teknik (S.T.).

## **MOTTO**

**"Maka nikmat tuhan mana lagi yang engkau dustakan?"**

**(Q.S Ar-Rahman)**

**"Ibu memilihku tetap ada meski nyawa menjadi taruhannya. Kini giliran  
aku menjadi ada untuk membuktikan bahwa pilihannya tidak sia-sia."**

**(Saya Pribadi)**

**"Hidup itu ibarat mesin K24 dan K20. Pondasi mental harus sekuat blok  
bawah CRV, tapi pikiran harus setajam dan seresponsif head Type R."**

**(Saya Pribadi)**

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Sholawat serta salam selau tercurahkan kepada Nabiallah Nabi Muhammad SAW.

## **KARYA TULIS INI SAYA PERSEMBAHKAN KEPADA**

### **Ibunda dan Ayahanda Tercinta**

Yang selalu menjadi sumber kekuatan dan inspirasiku, memberikan semangat dan doa yang tiada henti-hentinya selalu menyertai. Terima kasih atas cinta, doa, dukungan, serta pengorbanan tanpa hentinya yang tidak akan pernah bisa penulis balas sepenuhnya. Segala pencapaian ini adalah buah dari doa dan usaha kalian yang menyertai saya selama proses penyelesaian skripsi ini.

**Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2021**

**Serta**

**Almamater Tercinta Universitas Lampung**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan nikmat-Nya kepada Penulis, sehingga Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul “APLIKASI KENDALI PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF PADA MODEL MINI LIFT 3 TINGKAT”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini banyak pihak yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan bantuan baik secara materi maupun motivasi. Hal tersebutlah yang sangat memotivasi penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. Selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing akademik sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan selama dibangku perkuliahan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan waktu dalam membimbing dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

7. Seluruh Dosen, Staff dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Terimakasih tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta saya yakni Ayahanda Tatang dan Ibunda Dina Rahmawati dengan segala pengorbanan, kerja keras, dan kasih sayang tulusnya selalu mendukung saya dalam setiap langkah. Skripsi ini kupersembahkan sebagai bentuk bakti dan penghormatan kepada kedua orang tua saya.
9. Saya mengucapkan terimakasih kepada Hilmul Khadir, Muhammad Roshikul Ielmi teman seperjuangan saya yang selalu membantu dan berdiskusi dalam mengerjakan penelitian skripsi ini.
10. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2021 yang ada di laboratorium CNC, termodinamika, motor bakar, mekanika struktur, dan fluida di jurusan teknik mesin UNILA yang telah kebersamai, memberi motivasi dan semangat selama perkuliahan.
11. Teman-teman yang berada di kampung halaman yang telah menjadi tempat cerita dan selalu memberi dukungan serta motivasi kepada penulis selama ini.
12. Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhir kata penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya.

Bandar Lampung, 24 April 2026

Penulis,



**Rafal Esa Dinata**

**NPM. 2155021002**

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Mekatronika .....	6
2.2 Kontrol Sistem Mekanik <i>Lift</i> .....	7
2.2.1 Komponen Elektrik .....	7
2.2.2 Sensor .....	8
2.2.3 <i>Human Machine Interface (HMI)</i> .....	8
2.2.4 <i>Programmable Logic Controller (PLC)</i> .....	8
2.2.5 Teknik Kendali .....	9
2.3 Otomasi .....	12
2.4 <i>PLC (Programmable Logic Control)</i> .....	12
2.5 Gerbang Logika.....	14
2.6 <i>PID (Proportional Integral Derivatif)</i> .....	15
2.7 <i>Proximity Sensor</i> .....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Bahan.....	23
3.3 Rancangan Penelitian.....	31
3.4 Rancangan Mekanik.....	32
3.4.1 Desain Mekanik.....	32
3.4.2 Pencetakkan Komponen dengan 3D printer.....	34
3.4.3 Perakitan Sistem.....	34
3.5 Rancangan Sistem.....	35
3.5.1 Acuan Rancangan.....	35
3.5.2 Input Sistem.....	37
3.5.3 Pemrosesan oleh PLC.....	37
3.5.4 Kontrol PID.....	38
3.5.5 Output Sistem dan Gerak Aktuator.....	39
3.5.6 Loop Umpan Balik ( <i>Feedback Loop</i> ).....	41
3.6 Prosedur Penelitian.....	41
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Implementasi Perangkat Keras.....	45
4.2 Implementasi Perangkat Lunak ( <i>Software &amp; Parameter Setting</i> ).....	49
4.3 Pengujian Sistem dan <i>Tuning</i> Parameter Kendali.....	60
4.4 Analisa Kinerja Sistem Secara Keseluruhan.....	72
BAB V.....	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	78

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekatronik (Isermann, 2007).....	6
Gambar 2 Respon Sistem Sebelum Dilakukan <i>Tuning</i> PID (Dwiyaniti dan Kendi Moro N, 2013).....	9
Gambar 3 Respon Sistem Sesudah Dilakukan <i>Tuning</i> PID (Dwiyaniti & Kendi Moro N, 2013).....	10
Gambar 4 <i>PLC (Programmable Logic Control)</i> Mitsubishi FX3UR (Megasarana.com, n.d.).....	13
Gambar 5 Jenis Jenis Gerbang Logika (Fatika Sari et al., 2020).....	15
Gambar 6 Blok Diagram PID (Karnadi, 2018) .....	16
Gambar 7 Diagram Alir sistem PID (Karnadi, 2018) .....	17
Gambar 8 Mesin Percetakan 3 Dimensi.....	22
Gambar 9 <i>Power supply</i> .....	23
Gambar 10 <i>Motor</i> Listrik DC.....	24
Gambar 11 Alumunium <i>Profile</i> .....	24
Gambar 12 Akrilik.....	25
Gambar 13 Besi Poros.....	25
Gambar 14 <i>Limit Switch</i> .....	26
Gambar 15 Adaptor talli nylon.....	26
Gambar 16 Adaptor Pemberat .....	27
Gambar 17 Roller Block .....	27
Gambar 18 <i>PLC</i> FX3U – 24 MT .....	28
Gambar 19 Sensor <i>proximity</i> .....	28
Gambar 20 HMI DWIN .....	29
Gambar 21 Spesifikasi dari HMI DWIN .....	29
Gambar 22 Miniatur Model Lift .....	32
Gambar 23 Rangka Lift.....	33
Gambar 24 Sketsa Kabin dan Poros.....	33
Gambar 25 Proses Pemilihan parameter dan bahan filamen.....	34

Gambar 26 Hasil dari Perakitan Sistem Lift .....	35
Gambar 27 Blok Diagram Kontrol Sistem.....	41
Gambar 28 Diagram Alir Umum Penelitian .....	44
Gambar 29 <i>Wiring Diagram</i> .....	46
Gambar 30 <i>Pulley</i> yang telah dimodifikasi .....	47
Gambar 31 Proximity sensor yang telah diposisikan menghadap <i>pulley</i> .....	48
Gambar 32 Sensor <i>Limit Switch</i> .....	49
Gambar 33 Blok Tracking Posisi & Memori Lantai .....	51
Gambar 34 Blok Kendali Proporsional Jarak.....	52
Gambar 35 Blok <i>Ramping S Curve</i> .....	53
Gambar 36 Inisialisasi Protokol Komunikasi .....	54
Gambar 37 Hasil Desain Halaman Pertama HMI .....	55
Gambar 38 Hasil Desain Halaman Kedua HMI.....	55
Gambar 39 DWIN ICL generation.....	56
Gambar 40 Pengalamatan pada Halaman Pertama .....	56
Gambar 41 Pengalamatan pada Halaman Kedua .....	57
Gambar 42 Proses <i>Generate</i> .....	58
Gambar 43 File <i>DWIN_SET</i> .....	58
Gambar 44 Proses <i>Flashing</i> File ke HMI .....	59
Gambar 45 HMI yang telah diflash.....	59
Gambar 46 <i>Over Position</i> .....	61
Gambar 47 <i>Correct Position</i> .....	62
Gambar 48 <i>Under Position</i> .....	63
Gambar 49 Ilustrasi Pengujian .....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tabel Alat Umum .....	22
Tabel 2 Tabel Bahan Umum yang Digunakan pada Lift .....	30
Tabel 3 Tabel Data yang Didapatkan .....	43
Tabel 4 Hasil <i>Tuning</i> Rute Naik .....	64
Tabel 5 Hasil <i>Tuning</i> Rute Turun .....	65
Tabel 6 Hasil Pengujian Lantai 3 ke Lantai 1 .....	67
Tabel 7 Hasil Pengujian Lantai 1 ke Lantai 3 .....	68
Tabel 8 Hasil Pengujian Lantai 2 dari Lantai 1 .....	69
Tabel 9 Hasil Pengujian Lantia 1 dari Lantai 2.....	70
Tabel 10 Hasil Pengujian Lantai 3 dari Lantai 2.....	71
Tabel 11 Hasil Pengujian Lantai 2 dari Lantai 3 .....	72

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Lift* merupakan perangkat transportasi yang dirancang untuk mempermudah pergerakan manusia secara vertikal di dalam suatu bangunan. Bukan hanya mempermudah mobilitas, penggunaan *lift* juga sangat membantu dalam menghemat waktu tempuh, mengurangi kelelahan fisik, serta meningkatkan efisiensi aktivitas di dalam gedung, terutama bagi pengguna yang harus berpindah antar lantai secara berulang. Dalam banyak kasus, *lift* bahkan menjadi solusi utama untuk menggantikan fungsi tangga, khususnya bagi kelompok dengan keterbatasan mobilitas seperti lansia, anak-anak, dan penyandang disabilitas. Oleh karena itu, *lift* menjadi fasilitas vital dalam menunjang kenyamanan dan aksesibilitas di berbagai jenis bangunan, baik perkantoran, rumah sakit, pusat perbelanjaan, maupun apartemen.

Salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas kinerja *lift* adalah kecepatan gerak vertikalnya, karena secara langsung mempengaruhi efisiensi waktu dan kenyamanan pengguna. Kecepatan *lift* penumpang sangat bervariasi tergantung pada desain bangunan, tujuan penggunaan, dan sistem mekanis yang digunakan. Umumnya, kecepatan *lift* diukur dalam satuan “*floor per minute*” (FPM), dengan kisaran antara 250 hingga 500 FPM dan rata-rata sekitar 350 FPM. Namun, terdapat beberapa faktor teknis yang membatasi kecepatan maksimal *lift*, seperti jarak antar lantai yang mempengaruhi durasi akselerasi dan deselerasi, jenis *motor* penggerak, serta kondisi *overload* yang

dapat mengganggu kestabilan *motor* dan merusak komponen sistem (Miranda, 2023).

Pengaturan kecepatan *motor lift* yang akurat membutuhkan sistem kendali yang handal dan adaptif terhadap kondisi nyata di lapangan. Terdapat dua paradigma utama dalam sistem kendali *motor*, yaitu *open loop* (kendali terbuka) dan *closed loop* (kendali tertutup atau berbasis umpan balik). Pada sistem *open loop*, perintah kecepatan dikirimkan langsung ke *motor* tanpa adanya sensor yang memantau kinerja aktual, sehingga sistem ini tidak dapat merespons perubahan beban atau gangguan eksternal. Kelebihan dari sistem *open loop* adalah kesederhanaannya serta biaya implementasi yang lebih rendah, karena tidak membutuhkan sensor atau perangkat tambahan lainnya. Namun, sistem ini memiliki kelemahan signifikan karena tidak mampu mengoreksi kesalahan akibat perbedaan antara kondisi yang diharapkan dan kondisi aktual. Sebaliknya, *closed loop control* menggunakan sensor untuk memantau variabel proses seperti kecepatan atau posisi *motor*, membandingkannya dengan nilai *setpoint*, dan memberikan koreksi secara real-time. Sistem *closed loop* ini jauh lebih presisi dan stabil, serta mampu merespons perubahan beban atau gangguan dengan cepat dan akurat, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan tingkat keselamatan dan kenyamanan tinggi seperti *lift* penumpang (Syafik Maulana et al., 2024).

Dalam sistem kendali tertutup, algoritma PID (*proportional integral derivatif*) menjadi salah satu metode standar industri dalam mengatur dinamika *motor*. Secara teori, komponen *proportional* merespons *error* saat ini, *integral* mengakumulasi *error* untuk menghilangkan *offset*, dan *derivatif* memprediksi tren untuk mencegah osilasi (Rahmatillah & Suprianto, 2020). Namun, tantangan teknis muncul ketika algoritma ini diimplementasikan pada model berskala miniatur yang memiliki keterbatasan perangkat keras, seperti rendahnya resolusi sensor jarak/posisi. Pemaksaan aksi *integral* pada lintasan vertikal yang pendek seringkali memicu *wind up overshoot* (kabin menabrak batas lantai), sedangkan aksi *derivatif* pada sensor beresolusi rendah (seperti

*proximity* pembaca baut) justru akan mengamplifikasi *noise* menjadi getaran kasar (*chattering*) pada *motor*. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan kendali yang adaptif, di mana algoritma PID dioptimasi atau disederhanakan misalnya menjadi kendali *proportional* (P) murni berbasis sisa jarak untuk bertindak sebagai *trajectory generator* yang mampu menciptakan pengereman mulus (*soft stop / s curve*) tanpa mengorbankan keamanan mekanik.

Untuk menjawab tantangan tersebut sekaligus memahami cara kerja sistem *lift* secara praktis dan aman, perancangan miniatur *lift* otomatis berbasis *PLC* menjadi solusi ideal dalam konteks pembelajaran maupun penelitian. Miniatur ini menggunakan *motor* DC berserta *driver* IBT-2 sebagai aktuator, dan sensor *proximity* induktif sebagai detektor putaran *pulley* pengganti *rotary encoder*. *PLC* mitsubishi fx3u dipilih sebagai perangkat kontrol utama karena kehandalannya dalam mengeksekusi instruksi matematis berkecepatan tinggi. *PLC* ini tidak hanya mengatur logika operasional dasar *lift*, tetapi juga ditugaskan untuk mengkalkulasi sisa jarak secara real-time dan melakukan penalaan (*tuning*) parameter kendali untuk menurunkan persentase PWM secara proporsional. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi sistem *lift* otomatis dalam bentuk miniatur, serta menguji implementasi algoritma kendali (dari rencana awal PID hingga optimasinya menjadi *proportional*). Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membuktikan bagaimana keterbatasan *hardware* dapat diatasi dengan rekayasa algoritma yang tepat guna mencapai profil pergerakan deselerasi yang ideal.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan tujuan melakukan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Membangun miniatur sistem *lift* sebagai media pembelajaran yang dapat mensimulasikan sistem *lift* nyata dalam skala kecil.
2. Merancang sistem *lift* otomatis menggunakan *PLC* Mitsubishi FX3UR.

3. Mengimplementasikan kontrol PID didalam *software PLC* untuk mengatur kecepatan *motor* penggerak *lift*.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem *lift* dibatasi pada miniatur 3 lantai, dengan satu unit kabin (*car*) yang bergerak naik dan turun menggunakan *motor* listrik tipe DC.
2. Sistem kendali hanya menggunakan *PLC* Mitsubishi FX3UR.
3. Pemrograman dilakukan melalui *software GX Developer*.
4. Miniatur *lift* dilengkapi sensor posisi sederhana seperti *limit switch* atau *proximity* sensor.
5. Pengoperasian *lift* menggunakan layar Human Machine Interface (HMI) DWIN sebagai panel kendali utama (menggantikan tombol mekanis) untuk pemanggilan lantai dan indikator status, namun tidak terintegrasi dengan sistem *data logging* maupun SCADA tingkat lanjut.
6. Evaluasi kinerja sistem difokuskan murni pada pengujian kehalusan deselerasi dan perhitungan tingkat presisi titik henti kabin (*leveling accuracy*) di *setiap* lantai, tidak membahas analisis efisiensi daya listrik maupun getaran mekanis kabin secara mendalam.
7. Penentuan batas beban maksimal (*payload*) pada *lift* tidak diturunkan dari perhitungan mekanika teknik lanjutan, melainkan menggunakan pendekatan pembatasan empiris yang disesuaikan dengan kemampuan torsi maksimal *motor* DC guna mencegah terjadinya *overcurrent* (arus berlebih) pada *driver* IBT-2.

## 1.4 Sistematika Penulisan

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas mengenai latar belakang masalah yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini, tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan, dan daftar penelitian terdahulu yang menjadi referensi penulis dalam penelitian ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab tinjauan pustaka memuat teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini dimana merujuk dari hasil studi literatur yang digunakan sebagai pendukung dalam penulisan maupun pengolahan data

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini membahas mengenai rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alur pemecahan masalah yang digambarkan melalui *flowchart* penelitian umum dan *flowchart* pemecahan masalah, deskripsi pemecahan masalah, dan analisis data.

### **BAB IV HASIL PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan mengenai pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini beserta hasil pengolahan data melalui metode yang telah ditetapkan.

### **BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisikan tentang interpretasi hasil analisis *setiap* tahapan pengolahan data dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil penelitian ini juga dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu.

### **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

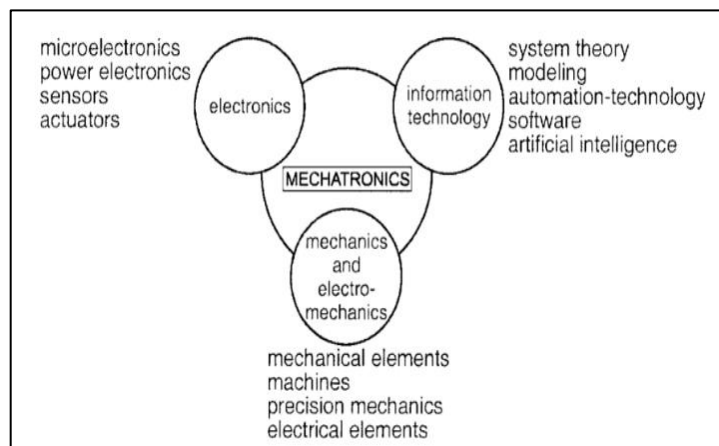
Pada bab ini memuat tentang kesimpulan sebagai jawaban dari rumusan masalah penelitian yang telah dilakukan beserta saran-saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Mekanika

Mekatronik adalah teknologi atau rekayasa yang menggabungkan teknologi tentang mesin, elektronika, dan informatika untuk merancang, memproduksi, mengoperasikan dan memelihara sistem untuk mencapai tujuan yang diamanatkan. Seperti diketahui dari definisi mekatronika adalah gabungan disiplin teknik mesin, teknik elektro, teknik informatika, dan teknik kendali. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Mekanika (Isermann, 2007)

Pada awalnya, secara khusus tidak ada disiplin mekatronika. Untuk menggabungkan beberapa disiplin iptek tersebut, mekatronika memerlukan teori kendali dan teori sistem. Secara sempit pengertian mekatronika mengarah pada teknologi kendali numerik yaitu teknologi mengendalikan mekanisme menggunakan aktuator untuk mencapai tujuan tertentu dengan

memonitor informasi kondisi gerak mesin menggunakan sensor, dan memaui informasi tersebut ke dalam mikro prosesor. Ini menumbangkan kemajuan yang spektakuler jika dibandingkan dengan kontrol otomatis menggunakan instrumen analog, karena dapat merubah skenario kontrol secara fleksibel dan dapat memiliki fungsi pengambilan keputusan tingkat tinggi. Contoh klasik barang mekatronik adalah lengan robot dan mesin bubut kontrol numerik. Barang-barang ini dapat melakukan pekerjaan-pekerjaan yang berbeda-beda dengan cara merubah program mereka sesuai 3 kondisi yang diminta, karena telah ditambahkan kemampuan kendali aktif yang canggih terhadap mekanisme yang telah ada.

## **2.2 Kontrol Sistem Mekanik *Lift***

Pada sistem miniatur *lift* tiga tingkat berbasis *PLC* Mitsubishi FX3U-R, sistem kontrol mekanik memainkan peranan penting dalam memastikan operasi *lift* berjalan secara otomatis, akurat, dan aman. Subbab ini membahas elemen-elemen utama dalam sistem kendali, yaitu komponen elektrik, sensor, *human machine interface* (HMI), *PLC*, dan teknik kendali yang digunakan.

### **2.2.1 Komponen Elektrik**

Komponen elektrik berfungsi sebagai penggerak dan pendukung utama sistem mekanik *lift*. Komponen ini meliputi:

1. *Motor* DC atau *motor* AC satu fasa: bertugas menggerakkan kabin *lift* naik dan turun secara vertikal.
2. *Power supply*: memberikan tegangan kerja untuk *PLC* dan aktuator lainnya.
3. *Relay* dan kontaktor: mengatur sirkuit ON/OFF untuk *motor* dan beban lainnya.
4. *Breaker* dan proteksi arus lebih: melindungi sistem dari kerusakan akibat arus berlebih atau korsleting.

### 2.2.2 Sensor

Sensor digunakan untuk mendeteksi posisi, keberadaan, dan kondisi *lift*.

Sensor-sensor yang digunakan antara lain:

1. Sensor *limit switch*: Digunakan untuk mendeteksi posisi lantai (lantai 1, 2, dan 3) sebagai *feedback* posisi kabin *lift*.
2. *Encoder rotary*: Digunakan untuk sistem kendali posisi atau kecepatan secara presisi dalam sistem *loop* tertutup (*closed-loop*).

### 2.2.3 Human Machine Interface (HMI)

HMI merupakan antarmuka pengguna yang memungkinkan interaksi antara operator dengan sistem *lift*. Pada sistem ini, HMI berfungsi untuk:

1. Menampilkan status posisi lantai *lift* saat ini.
2. Memberikan perintah pemilihan lantai tujuan.
3. Menampilkan alarm atau peringatan jika terjadi kesalahan sistem.

HMI dapat berupa layar sentuh (*touchscreen*) yang terintegrasi dengan *PLC* Mitsubishi FX3U-R menggunakan *ethernet*.

### 2.2.4 Programmable Logic Controller (PLC)

*PLC* Mitsubishi adalah pusat pengendali dari seluruh sistem. *PLC* ini menerima masukan dari sensor, memproses logika program, dan mengontrol aktuator (*motor*, lampu indikator, *buzzer*, dll). *PLC* juga bertanggung jawab untuk:

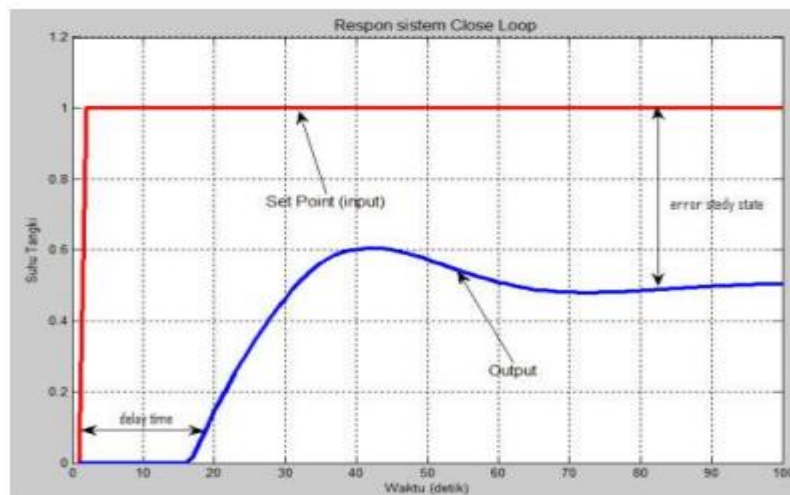
1. Menjalankan logika kendali berdasarkan *input* dari sensor dan HMI.
2. Mengirimkan sinyal kendali ke *motor* melalui *relay* atau *driver*.
3. Mengimplementasikan algoritma kendali PID untuk mengatur kecepatan dan posisi kabin *lift* secara halus dan responsif.

### 2.2.5 Teknik Kendali

Untuk mencapai performa gerak yang stabil dan nyaman, digunakan metode kendali proporsional *integral derivatif* (PID). Teknik ini berfungsi untuk:

1. Mengatur kecepatan *motor* secara bertahap saat naik atau turun.
2. Mencegah terjadinya *overshoot* atau getaran saat kabin berhenti di lantai tujuan.
3. Menyesuaikan *output* berdasarkan *error* posisi yang diterima dari sensor (*closed-loop*).

Nilai parameter PID ditentukan melalui proses *tuning*, yang dapat dilakukan menggunakan metode *trial-error*.



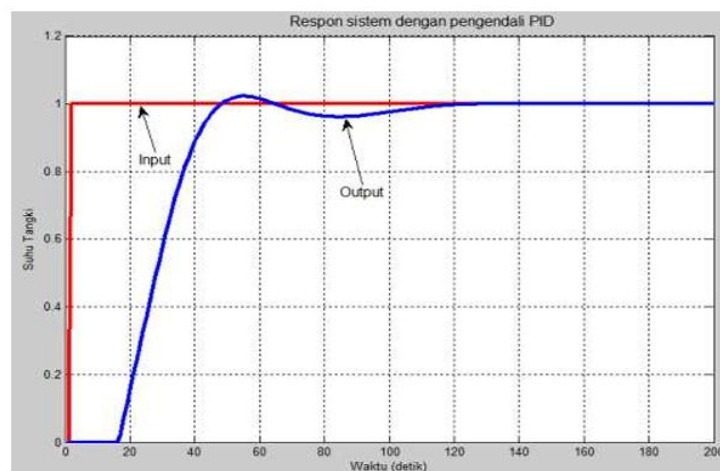
Gambar 2 Respon Sistem Sebelum Dilakukan *Tuning* PID (Dwiyanti dan Kendi Moro N, 2013).

Pada gambar 2 ditunjukkan kondisi *motor* sebelum dilakukan *tuning* PID, respons sistem biasanya menunjukkan bahwa *output* lambat mulai merespons *setelah* diberikan sinyal *set point*. Hal ini mencerminkan bahwa kontrol proporsional belum cukup kuat untuk segera mendekati nilai target. Akibatnya, *rise time* atau *delay time* (garis biru) cenderung panjang sistem relatif lambat dalam mendekati tingkat akhir.

Selama transien, *output* sering kali melampaui nilai akhir yang diharapkan, lalu turun kembali menuju stabil. Ini dikenal sebagai *overshoot*, yang menandakan sistem kurang memiliki redaman secara memadai. Dalam sistem tanpa *tuning* PID, *overshoot* ini cukup menonjol karena proporsional *control* yang ada terlalu agresif tanpa adanya penyeimbang dari efek *derivative*.

Pada akhirnya, ketika respons transien mereda dan sistem telah stabil, *output* sering kali tidak mencapai nilai *set point* sepenuhnya. Terdapat *steady state error*, yakni selisih antara nilai target dengan *output* akhir sistem. Hal ini terjadi karena aksi proporsional saja tidak mampu menghilangkan *error* secara penuh tanpa aksi *integral*, sistem tidak dapat “menjumlahkan” kesalahan yang tersisa dan memperbaikinya secara tuntas.

Secara keseluruhan, kondisi tanpa *tuning* PID menggambarkan sistem yang reaktifnya lambat, rentan *overshoot*, dan gagal secara akurat mencapai nilai *set point*. Hal ini menunjukkan bahwa parameter  $k_p$  mungkin terlalu kecil atau tidak seimbang, tanpa kontribusi *integral* yang memadai dan tanpa redaman yang dihasilkan dari *derivatif*. Dalam kondisi tersebut, sistem masih kurang responsif terhadap perubahan, membutuhkan *tuning* untuk meningkatkan kecepatan, mengurangi *overshoot*, dan memperkecil *error* di *steady state*.



Gambar 3 Respon Sistem Setelah Dilakukan *Tuning* PID (Dwiyanti & Kendi Moro N, 2013).

Pada gambar 3 ditunjukkan kondisi *motor* setelah dilakukan *tuning* PID, respons *motor* terhadap sinyal step menuju *set point* menjadi jauh lebih cepat dan lebih mendekati nilai target. *Rise time* secara signifikan berkurang karena adanya penyesuaian pada penguatan proporsional ( $K_p$ ), sehingga *motor* dapat mencapai kecepatan mendekati *set-point* dengan lebih gesit atau *delay time* berkurang. Respons awal yang sebelumnya lamban kini menjadi tajam dan efisien.

Selanjutnya, ketika *motor* melewati nilai target, *overshoot* yang terjadi relatif kecil dan cepat mereda. Ini berkat kontribusi *derivative gain* ( $K_d$ ) yang memberikan redaman tambahan saat *error* berubah pesat, sehingga mencegah *motor* terlalu melenceng melewati nilai *set point*. Hasilnya adalah transien yang halus tanpa fluktuasi besar atau osilasi berkepanjangan.

Setelah transien selesai, *motor* berhasil mencapai kecepatan yang sesuai dengan *set point* tanpa meninggalkan *offset* yang berarti. *Steady state error* hampir hilang atau sangat kecil karena adanya aksi *integral* ( $K_i$ ) yang “mengakumulasikan” sisa *error* dan memperbaiki *output* hingga nilai target tercapai dengan akurat. Ini sangat penting agar *motor* tidak berhenti duluan sebelum mencapai *set point*.

Secara keseluruhan, *tuning* PID telah mengubah respons *motor* dari sistem yang lamban dan kurang akurat menjadi lebih dinamis, stabil, dan presisi. *Motor* merespons lebih cepat, *overshoot* minimal, dan mampu mempertahankan kecepatan tepat pada *set point* setelah stabil. Inilah hasil yang diharapkan dari *tuning* parameter PID yang tepat:  $k_p$  mempercepat respons,  $k_i$  mengeliminasi *error* akhir, dan  $k_d$  meredam *overshoot* serta mempercepat stabilisasi.

### 2.3 Otomasi

Otomasi adalah penggunaan teknologi untuk mengendalikan, memantau, dan mengoptimalkan proses industri secara otomatis, mengurangi keterlibatan manusia. Otomasi merupakan teknologi yang memungkinkan pengendalian proses industri secara otomatis, mengurangi keterlibatan manusia dan meningkatkan efisiensi. Dengan otomasi, proses produksi menjadi lebih cepat, akurat dan efektif, sehingga meningkatkan produktivitas dan kualitas produk. Selain itu, otomasi juga mengurangi risiko keselamatan dan biaya operasional, membuatnya menjadi pilihan strategis bagi industri modern.

Otomasi akan terus berkembang dengan kemajuan teknologi seperti *artificial intelligence* (AI), *machine learning* (ML), dan *internet of things* (IoT). Industri 4.0 akan menjadi kenyataan dengan integrasi otomasi, robotika dan analitik data. Hal ini akan menciptakan proses produksi yang lebih cerdas, fleksibel dan efisien. Oleh karena itu, investasi dalam otomasi merupakan keputusan yang tepat untuk meningkatkan daya saing dan mempersiapkan diri untuk masa depan industri yang lebih cerdas (Efendi, 2018).

### 2.4 PLC (*Programmable Logic Control*)

*PLC* artinya menurut NEMA adalah suatu piranti atau perangkat elektronik digital dengan memori yang bisa diprogram untuk menyimpan instruksi-instruksi yang menjalankan fungsi yang lebih spesifik seperti logika, sekuen, timing, counting, dan aritmatika guna mengontrol mesin sesuai apa yang diinginkan.

Sedangkan menurut (Yuhendri, 2018) *PLC* adalah sistem elektronik digital yang didesain untuk pemakaian pada industri. Memakai memori yang bisa diprogram untuk penyimpanan secara *internal* instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti *logic*, urutan,

perwaktuan, pencacahan dan aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog.

Sesuai namanya, ada tiga konsep utama dari *PLC* yaitu *Programmable*, *Logic*, dan *Controller*. Berikut masing-masing penjelasannya :

1. *Programmable* : kemampuan menyimpan program yang sudah dibuat ke dalam memori. Fungsinya bisa ubah-ubah sesuai keinginan.
2. *Logic* : kemampuan memproses *input* secara aritmatika dan *logic* dengan melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengurangi, negasi, mengalikan, membagi, AND, OR, dan lain sebagainya.
3. *Controller* : kemampuan mengontrol dan mengatur proses agar menghasilkan *output* yang diinginkan.










Gambar 4 *PLC (Programmable Logic Control)* Mitsubishi FX3UR  
(Megasarana.com, n.d.)

Gambar 4 memperlihatkan perangkat *Programmable Logic Controller (PLC)* Mitsubishi tipe FX3U-R, yang merupakan salah satu seri *PLC* modular dari Mitsubishi Electric. *PLC* ini dipilih dan akan digunakan sebagai komponen utama dalam penelitian ini karena memiliki performa yang handal, fleksibilitas tinggi dalam konfigurasi *input/output*, serta kompatibilitas dengan berbagai jenis sensor dan aktuator. Selain itu, FX3U-R mendukung pemrograman dengan GX Works2/GX Developer, sehingga memudahkan dalam perancangan logika yang diperlukan dalam sistem yang dikembangkan.

## 2.5 Gerbang Logika

Pada dasarnya sinyal digital merupakan memiliki sifat terputus-putus Selain itu, sinyal digital ini biasanya dilambangkan dengan suatu notasi aljabar 1 dan 0. Notasi 1 melambangkan terjadinya sebuah sinyal digital pada suatu benda. Sedangkan notasi 0 melambangkan tidak adanya hubungan pada suatu benda. Elektronika digital juga dikenal sebagai sebutan lain yaitu rangkaian digital. Penyusun dari rangkaian digital disebut dengan gerbang logika. Sama dengan namanya, maka gerbang logika menjalankan operasi logika. Biasanya gerbang logika menjalankan operasi logika pada satu atau lebih masukan serta menghasilkan keluaran yang tunggal. Gerbang logika adalah penyusun elektronika digital yang *setiap* cara kerja rangkaian pada gerbang logika menggunakan prinsip aljabar boolean. Pada dasarnya dalam ilmu elektronik, suatu masukan dan keluaran dibangun oleh yang namanya voltase atau arus. Voltase ini biasanya dihubungkan dengan sakelar. Oleh karena itu, gerbang logika bisa dikatakan sebagai bermacam-macam sakelar yang mengimplementasikan aljabar boolean pada sistem elektronik. Dengan adanya sakelar, maka barang-barang elektronik tertentu bisa digunakan dengan semestinya. Hal ini dikarenakan operasi logis pada satu atau lebih masukan logis akan menghasilkan keluaran logika soliter (Afriana, 2017).

Jenis-jenis gerbang logika bisa dikatakan sebagai cara kerja dari gerbang logika itu sendiri. Gerbang logika memiliki tujuh jenis cara kerja, yaitu gerbang logika AND, gerbang logika OR, gerbang logika NAND, gerbang logika NOR, gerbang logika X-OR (*exclusive* OR), dan gerbang logika X-Nor (*exclusive* NOR) dan gerbang logika NOT. Jenis – jenis gerbang logika tersebut dapat dilihat di gambar 5.

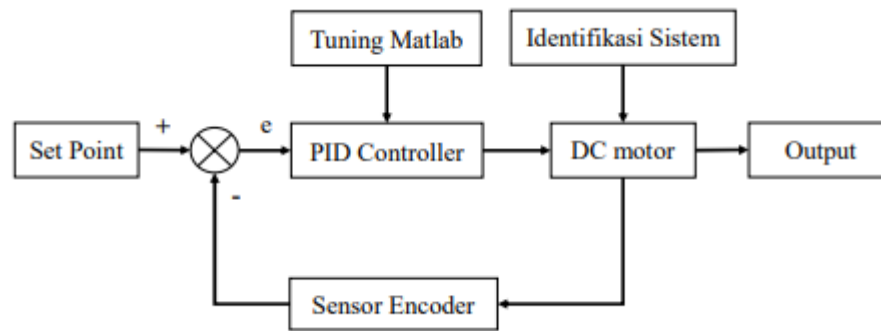
Name	NOT	AND	NAND	OR	NOR	XOR	XNOR																																																																																																
Alg. Expr.	$\bar{A}$	$AB$	$\overline{AB}$	$A+B$	$\overline{A+B}$	$A \oplus B$	$\overline{A \oplus B}$																																																																																																
Symbol																																																																																																							
Truth Table	<table border="1"> <thead> <tr><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	X	0	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	B	A	X	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	B	A	X	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	B	A	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	B	A	X	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	B	A	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	B	A	X	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	X																																																																																																						
0	1																																																																																																						
1	0																																																																																																						
B	A	X																																																																																																					
0	0	0																																																																																																					
0	1	0																																																																																																					
1	0	0																																																																																																					
1	1	1																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	1																																																																																																					
0	1	1																																																																																																					
1	0	1																																																																																																					
1	1	0																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	0																																																																																																					
0	1	1																																																																																																					
1	0	1																																																																																																					
1	1	1																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	1																																																																																																					
0	1	0																																																																																																					
1	0	0																																																																																																					
1	1	0																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	0																																																																																																					
0	1	1																																																																																																					
1	0	1																																																																																																					
1	1	0																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	1																																																																																																					
0	1	0																																																																																																					
1	0	0																																																																																																					
1	1	1																																																																																																					

Gambar 5 Jenis Jenis Gerbang Logika (Fatika Sari et al., 2020)

## 2.6 PID (*Proportional Integral Derivatif*)

Parameter kendali pada sistem proporsional *integral derivatif* (PID) tidak dapat ditentukan secara sembarangan, melainkan harus didasarkan pada pemahaman yang mendalam terhadap karakteristik dinamis dari sistem yang akan dikendalikan (*plant*). Artinya, sebelum merancang dan mengatur nilai parameter PID secara optimal, sangat penting untuk terlebih dahulu memahami perilaku, respons, dan model matematis dari *plant* tersebut, baik melalui pendekatan teoritis maupun eksperimen. Hal ini menjadi lebih krusial ketika sistem yang dikendalikan memiliki perilaku yang kompleks dan tidak linear.

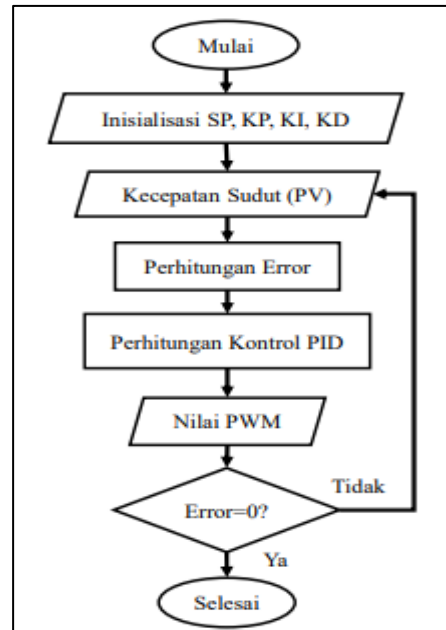
Dalam proses perancangan sistem kendali PID secara digital, langkah awal yang dilakukan meliputi pembuatan blok diagram kendali PID sebagai representasi visual dari hubungan antara sinyal masukan, keluaran, dan respon kendali. Selanjutnya, dilakukan pula proses identifikasi sistem untuk memperoleh model matematis *plant* secara akurat. Proses identifikasi ini dapat difasilitasi melalui fitur "*Ident*" yang tersedia pada perangkat lunak MATHLAB, yang memungkinkan pengguna untuk mengestimasi parameter sistem berdasarkan data respons *input-output*. Dengan adanya model ini, parameter PID dapat disetel secara lebih presisi untuk mencapai performa kendali yang diinginkan.



Gambar 6 Blok Diagram PID (Karnadi, 2018)

Gambar 6 menggambarkan diagram blok dari sistem kendali PID yang digunakan untuk mengatur kecepatan sudut *motor* DC. Nilai referensi (*set point*) dibandingkan dengan sinyal umpan balik dari sensor *encoder* untuk menghasilkan sinyal *error*. Sinyal *error* ini kemudian menjadi masukan bagi pengendali PID. Pengendali PID, yang parameternya disetel menggunakan fitur *PID Tuner* pada MATLAB, akan menghasilkan sinyal kendali sebagai input untuk *motor* DC. *Motor* DC bertindak sebagai *plant* dalam sistem ini, dan perilakunya dimodelkan melalui proses identifikasi sistem menggunakan fitur *system identification* (Ident) pada MATLAB.

Keluaran dari sistem berupa kecepatan sudut *motor* DC diukur dengan sensor *encoder*, lalu dikembalikan ke sistem sebagai sinyal umpan balik. Proses ini membentuk sistem *closed-loop* di mana pengendali terus menyesuaikan sinyal keluarannya berdasarkan perbedaan antara *set point* dan kecepatan aktual *motor*. Secara keseluruhan, diagram ini menunjukkan alur pengendalian kecepatan *motor* DC berbasis pendekatan identifikasi sistem dan kendali PID. Diagram alir lebih detail terkait langkah-langkah kerja sistem ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram Alir sistem PID (Karnadi, 2018)

Gambar 6 menunjukkan diagram alir dari proses kerja sistem kendali PID. Tahapan pertama dimulai dengan inisialisasi nilai-nilai utama, yaitu *set point* (SP) serta parameter pengendali PID berupa konstanta proporsional (KP), *integral* (KI), dan *derivatif* (KD), yang sebelumnya telah diperoleh melalui proses *tuning* di MATLAB. Selanjutnya, sistem membaca nilai kecepatan sudut aktual dari *motor* DC sebagai *present value* (PV). Nilai ini kemudian dibandingkan dengan *set point* untuk menghitung besarnya *error*, yaitu selisih antara nilai yang diinginkan dan nilai aktual.

Berdasarkan nilai *error* tersebut, sistem melakukan perhitungan menggunakan algoritma kontrol PID untuk menghasilkan sinyal kendali yang sesuai. Nilai sinyal kendali ini diterjemahkan dalam bentuk *PWM* (*pulse width modulation*) dan diberikan ke *motor* DC sebagai masukan. Sensor *encoder* kembali membaca kecepatan *motor* yang baru, dan proses perbandingan nilai dengan *set point* diulang. Selama nilai *error* belum mencapai nol, perhitungan PID akan terus dilakukan dan siklus akan berulang. Sistem akan berhenti hanya ketika nilai *error* telah mendekati atau mencapai nol, menandakan bahwa kecepatan *motor* DC telah sesuai dengan nilai yang diinginkan (Karnadi, 2018).

## 2.7 Proximity Sensor

*Proximity* Sensor (Sensor Proksimitas) atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan sensor jarak adalah sensor elektronik yang mampu mendeteksi keberadaan objek di sekitarnya tanpa adanya sentuhan fisik. Dapat juga dikatakan bahwa sensor *proximity* adalah perangkat yang dapat mengubah informasi tentang gerakan atau keberadaan objek menjadi sinyal listrik. Terdapat beberapa sensor *proximity* contohnya adalah *capacitive proximity sensor* dan *inductive proximity sensor* (Saputra, 2022).

### 1. *Capacitive Proximity Sensor*

Sensor jarak kapasitif atau *capacitive proximity sensor* adalah sensor jarak yang dapat mendeteksi gerakan, komposisi kimia, tingkat dan komposisi cairan maupun tekanan. Sensor jarak kapasitif dapat mendeteksi bahan-bahan dielektrik rendah seperti plastik atau kaca dan bahan-bahan dielektrik yang lebih tinggi seperti cairan sehingga memungkinkan sensor jenis ini untuk mendeteksi tingkat banyak bahan melalui kaca, plastik maupun komposisi kontainer lainnya. Sensor jarak kapasitif ini pada dasarnya mirip dengan Sensor jarak induktif, perbedaannya adalah sensor kapasitif menghasilkan medan elektrostatik sedangkan sensor induktif menghasilkan medan elektromagnetik.

Sensor jarak kapasitif ini dapat digerakan oleh bahan konduktif dan bahan non konduktif. Elemen aktif sensor jarak kapasitif dibentuk oleh dua elektroda logam yang diposisikan untuk membentuk ekuivalen (sama dengan) dengan kapasitor terbuka. Elektroda ini ditempatkan di rangkaian osilasi yang berfrekuensi tinggi. Ketika objek mendekati permukaan sensor jarak kapasitif ini, medan elektrostatik pelat logam akan terinterupsi sehingga mengubah kapasitansi sensor jarak. Perubahan ini akan mengubah kondisi dalam pengoperasian sensor jarak sehingga dapat mendeteksi keberadaan objek tersebut.

### 2. *Inductive proximity Sensor*

Sensor jarak induktif atau *inductive proximity sensor* adalah sensor jarak yang digunakan untuk sensor jarak yang digunakan untuk mendeteksi

keberadaan logam baik logam jenis *ferrous* maupun logam jenis non *ferrous*. Sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan (ada atau tidak adanya objek logam), menghitung objek logam dan aplikasi pemosisian. Sensor induktif sering digunakan sebagai pengganti saklar mekanis karena kemampuannya yang dapat beroperasi pada kecepatan yang lebih tinggi dari sakelar mekanis biasa.

Sensor jarak induktif ini juga lebih andal dan lebih kuat. Sensor *proximity* induktif pada umumnya terbuat dari kumparan/koil dengan inti ferit sehingga dapat menghasilkan medan elektromagnetik frekuensi tinggi. *Output* dari sensor jarak jenis induktif ini dapat berupa analog maupun digital. Versi analog dapat berupa tegangan (biasanya sekitar 0–10VDC) atau arus (4–20mA). Jarak pengukurannya bisa mencapai hingga 2 inci. Sedangkan versi digital biasanya digunakan pada rangkaian DC saja ataupun rangkaian AC/DC. Sebagian besar sensor induktif digital dikonfigurasi dengan *output* “*normally open*” namun ada juga yang dikonfigurasi dengan *output* “*normally close*”. Sensor induktif ini sangat cocok untuk mendeteksi benda-benda logam di mesin dan di peralatan otomatisasi.

*Inductive proximity* sensor ini pada dasarnya terdiri dari sebuah osilator, sebuah koil dengan inti *ferit*, rangkaian detektor, rangkaian *output*, kabel dan konektor. Osilator pada sensor jarak ini akan membangkitkan gelombang sinus dengan frekuensi yang tetap. Sinyal ini digunakan untuk menggerakkan kumparan atau koil. Koil dengan inti *ferit* ini akan menginduksi medan elektromagnetik. Ketika garis-garis medan elektromagnetik ini ter-interupsi oleh objek logam, tegangan osilator akan berkurang sebanding dengan ukuran dan jarak objek dari kumparan/koil. Dengan demikian, sensor proksimitas ini dapat mendeteksi adanya objek yang sedang mendekatinya. Pengurangan tegangan osilator ini disebabkan oleh arus yang diinduksi pada logam yang menginterupsi garis-garis logam.

## 2.8 Tuning

Penalaan (*tuning*) pada sistem kendali tertutup merupakan tahapan krusial untuk menemukan nilai parameter penguatan yang optimal guna meminimalkan nilai galat (*error*) antara *setpoint* dan *process variable*. Menurut kajian teknis dari National Instruments, *tuning* berfungsi untuk memodifikasi sinyal galat yang diumpan balikkan ke dalam kontroler, sehingga menghasilkan respons keluaran aktuator yang stabil dan sesuai dengan target yang diharapkan tanpa memicu osilasi berlebih. Pada purwarupa sistem fisik yang memiliki keterbatasan mekanik, salah satu metode penalaan empiris yang paling aplikatif adalah metode heuristik atau *trial and error*. Metode ini bekerja dengan cara menonaktifkan fungsi *integral* (I) dan *derivatif* (D) terlebih dahulu, kemudian menaikkan nilai penguatan proporsional (kp) secara bertahap hingga sistem mencapai respons dinamik tercepat sebelum memasuki batas osilasi. Pendekatan inilah yang direpresentasikan dalam perancangan elevator miniatur ini untuk menentukan nilai kp yang presisi (National Instruments, 2025).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Lokasi penelitian ditetapkan yaitu di laboratorium CNC/CAM, Jurusan S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Jalan Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedung Meneng, Baru, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Waktu dilakukannya penelitian dimulai sejak bulan Juni 2025.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan miniatur *lift* 3 tingkat adalah sebagai berikut:

##### **3.2.1 Alat**

###### **1. Mesin pencetakan 3D**

Mesin pencetak 3D digunakan untuk mencetak komponen-komponen yang dibutuhkan pada miniatur *lift* 3 lantai. Mesin yang digunakan adalah creality 3D printer K1C. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

*Motion System* : CoreXY

Ukuran packaging : 428mm × 428mm × 567mm

Build Volume : 220mm × 220mm × 250mm

Layer Height : 0.1 - 0.35mm

Max Hotend Temperature : 300°C

Max Build Plate Temperature : 100°C  
 Max *Speed* of Toolhead : 600mm/s  
 Max Acceleration of Tool Head : 20,000 mm/s<sup>2</sup>  
 Flow Rate : 32mm<sup>3</sup>/s  
 Printing Accuracy : ±0.1mm  
 Berat : 12.4 kg



Gambar 8 Mesin Percetakan 3 Dimensi

## 2. Alat umum

Adapun alat yang digunakan tidak memerlukan spesifikasi tertentu, ditunjukkan tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Tabel Alat Umum

NO	Nama Alat	Kegunaan
1	Mesin Bor	Membuat lubang alumunium profile dan akrilik
2	Meteran	Mengukur saat pemotongan alumunium profile dan poros
3	Jangka sorong	Mengukur bagian yang memerlukan kepresisian yang tinggi seperti bearing linear

4	Obeng Plus	Untuk mengencangkan baut pada bracket poros
5	Kunci L	Memasang baut pada rangka miniatur lift
6	Mesin bubut	Membuat profil V pada shape pulley
7	Mesin Gerinda	Digunakan untuk memotong alumunium profile dan poros
8	Pisau Karter	Memotong akrilik dan juga membersihkan sisa sisa brim pada komponen yang dicetak mesin 3D printing
9	Palu	Digunakan sebagai alat pukul pada pemasangan rangka lift

### 3.2.2 Bahan

#### 1. *Power Supply*

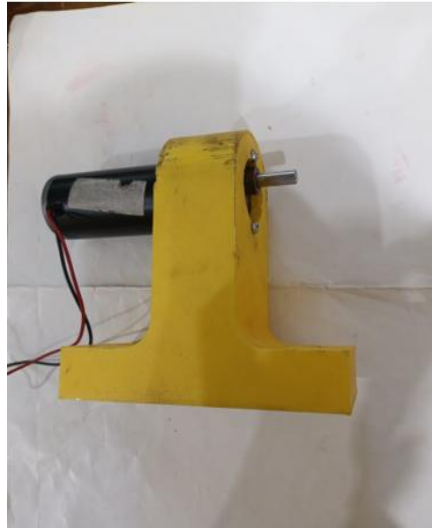
*Power supply* berfungsi untuk menyediakan dan mengatur tegangan listrik yang dibutuhkan oleh komponen listrik



Gambar 9 *Power supply*

## 2. *Motor Listrik DC*

*Motor listrik DC (direct current)* digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis



Gambar 10 *Motor Listrik DC*

## 3. *Alumunium Profile*

*Alumunium profile* digunakan sebagai bahan rangka miniatur *lift* 3 tingkat. Ukuran yang digunakan adalah 100 cm.



Gambar 11 *Alumunium Profile*

#### 4. Akrilik

Akrilik digunakan sebagai kabin miniatur *lift* 3 tingkat. Ukuran yang digunakan untuk pemotongan akrilik adalah panjang 30 cm dan lebar 35 cm.



Gambar 12 Akrilik

#### 5. Besi Poros

Besi poros digunakan sebagai lintasan pada kabin *lift*. Ukuran yang digunakan pada besi poros adalah panjang 93 cm dan dengan diameter 13 mm.



Gambar 13 Besi Poros

#### 6. *Limit Switch*

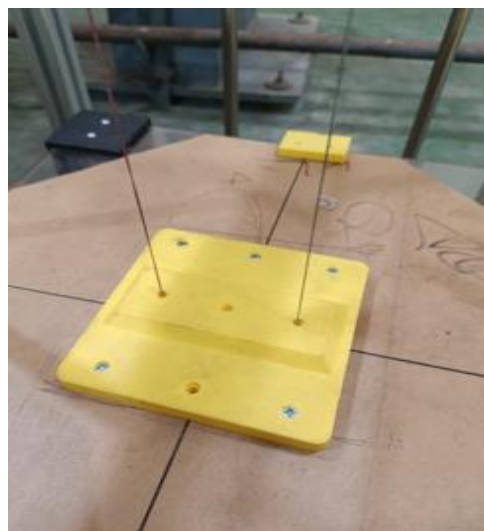
*Limit switch* digunakan sebagai sensor *input* pembatas untuk menghentikan *motor* listrik di tempat yang sudah ditentukan. V-156-1C25 Rating: 15A 250VAC / 0.6A 125VDC / 0.3A 250VDC



Gambar 14 *Limit Switch*

#### 7. *Adaptor tali nylon.*

Adaptor ini berfungsi sebagai penghubung antara kabin *lift* dan tali *nylon*.



Gambar 15 *Adaptor tali nylon*

#### 8. Adaptor Pemberat

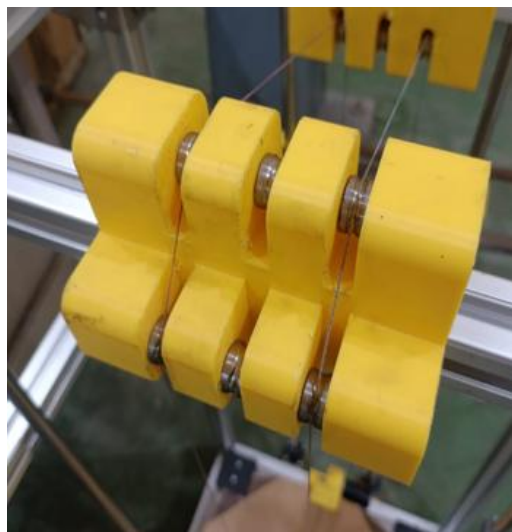
Adaptor ini berfungsi sebagai tempat pemberat atau rumah pemberat linear *bearing*.



Gambar 16 Adaptor Pemberat

#### 9. *Roller Block*

*Roller Block* digunakan sebagai alat untuk menempatkan *roller* yang digunakan untuk mengarahkan tali *nylon* yang digunakan untuk menarik kabin *lift* kepada pemberat.



Gambar 17 Roller Block

#### 10. *PLC FX3UR*

*PLC* disini berfungsi sebagai alat yang akan memberikan sinyal untuk memberitahu *motor* untuk berputar ataupun berhenti. Tipe *PLC* yang digunakan adalah FX3U – 24MT.



Gambar 18 *PLC FX3U – 24 MT*

#### 11. Sensor *proximity*

Sensor *proximity*. Sensor ini digunakan untuk mengukur kecepatan dari *lift* dan mendeteksi adanya getaran yang ada di *lift*.



Gambar 19 Sensor *proximity*

## 12. HMI (*Human Modul Interface*)

HMI digunakan sebagai panel visual interaktif yang akan diopresionalkan oleh pengguna.



Gambar 20 HMI DWIN

Spesifikasi dari HMI DWIN tersebut adalah sebagai berikut:

<p>Display Data:            LCD Type IPS, TFT LCD            Viewing Angle Wide viewing angle, 85°/85°/85°/85° (L/R/U/D)            Resolution 480×800 pixels (support 0°/90°/180°/270°)            Color 24-bit 8R8G8B            Active Area (A.A.) 93.6mm (H) ×56.2mm (W)</p> <p>Touch Parameters (WTR)            Type RTP (Resistive touch panel)            Structure ITO film + ITO glass            Touch Mode Support point touch and drag            Surface Hardness 3H            Light Transmittance Over 80%            Life Over 1,000,000 times touch</p> <p>Touch Parameters (WTC)            Type CTP (Capacitive touch panel)            Structure G+G structure with surface cover of tempered glass            Touch Mode Support point touch and drag            Surface Hardness 6H            Light Transmittance Over 90%</p>
--

Gambar 21 Spesifikasi dari HMI DWIN

## 13. Bahan umum

Adapun bahan yang digunakan dan tidak memerlukan spesifikasi khusus adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Tabel Bahan Umum yang Digunakan pada Lift

No.	Nama Bahan	Kegunaan
1	Filamen PLA dan ABS	Bahan sebagai bahan cetak pada bagian bagian pada <i>lift</i>
2	Benang nylon	Digunakan sebagai tali penghubung antara pemberat dan kabin <i>lift</i>
3	Besi balok	Digunakan sebagai pemberat pada <i>lift</i> yang terhubung dengan kabin <i>lift</i>
4	Mur dan Baut	Sebagai penyambung bagian pada miniatur <i>lift</i>
5	Siku kabin	Digunakan sebagai penguat kabin yang berbahan akrilik
6	<i>Corner bracket</i>	Sebagai penyambung rangka <i>aluminium profile</i>
7	Linear bearing	Digunakan sebagai bantalan pada poros
8	Bracket poros	Digunakan sebagai penyangga poros
9	<i>Stopper limit switch</i>	Digunakan sebagai pembatas untuk menekan <i>limit switch</i>

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perancangan (rancang bangun) dan eksperimen. Metode perancangan berfokus pada rekayasa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak pada miniatur model *lift*. Pada tahap perancangan ini, dilakukan pembuatan *ladder logic* pada *PLC* Mitsubishi FX3U untuk mengatur urutan logika kendali, seperti perintah pemanggilan lantai, kalkulasi sisa jarak berbasis *high speed counter*, serta eksekusi pengereman (*Soft-Stop*). Selanjutnya, dirancang pula antarmuka *human machine interface* (HMI) *DWIN* sebagai pusat kontrol *input* pengguna. HMI ini menyediakan tombol *virtual* untuk memberikan perintah pemilihan lantai target yang terhubung langsung ke memori *PLC*, sehingga menggantikan fungsi sakelar mekanis konvensional.

Sementara itu, metode eksperimen diterapkan secara spesifik untuk mengkalibrasi sistem kendali deselerasi *motor* dan menguji keandalan sistem secara keseluruhan. Pada tahap eksperimen ini, nilai parameter batas proporsional (nilai threshold  $K$  untuk pengereman jarak) pada *PLC* disesuaikan melalui metode *trial and error* hingga mendapatkan profil deselerasi yang halus. Modulasi sinyal PWM ini kemudian dieksekusi oleh *driver motor* IBT-2 untuk menggerakkan *motor* DC secara presisi.

Berbeda dengan rencana awal yang menggunakan evaluasi *steady-state error* kecepatan pada sistem PID, pendekatan kuantitatif pada eksperimen penelitian ini secara spesifik difokuskan pada perhitungan *error* presisi titik henti (*levelling accuracy*). Pengujian dilakukan melalui eksekusi pergerakan *lift* secara berulang sebanyak 10 kali percobaan (*repeatability test*) pada *setiap* rute antar lantai (baik rute naik yang melawan gravitasi, maupun rute turun yang searah gravitasi).

Data kuantitatif berupa deviasi posisi fisik kabin terhadap lantai target (dalam satuan milimeter) akan dicatat pada *setiap* percobaan untuk memastikan

sistem terbebas dari gejala kebablasan (*overshoot*). Data deviasi dari 10 kali pengujian tersebut kemudian diakumulasikan untuk menghitung nilai rata-rata *error* (*mean absolute error*/ MAE). Hasil perhitungan ini akan mendemonstrasikan secara empiris tingkat akurasi algoritma kendali proporsional jarak dalam mewujudkan operasional miniatur *lift* yang aman, halus, dan presisi.

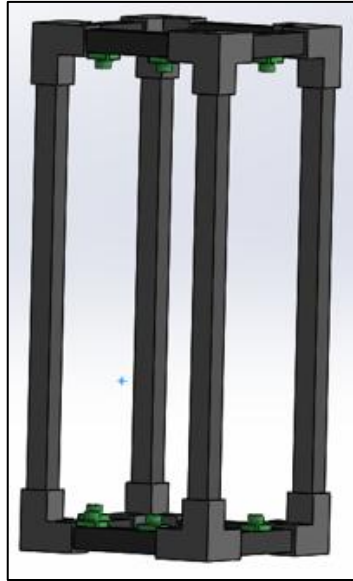


Gambar 22 Miniatur Model Lift

### 3.4 Rancangan Mekanik

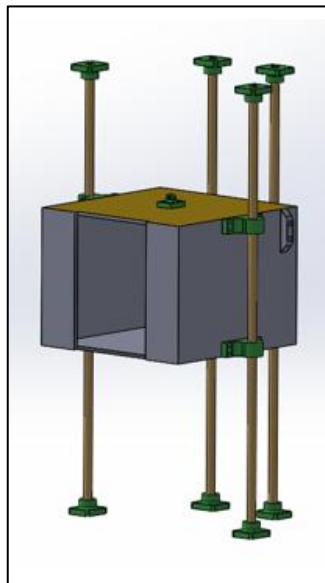
#### 3.4.1 Desain Mekanik

Setelah mengetahui semua kebutuhan sistem dan komponen apa saja yang akan di pasang selanjutnya membuat desain mekanik. Desain mekanik dimulai dari pembuatan sketsa pemilihan dimensi rangka *lift* kabin dan poros gerak serta tataletak komponen pendukung lainnya



Gambar 23 Rangka Lift

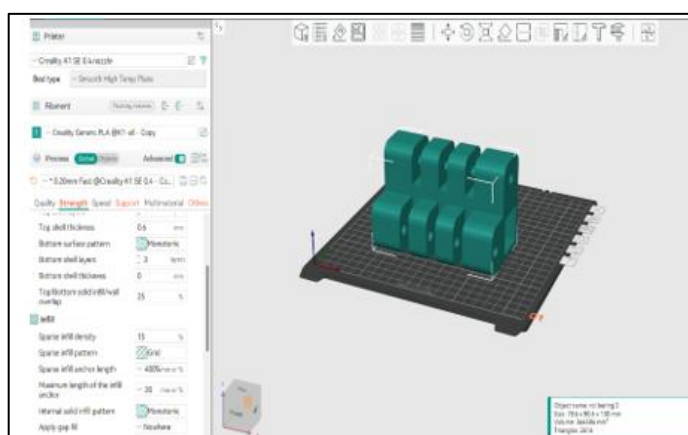
Pembuatan desain dibuat menggunakan *software solidworks* kemudian divisualisasikan dalam bentuk 3D. Pada desain yang dibuat juga menentukan penempatan breket poros, rel vertikal, serta kabin *lift*.



Gambar 24 Sketsa Kabin dan Poros

### 3.4.2 Pencetakan Komponen dengan 3D printer

Komponen komponen 3D yang sudah dibuat kemudian diekspor ke *software orca slicer* untuk menentukan parameter pencetakan dan juga memilih bahan apa yang cocok untuk komponen tersebut seperti PLA atau ABS. Setelah di-*slice* file yang akan langsung dicetak dengan 3D printer. Kemudian dilakukan lagi pengukuran dimensinya menggunakan jangka sorong.



Gambar 25 Proses Pemilihan parameter dan bahan filamen

### 3.4.3 Perakitan Sistem

Perakitan komponen *lift* dimulai dari pemasangan rangka *lift* terlebih dahulu. Kemudian komponen hasil dari pencetakan 3D printer dirangkai menjadi sistem mekanisme *lift* yang lengkap sehingga miniatur *lift* bisa dioperasikan.



Gambar 26 Hasil dari Perakitan Sistem Lift

### 3.5 Rancangan Sistem

Sistem simulasi miniatur *lift* tiga tingkat ini dirancang untuk merepresentasikan kinerja sistem kendali otomatis berbasis *PLC* dengan integrasi sensor dan kendali PID. Sistem ini memiliki fungsi utama untuk menggerakkan platform *lift* menuju lantai yang dipilih oleh pengguna, dengan kontrol presisi terhadap posisi dan kecepatan *motor*. Dalam sistem ini, digunakan sensor *limit switch* untuk pengukuran posisi vertikal, sensor IMU untuk membaca percepatan dan kecepatan *lift*, serta *limit switch* sebagai pengaman. Kontrol dilakukan oleh *PLC* dengan bantuan algoritma PID yang bekerja dalam dua *level* untuk mengatur posisi dan kecepatan *motor* secara simultan.

#### 3.5.1 Acuan Rancangan

Perancangan sistem kendali pada model *lift* ini mengacu pada prinsip-dasar pergerakan *lift* penumpang komersial. Mengingat objek penelitian merupakan sistem berskala miniatur, maka parameter fisik seperti kecepatan puncak mutlak tidak mengadopsi angka mentah dari standar industri, melainkan mengadaptasi kriteria kualitatif yang diturunkan dari

Standar nasional Indonesia (SNI) 03-6573-2001 tentang tata cara perancangan sistem transportasi vertikal dalam gedung (*lift*).

Adapun acuan rancangan yang diimplementasikan pada skripsi ini meliputi:

1. Adaptasi parameter kenyamanan dan pembatasan sentakan (*jerk limitation*)

Berdasarkan SNI, kenyamanan penumpang sangat ditentukan oleh kehalusan proses akselerasi dan deselerasi, bukan sekadar kecepatan maksimal. Perubahan percepatan yang terjadi secara tiba-tiba (*jerk*) dapat menimbulkan ketidaknyamanan atau bahaya fisik. Oleh karena itu, rancangan kendali model ini tidak menggunakan pemutusan arus secara langsung (*hard stop*), melainkan dirancang menggunakan profil pergerakan berbasis jarak. Penurunan persentase kecepatan *motor* (PWM) dilakukan secara proporsional terhadap sisa pulsa, sehingga mereplikasi lintasan deselerasi yang linier dan halus (*soft-stop*).

2. Standar keselamatan *lift* mensyaratkan agar rantai kabin harus sejajar presisi dengan rantai gedung saat pintu terbuka, guna mencegah bahaya tersandung (*tripping hazard*). Pada rancangan miniatur ini, acuan *leveling accuracy* diadopsi sebagai target utama. Sistem dirancang agar kecepatan *motor* mencapai persis 0% pada saat yang bersamaan dengan tercapainya target hitungan pulsa (baut) pada sensor *proximity*, tanpa adanya gejala kebablasan (*overshoot*) maupun berhenti sebelum waktunya (*sluggishness*).

3. Pada *elevator* komersial, terdapat sistem rem mekanis (*holding brake*) yang secara otomatis mengunci kabin saat berhenti di lantai tujuan agar tidak merosot akibat gaya gravitasi. *Lift* ini mengadopsi prinsip keselamatan tersebut melalui pemanfaatan fitur pengereman elektrik (*dynamic braking*) pada modul *driver* IBT-2. Ketika nilai PWM menyentuh 0%, *driver* tidak sekadar memutus arus, melainkan secara aktif mengunci tegangan pada kumparan *motor* DC (menghubungkan terminal *motor*). Hal ini menghasilkan torsi

penahan yang memastikan posisi kabin tetap terkunci sejajar dengan lantai meskipun terdapat beban di dalam.

### 3.5.2 Input Sistem

*Input* dalam sistem ini dapat berasal dari pengguna maupun dari sensor yang terintegrasi dalam sistem.

1. *Human machine interface* (HMI). Pengguna memberikan perintah melalui antarmuka HMI berupa pemilihan lantai tujuan (lantai 1, 2, atau 3). Pilihan ini dikirim sebagai sinyal digital atau analog menuju *PLC* untuk dijadikan *setpoint* posisi vertikal.
2. Sensor *limit switch*. *limit switch* dipasang pada struktur sistem untuk membaca posisi vertikal *lift* secara *real time*. Data jarak ini digunakan sebagai umpan balik aktual terhadap posisi platform, lalu dikirim ke *PLC* untuk dibandingkan dengan *setpoint*.
3. Sensor *proximity*. Sensor ini dipasang pada lawan yang berarah dengan baut yang telah dipasang ke *pulley* yang telah dimodifikasi. Sensor ini berfungsi untuk mengukur *error* jarak antara sisa *pulse* dan *setpoint*. Data ini menjadi *feedback* dinamis terhadap gerakan *lift* yang akan digunakan sebagai *input* dalam kendali PID jarak.

### 3.5.3 Pemrosesan oleh *PLC*

*PLC* (*Programmable Logic Controller*) merupakan pusat pemrosesan dari sistem ini. Setelah menerima *input* dari HMI dan data sensor, *PLC* akan menjalankan perhitungan logika dan pengendalian sebagai berikut:

1. Mengonversi sinyal dari HMI menjadi nilai numerik sebagai *setpoint* kecepatan.
2. Mengoperasikan algoritma PID Posisi untuk menghasilkan *setpoint* jarak untuk memberhentikan kabin *lift*.
3. Menerima data *error* jarak untuk digunakan dalam PID posisi, guna mengontrol akselerasi dan dekselerasi *lift*.

4. Menyaring sinyal *input* dari *limit switch* untuk interupsi darurat. *Output* dari kendali PID kemudian dikonversi menjadi sinyal PWM atau analog untuk mengendalikan *motor driver*.

### 3.5.4 Kontrol PID

Pengendalian sistem ini dilakukan dalam dua tahap PID untuk memastikan keakuratan posisi dan kelancaran gerakan:

1. Mekanisme akselerasi dan deselerasi (*soft start & soft stop*).  
Mekanisme ini menggantikan fungsi kompleks dari aksi *Integral* dan *Derivatif*. Perubahan kecepatan *motor* dikendalikan secara linier menggunakan *relay clock internal PLC* 10ms. Saat *lift* mulai bergerak, nilai *duty cycle* PWM akan dinaikkan secara bertahap (1 poin per 10ms) untuk menghasilkan tarikan awal yang halus (*soft-start*). Sebaliknya, saat *lift* memasuki zona deselerasi, nilai PWM akan diturunkan secara bertahap hingga mencapai nilai nol (*soft-stop*).
2. Kendali proporsional jarak.  
Sebagai pengganti *feedback* kecepatan dari sensor, sistem ini menggunakan *feedback* posisi (pulsa) dari sensor *proximity* yang dihitung menggunakan *high speed counter*. *PLC* secara terus-menerus membandingkan sisa jarak target (jumlah pulsa baut) dengan nilai batas proporsional yang telah ditentukan. Ketika sisa jarak telah mencapai batas deselerasi tersebut, *PLC* akan memutuskan sinyal laju dan memicu mekanisme *soft stop*.
3. Langkah penentuan parameter kendali (*tuning*)  
Karena kendali difokuskan pada manipulasi jarak dan waktu respons *internal PLC*, penentuan parameter batas deselerasi tidak menggunakan metode osilasi matematis seperti Ziegler-Nichols. Penyetelan (*tuning*) parameter dilakukan menggunakan metode *heuristik (trial and error)* secara langsung pada model dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Inisialisasi kecepatan maksimal: menetapkan nilai batas atas *duty cycle* PWM pada *register PLC* untuk mendapatkan kecepatan nominal *lift*.
- Pengujian rute pergerakan: melakukan pergerakan *lift* naik dan turun secara berulang untuk *setiap* kombinasi lantai asal dan lantai tujuan.
- Penyetelan batas deselerasi (nilai K): mengubah-ubah nilai konstanta perbandingan jarak pada instruksi komparator di dalam *ladder* diagram (misalnya konstanta K15 untuk rute naik, dan K8 untuk rute turun).
- Evaluasi visual dan mekanis: menyesuaikan nilai konstanta tersebut secara iteratif hingga *lift* mampu berhenti tepat sejajar dengan *level* lantai tujuan tanpa menimbulkan efek *chattering* (getaran kasar) atau *overshoot*.

### 3.5.5 Output Sistem dan Gerak Aktuator

Bagian keluaran (*output*) dari sistem *lift* ini bertanggung jawab untuk menerjemahkan hasil pemrosesan logika *PLC* menjadi pergerakan mekanis pada kabin *lift*. Aktuator utama yang digunakan adalah *motor* DC yang dikendalikan melalui *motor Driver* IBT-2 (berbasis chip BTS7960). Pengendalian gerak ini bergantung pada dua aspek utama: pengaturan arah putaran (navigasi) dan pengaturan kecepatan (*speed control*).

#### 1. Pengaturan arah putaran (navigasi kabin)

Untuk menggerakkan kabin *lift* ke atas atau ke bawah, *PLC* memberikan sinyal digital melalui terminal *output* transistor berkecepatan tinggi, yaitu Y000 dan Y001.

- Pergerakan naik (*upward*): *PLC* mengirimkan sinyal aktif pada terminal Y000 yang dihubungkan ke pin RPWM (*right* PWM) pada *driver* IBT-2, sementara pin LPWM (*left* PWM) dijaga

dalam kondisi *low* (mati). Hal ini memicu *motor* berputar searah jarum jam (*clockwise*).

- Pergerakan turun (*downward*): *PLC* mengirimkan sinyal aktif pada terminal Y001 yang dihubungkan ke pin LPWM pada *driver* IBT-2, sementara pin RPWM dalam kondisi Low. Hal ini memicu *motor* berputar berlawanan arah jarum jam (*counter clockwise*).

## 2. Pengaturan Kecepatan Berbasis Sinyal PWM

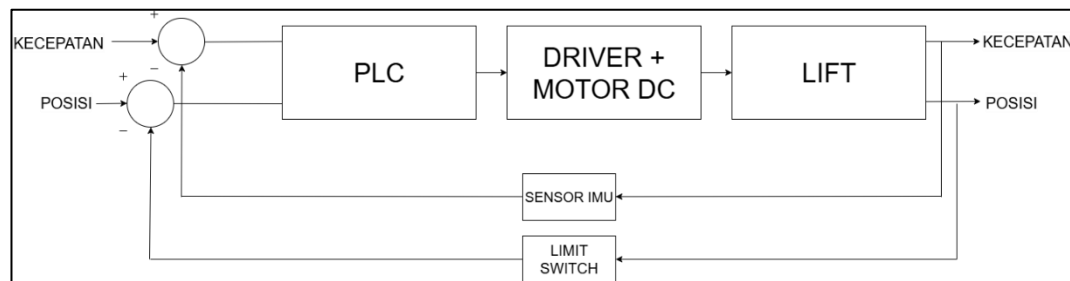
Alih-alih memberikan tegangan penuh secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan sentakan (*chattering*), sistem ini memanfaatkan instruksi PWM di dalam *ladder* diagram *PLC* untuk mengatur *duty cycle* (siklus kerja) sinyal yang dikirim ke *driver* IBT-2.

Profil pergerakan aktuator dibagi menjadi tiga fase logis yang saling berkesinambungan:

- Fase akselerasi (*soft start*): saat perintah pergerakan diinisialisasi, logika program akan menaikkan nilai *duty cycle* secara bertahap dalam interval waktu tertentu. Hal ini membuat tegangan rata-rata yang mengalir ke *Motor* DC meningkat secara halus dari 0% hingga mencapai kecepatan operasional nominalnya.
- Fase kecepatan konstan: setelah *duty cycle* mencapai batas atas yang ditetapkan dalam perancangan (kecepatan target), aktuator akan berputar secara konstan untuk menempuh jarak antar lantai dengan efisien.
- Fase deselerasi (*soft stop*): Sistem dirancang untuk terus memantau sisa jarak target melalui *feedback* pulsa dari sensor *proximity*. Ketika sisa jarak telah menyentuh titik batas (*threshold*) pengereman yang telah ditentukan secara proporsional, logika program akan menurunkan nilai *duty cycle* PWM secara bertahap hingga menyentuh angka nol. Hal ini memungkinkan *motor* melakukan pengereman dinamis, sehingga kabin *lift* dapat berhenti tepat sejajar dengan *level* lantai secara presisi dan halus.

### 3.5.6 Loop Umpan Balik (*Feedback Loop*)

Sistem bekerja dalam *loop* tertutup (*closed loop system*), di mana posisi dan kecepatan *lift* terus dimonitor oleh sensor, dan nilai aktual selalu dibandingkan dengan nilai target (*setpoint*). Jika terdapat deviasi, maka PID akan memperbaiki sinyal kendali untuk mengurangi kesalahan (*error*). *Loop* ini berlangsung terus-menerus hingga platform mencapai lantai tujuan dengan gerakan yang stabil dan tanpa *overshoot*. *Closed loop* ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 27 Blok Diagram Kontrol Sistem

### 3.6 Prosedur Penelitian

Adapun tahapan ataupun prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur:

Mengkaji teori-teori serta literatur teknis terkait *programmable logic controller (PLC)*, komunikasi serial *modbus RS-485*, arsitektur *human machine interface (HMI)*, teknik pembangkitan sinyal *pulse width modulation (PWM)*, serta metode kendali pergerakan berbasis profil kurva-S (*Soft-start/Soft-stop*) dan proporsional jarak sebagai pengganti sistem kontrol PID konvensional.

#### 2. Pengumpulan Data Primer:

- Wawancara: mengumpulkan data dan masukan dari dosen pembimbing/ahli mengenai kebutuhan fungsionalitas sistem, parameter

keamanan *elevator*, serta *graphical user interface* (GUI) yang ideal untuk diimplementasikan pada layar HMI.

- Observasi: menganalisis rancang bangun mekanis miniatur *lift*, karakteristik tarikan *motor* DC, serta penentuan tata letak sensor *proximity* dan baut indikator pada lintasan rel agar pembacaan pulsa posisi (*high speed counter*) dapat berjalan optimal.

### 3. Perancangan Sistem:

- PLC dan HMI: merancang program *ladder logic* untuk komunikasi data, serta mendesain *image control library* (ICL) pada perangkat lunak DGUS untuk mewujudkan antarmuka visual HMI.
- Perancangan kendali aktuator: menyusun logika pemicuan PWM menggunakan instruksi inkremental/dekremental untuk menghasilkan akselerasi dan deselerasi yang halus, serta merancang komparator jarak (*threshold*) untuk titik pengereman *motor*.

### 4. Uji Coba dan Evaluasi:

Melakukan validasi fisik terhadap pergerakan kabin *lift* untuk memastikan bahwa parameter kendali proporsional yang dimasukkan ke dalam memori PLC sudah sesuai dengan dinamika mekanik aktual. Prosedur validasi dilakukan dengan langkah berikut:

- Pemasangan Sensor:
 

Memastikan sensor *proximity* yang terpasang pada platform *lift* mampu merekam data pergerakan vertikal (berupa cacahan baut/pulsa) secara presisi ke dalam *high speed Counter PLC* tanpa kehilangan data (*missed count*).
- Pelaksanaan Uji:
  - *Lift* dioperasikan menggunakan metode heuristik (*Trial and Error*). Proses ini melibatkan penyesuaian nilai parameter batas deselerasi (nilai K pada komparator) dan batas atas *duty cycle* PWM secara berulang-ulang langsung pada program PLC.
- Pengumpulan dan Analisis Data:
 

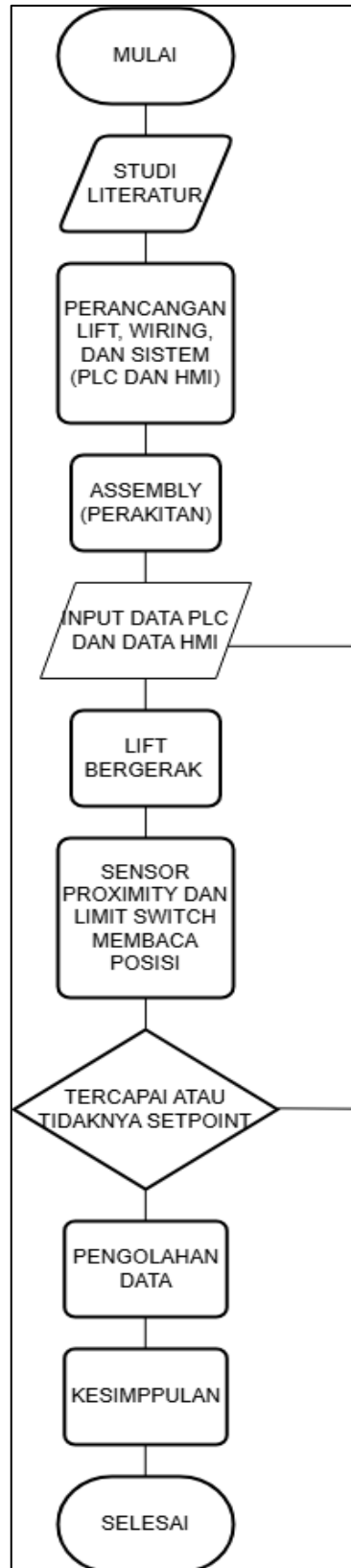
Data sisa jarak pengereman dan respons mekanis dicatat untuk *setiap* pengujian rute lantai. Hasilnya dievaluasi secara visual dan fungsional

untuk memastikan kabin *lift* menunjukkan pergerakan yang mulus, terbebas dari getaran kasar (*chattering*), tidak mengalami *overshoot*, dan mampu berhenti sejajar persis dengan *level* lantai target.

Hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi apakah *lift* menunjukkan gerakan yang stabil, tanpa *overshoot* berlebihan, serta mencapai posisi target dengan akurat. Contoh data yang akan didapatkan ditunjukkan tabel 5.

Tabel 3 Tabel Data yang Didapatkan

PERCOBAAN	TITIK IDEAL	DEVIASI FISIK (mm)	<i>ERROR</i> ABSOLUT $ e $
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
MAE			$\frac{\sum MAE}{n}$



Gambar 28 Diagram Alir Umum Penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, perakitan perangkat keras (*wiring*), pembuatan program *ladder*, hingga pengujian dan analisa sistem yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Miniatur *lift* telah berhasil dibangun dan berfungsi dengan baik sebagai media simulasi sistem *lift* nyata berskala kecil. Integrasi mekanik yang meliputi kabin, *pulley*, beban penyeimbang (*counterweight*), dan pembacaan sensor *proximity* Induktif pada baut katrol berhasil merepresentasikan dinamika fisika *lift* yang sebenarnya, baik saat melawan gravitasi (naik) maupun searah gravitasi (turun).
2. Sistem *lift* otomatis berhasil dirancang dan dikendalikan sepenuhnya oleh PLC Mitsubishi FX3U. Tantangan teknis terkait perbedaan *level* tegangan pada lapangan berhasil diatasi melalui desain *wiring* terisolasi. Penggunaan dual *power supply*, modul *stepdown* (24V ke 5V), serta teknik *level shifting* menggunakan resistor (2k2 Ohm) terbukti handal dalam menjembatani sinyal *high speed output* (NPN) dari PLC ke modul *driver motor* (IBT-2 / BTS7960) tanpa adanya interferensi sinyal atau kerusakan komponen.
3. Terkait tujuan implementasi kontrol PID, hasil analisa respon sistem di lapangan menunjukkan bahwa penggunaan aksi *integral* (I) dan *derivatif* (D) justru mendegradasi performa sistem. Aksi *integral*

memicu *windup overshoot* yang menyebabkan kabin menabrak, sementara aksi *derivatif* memicu *noise amplifications* akibat rendahnya resolusi sensor jarak (4 PPR dari baut katrol). Oleh karena itu, sistem dioptimasi menjadi kendali proporsional (P) murni. Manipulasi nilai *proportional band* (K) berdasarkan sisa pulsa terbukti sukses menghasilkan profil deselerasi *critically damped*, di mana *lift* mampu melakukan pengereman secara mulus (*soft stop*) dan berhenti presisi di titik *limit switch* tanpa sentakan kasar.

## 5.2 Saran

Meskipun model *lift* ini telah berjalan sesuai parameter keberhasilan, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Untuk penelitian ke depan yang ingin menerapkan kendali *full* PID (terutama untuk mengakomodasi aksi *derivatif*), disarankan untuk mengganti sensor *proximity* pembaca baut dengan *rotary encoder* optik beresolusi tinggi (misalnya 400 PPR atau 1000 PPR). Hal ini akan memberikan *feedback* sisa jarak yang jauh lebih rapat dan presisi, sehingga meminimalisir *chattering* pada *motor*.
2. Sistem dapat disempurnakan dengan menambahkan layar *human machine interface* (HMI) untuk memantau status posisi *lift*, nilai *error*, dan nilai PWM secara *real time*. Selain itu,
3. Penambahan *limit switch* mekanis (*hard limit*) di ujung teratas dan terbawah rel sangat disarankan sebagai sistem proteksi lapis kedua (*hardware interlock*) apabila terjadi kegagalan pada perangkat lunak *PLC*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriana, riza devi. (2017). Pengenalan Gerbang Logika. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 6(November), 5–24.  
<http://www.nber.org/papers/w16019>
- Dwiyaniti, M., & Kendi Moro N. (2013). Tuning Parameter PID dengan Metode Ciancone Pada Plant Heat Exchanger. *Politeknologi*, 12, 12–17.
- Efendi, Y. (2018). Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 4(2), 21–27. <https://doi.org/10.35329/jiik.v4i2.41>
- Fatika Sari, I., Sari, N., Novitasari, O., Amara, R., Nabila Subaedi, A., & Antarnusa, G. (2020). Gerbang Logika Kombinasional dan Komparator. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika*, 3(1), 425.  
<https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/sendikfi/index>
- Isermann, R. (2007). MECHATRONIC SYSTEMS – INNOVATIVE PRODUCTS WITH EMBEDDED CONTROL. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14.
- Karnadi, D. A. (2018). Rancang Bangun Kontrol Kecepatan Robot Three Omni-Directional Menggunakan Metode PID (Proportional *Integral* Derivative). *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 5(4), 07.
- Megasarana.com. (n.d.). *Mitsubishi FX3U PLC FX Series*.
- Miranda. (2023). Seberapa Cepat Lift Penumpang? <https://id.Safe-Lifts.Com/News/How-Fast-Is-a-Passenger-Elevator-72837622.Html>.
- National Instruments. (2025). *THE PID controller & Theory Explained*.

Saputra, F. A. (2022). PERANCANGAN ALGORITMA PEMILAH SAMPAH OTOMATIS MENGGUNAKAN INDUCTIVE PROXIMITY SENSOR, CAPACITIVE PROXIMITY SENSOR, DAN INFRARED SENSOR. In *Basic and Applied Ecology* (Vol. 64).

Syafik Maulana, H., Lathifah, H., Ajis, M., Saidatin, N., Adhi, I. T., & Surabaya, T. (2024). Analisis Pengaruh Posisi Tandon Air Pada Dispenser Otomatis Terhadap Respon Transient Dan Steady State Berbasis Sistem Kontrol Open Loop Dan Close Loop. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV)*, (Senastitan Iv), 1–9.

Yuhendri, D. (2018). Penggunaan PLC Sebagai Pengontrol Peralatan Building Otomatis. In *Journal of Electrical Technology* (Vol. 3, Number 3).