

TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SMART LIFT REGENERATIF UNTUK
PENGHEMATAN ENERGI

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar (S.T)
Pada Program Study Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh:

BAHUDDIN HARAHAHAP
2207220090



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini di ajukan oleh :

Nama : Bahuddin harahap

NPM : 2207220090

Program Study : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Rancang Bangun Smart Lift Regeneratif Untuk Penghematan Energi

Bidang ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil di pertahankan di hadapan penguji dan di terima sebagai salah satu syarat yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 15 September 2026

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Benny Oktrialdi S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing I/penguji



Dr. Ir. Rohana, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II/Penguji



Noorly Evalina S.T.,M.T

Program Study Teknik Elektro



Dr. Elvy Samudra Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Bahuddin harahap
Tempat/Tanggal Lahir : Gunung Tua 08 Juli 1998
NPM : 2207220090
Fakultas : Teknik
Program Study : Teknik elektro

Menyatakan Dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul

“ Rancang Bangun Smart Lift regeneratif Untuk Penghematan energi“

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tangan Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari di duga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, sya bersedia di proses oleh tim fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesajanaan saya

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran diri dan tidak atas paksaan ataupun tekanan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Study Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan 07 September 2026

Saya Yang Menyatakan


BAHUDDIN HARAHAP

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pada bangunan bertingkat menjadikan elevator atau lift sebagai salah satu system transportasi vertical yang sangat penting. Namun, system lift konvensional pada umumnya masih memiliki tingkat efisiensi energi yang rendah karena seluruh proses operasinya bergantung pada suplai daya listrik pada jaringan utama, tanpa memanfaatkan Kembali energi yang dihasilkan saat lift bergerak turun. Energi tersebut pada umumnya terbuang dalam bentuk panas melalui sistem pengereman, sehingga menyebabkan pemborosan energi listrik, terutama pada bangunan yang penggunaan liftnya berintensitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe smart lift regeneratif berbasis Arduino yang mampu menghemat energi listrik melalui pemanfaatan energi regeneratif. Metode penelitian ini yakni dengan menggunakan metode rancang bangun yang meliputi tahap perancangan mekanik, perancangan sistem elektronik, pemrograman mikrokontroler Arduino, serta pengujian kinerja prototipe. Parameter pengujian meliputi sistem kontrol, kemampuan menyimpan energi pada super kapasitor, serta potensi pengurangan konsumsi daya listrik. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini yakni terbentuknya sebuah prototipe lift regeneratif yang dapat beroperasi secara otomatis dan menunjukkan konsep pemanfaatan energi regeneratif secara efektif. Penelitian ini juga dapat diharapkan menjadi referensi awal dalam pengembangan sistem elevator hemat energi serta mendukung penerapan teknologi green building masa depan.

Kata Kunci : lift, Regenerative Energi, Superkapasitor, Arduino, Smart lift

ABSTRACT

Advancements in high-rise building technology have made elevators a crucial vertical transportation system. However, conventional elevator systems generally suffer from low energy efficiency because their entire operation relies on the main electrical grid without recovering the energy generated during the elevator's descent. This energy is typically dissipated as heat through the braking system, resulting in electrical energy waste, particularly in buildings with high elevator usage. This research aims to design and construct an Arduino-based smart regenerative elevator prototype capable of saving electrical energy through the utilization of regenerative energy. The research employs a design-and-build methodology comprising mechanical design, electronic system design, Arduino microcontroller programming, and prototype performance testing. Testing parameters include the control system, the supercapacitor's energy storage capability, and the potential for reducing electrical power consumption. The expected outcome is a regenerative elevator prototype that operates automatically and demonstrates an effective concept for regenerative energy utilization. Furthermore, this research is expected to serve as a preliminary reference for developing energy-efficient elevator systems and to support the implementation of future green building technologies.

Keywords: *Elevator, Regenerative Energy, Supercapacitor, Arduino, Smart Elevator*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang. Segala puji dan Syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karuna dan nikmat yang tiada terkira. salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Smart Lift Reneratif Untuk Penghematan Energi” sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, universitas Muhammadiyah Sumatra Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang setulus tulusnya kepada :

1. Almarhum Ayahanda tercinta Kimom Harahap, Ibunda tercinta Tiojun siregar, Istri tercinta Ciana Utari, Ayahanda Suryanto dan Ibunda Suparni Serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehta dan doanya untuk penulis demi selesainya tugas akhir ini
2. Bapak Prof .Dr. H. Akrim, M.pd, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST., M.Sc., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Khairul Umurani, ST., MT, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi S.T., M.T., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

7. Bapak Benny Oktrialdi S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Benny Oktrialdi S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing Penulis dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
9. Ibu Dr. Ir. Rohana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I dan penguji yang telah banyak memberikan masukan dan koreksi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Ibu Noorly Evalina S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II dan penguji yang telah banyak memberikan masukan dan koreksi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
11. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.
12. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
13. Staff dan pihak-pihak terkait dari PT. Mitsubishi Jaya Elevator and Escalator yang telah memberi izin untuk penelitian dan pengambilan data.
14. Untuk Semua rekan Kerja PT.MJEE
15. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2021 dan 2022
16. Untuk calon penulis : Shahru Ramadhan, terimakasih yang selalu mendoakan, memberikan dukungan ke penulis dan menemani dalam proses apa pun.
17. Untuk Kakak, Abang dan Adek penulis terimakasih yang selalu mendukung dan mendoakan ke penulis.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia konstruksi Teknik Elektro serta

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Ruang lingkup penelitian.....	5
1.5 Manfaat penelitian	6
BAB II TIJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Pengertian Elevator	9
2.2.2 Perinsip Fisika pada system Lift.....	10
2.2.3 Car/kabin	10
2.2.4 Counterweight	11
2.2.5 Hoisting Mechine	35
2.2.6 Sistem Roppe.....	13

2.2.7 sistem Control.....	14
2.2.8 Sistem pengereman.....	15
1 Struktur Mekanik Prototype	17
2 Motor DC.....	18
3 Kabin / Car	19
4 Counterweight	21
5 Polley and Rope.....	22
6 <u>Battery Lithium</u>	23
7 <u>Arduino Uno</u>	24
8 <u>Push Button.</u>	26
9 limit Swith....	27
10 Bridge Rectivier.....	27
11 IBT-2 Motor Driver	28
12 Buzzer & Modul Suara ISD 1820	28
13 Relay Modul	28
14 BMS 3S 20 A.....	28
15 Kapasitor 470/25V.....	30
16 Voltmeter....	30
17 Motor Servo SG0.....	31
BAB III.....	32
3.1 Waktu Penelitian	32
3.2 Tempat Penelitian.....	33
3.3 Alat Dan Bahan	33
3.3.1 Alat Penelitian	33
3.3.2 Spesifikasi Komponen/Bahan Penelitian	34
3.4 Perangkat Lunak.....	45

3.5 Wiring diagram Prototype	48
3.6 Flow Chart	51
3.7 Block Diagram penelitian	51
BAB IV	52
4.1 Hasil Perancangan Prototype	52
4.2 Hasil Perancangan Mekanik	54
4.3 Hasil Perancangan Elektronik	56
4.4 Hasil Perancangan Perangkat Lunak	57
4.5 Hasil Pengujian Prototype Elevator	59
4.5.1 Pengujian Arduino Uno	59
4.5.2 Pengujian Motor driver IBT-2	60
4.5.3 Pengujian Push Button	69
4.5.4 Pengujian Limit Switch	62
4.5.5 Pengujian Motor Servo	63
4.5.6 Pengujian Modul suara	64
4.5.7 Pengujian Relay Modul	64
4.5.8 Pengujian Pergerakan lift	65
4.5.9 Pengujian Sistem Regeneratif	66
4.5.10 Pengujian Energi yang tersimpan di kapasitor	68
4.6 Analisis dan apembahasan	69
4.6.1 Analisis hasil pengujian Arduino	70
4.6.2 Analisis Sistem Penggerak	70
4.6.3 Analisis Sistem Deteksi posisi	70
4.6.4 Analisis Sistem Pintu dan indikator	70
4.6.5 Analisis Sistem Regeneratif	71
4.6.2 Analisis Kinerja Keseluruhan Prototype	72

4.7 Analisis Potensi Penghematan pada lift Komersial	73
4.8 Keterbatasan Hasil Perancangan dan Pengujian.....	74
4.9 Pengembangan Sistem.....	75
BAB V.....	76
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84
Daftar Pustaka	85
Lampiran	87

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Arduino Uno	36
Tabel 3.2 Spesifikasi Motor DC	37
Tabel 3.3 IBT-2 Motor Driver.....	38
Tabel 3.4 Spesifikasi Motor Servo	39
Tabel 3.5 Spesifikasi Micro Swith	40
Tabel 3.6 Spesifikasi Push Button Momentary	41
Tabel 3.7 Spesifikasi Modul Relay	42
Tabel 3.8 Spesifikasi Modul Suara ISD1820	43
Tabel 3.9 Spesifikasi BMS 3 S 20 A.....	43
Tabel 3.10 Spesifikasi Kapasitor.....	44
Tabel 3.11 Spesifikasi Baterai Lithium Panasonic	46
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Arduino	62
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Motor Driver IBT-2	63
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Push Button dan Led Indikator	64
Tabel 4.4 hasil Pengujian Limit Switch	64
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Motor Servo	65
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Modul suara	66
Tabel 4.7 hasil Pengujian Relay	67
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Pergerakan Lift Antar lantai	68
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sistem Regeneratif	69
Tabel 4.10 Analisis Potensi Penghematan Energi	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Arduino Uno.....	35
Gambar 3.2 Motor DC	37
Gambar 3.3 IBT-2 Motor Driver.....	38
Gambar 3.4 Motor Servo.....	38
Gambar 3.5 Micro Swith.....	40
Gambar 3.6 Push Button Momentary.....	41
Gambar 3.7 Modul Relay	42
Gambar 3.8 Modul Suara ISD1820.....	42
Gambar 3.9 BMS 3 S 20 A	43
Gambar 3.10 Kapasitor	44
Gambar 3.11 Voltmeter Digital.....	45
Gambar 3.10 Batre Lithium	46
Gambar 3.4.1 Wiring Diagram Prototype Elevator.....	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan teknologi yang semakin pesat, terutama pada hal otomasi pada sistem transportasi vertikal pesawat angkut seperti elevator atau lift. elevator telah menjadi kebutuhan penting di berbagai bangunan bertingkat, baik untuk perkantoran, hotel, apartemen, mall, rumah sakit, maupun perumahan modern. namun demikian, sistem kerja elevator pada umumnya masih sangat bergantung pada suplai daya listrik dari jaringan PLN secara terus-menerus. Pada saat lift bergerak naik maupun turun, energi listrik dikonsumsi secara konstan tanpa adanya proses pemanfaatan kembali energi potensial yang dihasilkan selama pergerakan kabin. hal ini menyebabkan efisiensi energi yang rendah dan peningkatan konsumsi daya listrik bangunan secara keseluruhan.

Meskipun teknologi lift sudah banyak digunakan di berbagai gedung bertingkat, sebagian besar sistem lift konvensional masih memiliki kelemahan dari sisi efisiensi energi. energi listrik digunakan untuk menggerakkan motor pengangkat beban ke atas, namun saat lift bergerak turun, energi potensial yang dihasilkan tidak dimanfaatkan kembali dan hanya terbuang menjadi panas melalui sistem pengereman. akibatnya, konsumsi energi listrik pada sistem lift menjadi sangat besar, terutama di gedung-gedung dengan intensitas penggunaan tinggi seperti rumah sakit, perkantoran, mall, hotel, apartemen dan universitas.

Selain itu, sistem kontrol pada lift konvensional umumnya masih bersifat manual atau semiotomatis tanpa pengaturan cerdas terhadap penggunaan energi. tidak adanya sistem pemantauan konsumsi daya atau manajemen energi yang efisien menyebabkan energi listrik terus terpakai tanpa optimasi. Dalam konteks penghematan energi global, kondisi ini menjadi permasalahan penting yang perlu diperbaiki melalui penerapan teknologi regeneratif dan sistem kontrol cerdas berbasis mikrokontroler. Perkembangan teknologi di era modern saat ini telah mendorong manusia untuk menciptakan berbagai inovasi yang bertujuan meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam kehidupan sehari-hari. salah satu

bidang yang mengalami kemajuan yang sangat pesat adalah bidang otomasi dan kelistrikan. peningkatan kebutuhan energi listrik di sektor industri dan bangunan bertingkat telah menjadi perhatian utama, mengingat konsumsi energi yang terus meningkat setiap tahunnya. di sisi lain, sumber energi fosil yang menjadi penyokong utama pembangkit listrik semakin menipis, sehingga diperlukan solusi yang mampu menekan penggunaan energi listrik tanpa mengurangi kinerja sistem. upaya penghematan energi (energy saving system) menjadi fokus penting dalam pengembangan teknologi berbasis kelistrikan dan otomasi modern.

Salah satu konsep yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah sistem regeneratif .sistem ini bekerja dengan cara mengubah energi mekanik yang dihasilkan saat lift bergerak turun menjadi energi listrik melalui mekanisme generator, kemudian menyimpan energi tersebut untuk digunakan kembali saat lift bergerak naik. konsep serupa telah digunakan pada kendaraan listrik modern yang dikenal dengan istilah regenerative braking system.

Di Indonesia, kebutuhan akan bangunan hemat energi semakin meningkat seiring dengan kebijakan pemerintah yang mendorong penerapan konsep green building. berdasarkan laporan Outlook Energi Indonesia 2022 yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM, sektor bangunan (residensial dan komersial) merupakan salah satu pengguna energi terbesar setelah sektor industri dan transportasi, dengan kontribusi sekitar 20–30% dari total konsumsi energi nasional (KESDM, 2022). di mana sebagian besar energi digunakan untuk sistem penerangan, pendingin ruangan, dan peralatan mekanis seperti lift dan eskalator. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Otis Elevator Company (2018), penerapan sistem regenerative drive pada lift mampu menurunkan konsumsi energi hingga 30–40% dibandingkan sistem konvensional. oleh karena itu, inovasi dalam sistem penghematan energi pada fasilitas bangunan seperti lift sangat penting dikembangkan. implementasi smart lift regeneratif dapat menjadi salah satu langkah nyata dalam mendukung efisiensi energi di lingkungan kampus, perkantoran, hotel, apartemen, mall, maupun gedung bertingkat lainnya, agar terciptanya efisiensi energi yang juga dapat meningkatkan ekonomi

Dalam konteks penelitian ini, sistem regeneratif diimplementasikan pada prototipe lift skala kecil, di mana motor DC digunakan tidak hanya sebagai

penggerak utama. tetapi juga sebagai generator ketika lift bergerak turun. Energi listrik hasil konversi tersebut disimpan dalam superkapasitor, yang memiliki kemampuan penyimpanan dan pelepasan energi secara cepat dibandingkan baterai konvensional. dengan demikian, energi yang sebelumnya terbuang dapat dimanfaatkan kembali untuk membantu pergerakan lift saat naik.

Untuk mengontrol seluruh proses operasi, digunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali sistem. Arduino akan mengatur pergerakan lift ke setiap lantai berdasarkan tombol panggil, mengatur buka-tutup pintu otomatis, serta mengelola proses penyimpanan dan penggunaan energi regeneratif. Dari uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini memiliki dua fokus utama, yaitu efisiensi energi listrik dan otomasi sistem kontrol. Melalui pembuatan prototipe lift regeneratif berbasis Arduino dengan sistem penyimpanan energi superkapasitor, diharapkan dapat dihasilkan model sistem elevator yang hemat energi, inovatif, dan aplikatif untuk skala industri maupun pada tempat umum.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan energi listrik pada sistem lift konvensional masih belum efisien karena energi potensial yang dihasilkan saat gerak turun tidak dimanfaatkan kembali. Padahal, di tengah meningkatnya kebutuhan energi listrik dan tuntutan penghematan daya, penerapan sistem yang mampu melakukan energy recovery menjadi sangat penting. teknologi regenerative lift menawarkan solusi inovatif untuk mengonversi energi yang biasanya terbuang menjadi energi listrik yang bermanfaat, sehingga dapat menurunkan konsumsi daya secara keseluruhan. selain aspek penghematan energi, pengembangan sistem smart control berbasis mikrokontroler juga memiliki peran penting dalam mewujudkan operasi lift yang efisien, aman, dan otomatis.

Berdasarkan literatur industri (Otis ReGen Drive, 2015; Schneider Electric, 2020), energi regeneratif pada lift umumnya dikembalikan ke jaringan atau dibuang melalui resistor, sehingga pemanfaatannya belum maksimal, maka dari itu dengan menggabungkan kedua konsep tersebut, sistem Smart lift regeneratif diharapkan mampu memberikan efisiensi penggunaan energi listrik sekaligus mendukung konsep green technology di bidang otomasi bangunan. oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun sistem Smart lift

regeneratif dengan sistem penghematan energi, sebagai langkah nyata dalam mendukung efisiensi energi nasional dan pembangunan berkelanjutan.

Selain aspek lingkungan, pengembangan prototype smart regenerative lift juga memiliki nilai akademik dan edukatif yang tinggi. Sistem ini dapat menjadi model pembelajaran interaktif dalam bidang teknik elektro dan mekatronika, karena melibatkan integrasi antara sistem mekanik, kelistrikan, dan kontrol otomatis. melalui pembuatan prototipe skala kecil, mahasiswa dapat memahami prinsip kerja sistem energi regeneratif, pengendalian motor, dan penerapan logika otomasi berbasis mikrokontroler. hal ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan penelitian lanjutan, seperti penerapan algoritma kontrol PID, optimasi efisiensi energi dengan machine learning, atau integrasi sistem monitoring berbasis IoT.

Berdasarkan berbagai pertimbangan di atas, penelitian dengan judul “Rancang Bangun Miniatur Smart Lift Regeneratif dengan Sistem Penghematan Energi” menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk membuktikan konsep dasar pemanfaatan energi regeneratif pada sistem lift, tetapi juga untuk merancang prototipe sistem yang dapat menjadi acuan bagi pengembangan teknologi serupa dalam skala industri. hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap efisiensi energi, mendukung penerapan teknologi hijau, serta memberikan manfaat akademik sebagai bahan pembelajaran dan pengembangan inovasi di bidang otomasi sistem kelistrikan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada pembuatan prototipe semata, tetapi juga pada bagaimana konsep energi regeneratif dapat diimplementasikan secara efektif pada sistem otomasi berbasis mikrokontroler. Melalui rancangan miniatur smart lift regeneratif ini diharapkan juga dapat menjadi solusi awal dalam upaya meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, kontribusi nyata dalam mendukung program pemerintah terkait efisiensi energi.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana merancang dan membangun prototipe smart lift regeneratif berbasis mikrokontroler Arduino yang mampu bekerja secara otomatis untuk setiap lantai ?
2. Bagaimana cara mengonversi energi mekanik yang dihasilkan saat lift bergerak turun menjadi energi listrik yang dapat disimpan ?
3. Sejauh mana penerapan sistem regeneratif dan kontrol otomatis pada prototipe lift ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang didapat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membangun prototipe smart lift regeneratif berbasis mikrokontroler Arduino yang dapat beroperasi secara otomatis per lantai dengan sistem kontrol cerdas.
2. Mengimplementasikan sistem regeneratif yang mampu mengonversi energi mekanik dari pergerakan turun lift menjadi energi listrik,
3. Menghasilkan model miniatur lift yang dapat dijadikan referensi pengembangan teknologi elevator modern pada skala industri, pendidikan, maupun riset teknologi terapan.

1.4 Ruang lingkup penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Skala penelitian

Penelitian dilakukan pada skala miniatur/prototipe, bukan sistem elevator skala industri atau komersial. Fokus utama adalah pada prinsip kerja dan meregeneratif energi dan di simpan pada kapasitor, bukan kekuatan mekanik beban nyata.

2. Sistem Kendali

Sistem kontrol menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pengendali, dengan tombol panggil per lantai, sistem logika kontrol otomatis, serta sensor posisi dan pintu.

3. Sistem Penggerak dan Regeneratif

Motor DC digunakan sebagai aktuator penggerak utama dan sebagai generator saat lift bergerak turun. Energi listrik hasil regenerasi disimpan pada kapasitor yang dapat di lihat (monitoring) melalui voltmeter.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik dari segi akademik maupun praktis, antara lain sebagai berikut:

1. Manfaat Akademik

- a) Memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya pada penerapan sistem regeneratif dan manajemen energi berbasis mikrokontroler.
- b) Menjadi referensi penelitian lanjutan bagi mahasiswa atau peneliti lain yang ingin mengembangkan sistem otomasi hemat energi pada elevator maupun sistem transportasi vertikal lainnya.
- c) Menambah pemahaman tentang penerapan kapasitor sebagai media penyimpanan energi alternatif

2. Manfaat Praktis

- a) Memberikan gambaran nyata mengenai penerapan konsep energy recovery pada sistem lift melalui model prototipe yang dapat diimplementasikan untuk riset skala industri.
- b) Menjadi Refrensi dalam perancangan sistem elevator hemat energi yang mendukung konsep green building dan efisiensi energi nasional.
- c) Dapat digunakan sebagai media pembelajaran dan praktikum di lingkungan akademik, untuk memperkenalkan teknologi kontrol otomatis dan sistem regeneratif kepada mahasiswa teknik elektro.

3. Manfaat Sosial dan Lingkungan

- a) Mendukung upaya penghematan energi listrik serta mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil.

- b) Berkontribusi terhadap pengembangan teknologi yang ramah lingkungan (eco-friendly) dan berorientasi pada keberlanjutan (*sustainable development*).

BAB 2

TIJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian mengenai pemanfaatan energi terbuang telah banyak dilakukan. Benny Oktrialdi *et al.* merancang sistem energi alternatif menggunakan panas radiator mobil dengan modul Thermoelectric Generator (TEG) yang mampu menghasilkan tegangan 12 V DC dan setelah melalui inverter dapat menyalakan beban AC 220 V [1].

Selanjutnya, Penelitian yang dilakukan oleh Fazri Sunardi Desky, Surya Hardi, Rohana, dan Muchsin Harahap pada tahun 2022 berjudul “Intensitas Konsumsi Energi Listrik dan Analisa Peluang Hemat Energi pada Gedung A, B dan M di Kampus Universitas Pembangunan Panca Budi”. Penelitian Rohana dkk. menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik pada suatu bangunan dapat dianalisis berdasarkan data konsumsi energi sehingga dapat diketahui peluang untuk melakukan efisiensi[2].

Penelitian lain oleh E. S. Nasution *et al.* membahas perancangan PLTS berkapasitas 50 WP dengan pendekatan perhitungan kebutuhan energi dan sizing komponen. Metode ini menjadi dasar dalam menentukan kapasitas penyimpanan energi pada sistem lift regeneratif yang dirancang penulis [3].

Sistem penyimpanan energi berbasis baterai lithium-ion telah banyak dikaji dalam konteks pemanfaatan energi regeneratif. Hybrid energy storage system yang menggabungkan superkapasitor dengan baterai Li-ion menunjukkan strategi pengelolaan energi regeneratif serta optimasi peak power dan umur baterai pada aplikasi traksi DC 3 kV. Analisis efisiensi transfer energi pada sistem regenerative braking juga diperluas dengan penggunaan dual supply (baterai dan ultracapacitor), yang menunjukkan peningkatan efisiensi pemulihan energi Selain itu, studi terhadap integrasi baterai lithium-ion dan superkapasitor untuk menangkap energi dari braking serta getaran memberikan dasar konseptual bahwa energi mekanik dapat disimpan secara efektif dalam baterai.

Kajian literatur sistem penyimpanan energi di Indonesia menegaskan peran penting baterai sebagai komponen utama dalam sistem energi terbarukan,

termasuk teknologi lithium-ion yang memiliki densitas energi tinggi dan performa baik . Studi penerapan baterai 18650 menunjukkan bahwa sel Li-ion dapat dibuat menjadi paket baterai yang efektif untuk penyimpanan energi listrik dalam berbagai aplikasi [4].

Penelitian sistem lift berbasis mikrokontroler telah banyak di lakukan sebagai bentuk penerapan otomasi pada system transfortasi vertical. Adriansyah dan hidayatama (2013) merancang prototipe elevator otomatis berbasis Arduino Uno yang mampu melayani pemanggilan lantai menggunakan tombol dan sensor posisi. sistem ini menunjukkan bahwa Arduino cukup andal di gunakan sebagai pengendali utama system lift skla kecil .namun penelitian tersebut masih berfokus pada aspek fungsional dan belum membahas efisiensi energi. Widiastrio dan prasetya (2017) mengembangkan miniatur lift otomatis sebagai media pembelajaran system control. penelitian ini menitik beratkan pada logika control, sinkronisasi motor, serta keakuratan sensor batas. hasil penelitian menunjukkan system bekerja dengan baik [5] tetapi belum mengintegrasikan system manajemen energi maupun teknologi regneratif .

Penelitian pada system regenerative Bracking pada Elevator telah banyak di terapkan pada industry. Peng Gao al (2016) menjelaskan bahwa energi regenerative yang di hasilkan saat lift bergerak turun ataunaik tanpa beban dapat di konversi menjadi energi listrik .namun ,pada praktik energi ini di kembalikan ke jaringan listrik atau di buang melalui resistor pengereman. otis company (2015) melalui teknologi Regen Drive melaporkan bahwa system regenerative Drive mampu mengurangi konsumsi energi 30-40% meskipun demikian , pemanfaatan energi masih bergantung pada kondisi jaringan listrik bangunan [6].

Berdasarkan kajian pustaka yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa berbagai penelitian sebelumnya telah membahas sistem elevator otomatis berbasis mikrokontroler serta penerapan penyimpanan energi menggunakan baterai lithium-ion Namun demikian, masih terdapat peluang pengembangan khususnya pada integrasi sistem elevator dengan pemanfaatan energi regeneratif yang disimpan ke dalam baterai sebagai upaya peningkatan efisiensi energi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan merealisasikan sistem

prototipe elevator yang dilengkapi dengan mekanisme regenerative energy storage menggunakan baterai lithium-ion.

2.2 Landasan Teori

Smart Lift Regeneratif merupakan sistem transportasi vertikal yang mengintegrasikan teknologi kontrol cerdas dengan sistem penggerak regeneratif untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja energi pada lift. Sistem ini tidak hanya berfungsi untuk mengatur pergerakan kabin secara otomatis berdasarkan input pengguna dan kondisi operasi, tetapi juga mampu memanfaatkan kembali energi yang dihasilkan ketika motor lift bekerja dalam kondisi regeneratif.

2.2.1 Pengertian Elevator

Perkembangan teknologi bangunan bertingkat tidak dapat di pisahkan dari kemajuan system transfortasi vertical. Elevator telah menjadi komponen vital dalam bangunan modern karena berperan langsung dalam efisiensi mobilitas manusia dan barang. Pada tahap awal, sistem lift masih bersifat sederhana dan mengandalkan mekanisme mekanik murni. namun, seiring berkembangnya teknologi kelistrikan dan otomasi, elevator mengalami transformasi menjadi system elektro-mekanik yang kompleks dan terintegrasi.

Pada era modern, pengembangan elevator tidak hanya di fokuskan pada aspek keselamatan dan keandalan, tetapi juga pada efisiensi energi, kenyamanan pengguna, serta penerapan system control cerdas. Hal ini di dorong oleh meningkatnya kebutuhan energi global serta tuntutan penerapan konsep bangunan hijau (green building)yang menekankan efisiensi dan keberlanjutan energi. Elevator merupakan system pengangkut vertical yang bekerja dengan memanfaatkan energi listrik yang menggerakkan kabin naik turun melalui suatu sistem mekanisme penggerak. Fungsi utama elevator adalah memindahkan beban secara vertikal denga aman, cepat, dan efisien. Dalam konteks bangunan bertingkat, elevator menjadi solusi utama di bandingkan system tangga karena mampu menghemat waktu dan tenaga. Sementara itu elevator diklasifikasin secara umum berdasarkan :

1. Jenis penggerak (hidrolik, traksi, screw)
2. Jenis beban (penumpang barang)
3. Sistem control (manual, semi otomatis, otomatis)
4. Sistem energi (konvensional dan regneratif)

Dan penelitian itu termasuk dalam kategori elevator traksi dengan sistem regneratif, yang memanfaatkan energi potensial selama pergerakan turun dan menggunakan energi yang tersimpan untuk kebutuhan operasional lift maupun komponen – komponen pendukung operasional lift misalnya untuk menghidupkan lampu, dan kebutuhan lainnya, agar elevator dapat menghemat energi yang telah di konversi saat elevator turun. Energi di konfersi melalui sitem mekanik motor agar energi dapat di gunakan Kembali[7].

2.2.2 Perinsip Fisika pada system Lift

Lift bekerja berdasarkan prinsip energi potensial gravitasi. Energi potensial ini bergantung pada masa dan ketinggian beban. Ketika lift bergerak turun, energi potensial akan berubah menjadi energi mekanik berupa putaran pada system transmisi pada poros motor. Dalam sistem konvensional, energi mekanik ini umumnya di buang melalui sistem pengereman. namun pada system regneratif, energi tersebut dapat di konversi kembali menjadi energi listrik .Pergerakan kabin melibatkan interaksi gaya antara kabin, counterweight, dan motor. Dan juga system control.

Secara umum, sitem elevator terdiri dari beberapa komponen utama,yaitu :

1.Car (kabin lift)

Merupakan ruang tempat penumpang atau barang berada. Kabin bergerak naik dan turun mengikuti rel pemandu (guide rail)

2 Counterweight (cwt)

Beban penyeimbang yang berfungsi mengurangi beban kerja motor. Biasanya massanya mendekati massa kabin +40-50% beban maksimum

3 Hoisting Mechine (motor & gearbox)

Berfungsi sebagai penggerak utama sistem. Pada elevator modern, di gunakan motor listrik yang di kombinasikan dengan sistem control kecepatan.

4 Sheave dan Rope

Di gunakan untuk meneruskan gaya dari motor ke kabin dan counterweight.

5 Sistem Control

Mengatur arah, kecepatan, perlambatan, dan pemberhentian lift. Pada penelitian ini di representasikan oleh mikrokontroler.

6 Sistem Pengereman

Menjaga keamanan dengan menghentikan lift saat kondisi darurat atau saat lift berhenti di lantai tertentu. atau saat lift mengalami kegagalan system

2.2.3 Car (kabin lift)

Kabin lift merupakan komponen utama dalam sistem elevator yang berfungsi sebagai ruang angkut penumpang atau barang dari satu lantai ke lantai lainnya. Kabin bergerak secara vertikal di dalam shaft (ruang luncur lift) dengan bantuan sistem penggerak berupa motor, pulley, dan tali baja (rope system). Dalam sistem elevator modern maupun prototipe skala mini, kabin menjadi elemen mekanik yang secara langsung menerima gaya angkat, gaya gravitasi, serta beban tambahan dari penumpang atau muatan. Secara konstruksi, kabin lift dirancang agar memiliki kekuatan struktural yang cukup untuk menahan beban maksimum yang diizinkan, sekaligus menjaga stabilitas dan kenyamanan selama pergerakan. Pada sistem lift konvensional, kabin umumnya terbuat dari rangka baja ringan atau baja struktural dengan dinding panel pelindung. Sementara pada prototipe miniatur, material yang digunakan dapat berupa akrilik, aluminium, kayu ringan, atau kombinasi bahan lainnya yang tetap mempertimbangkan kekuatan dan berat total sistem.

Dalam perancangan kabin lift, terdapat beberapa aspek teknis yang perlu diperhatikan, yaitu kapasitas beban, distribusi massa, sistem pemandu (guide rail), serta mekanisme penggantung (suspension system). Kapasitas beban menentukan gaya total yang harus diangkat oleh motor penggerak. Semakin besar massa kabin dan muatan, maka semakin besar pula torsi yang dibutuhkan motor untuk menggerakkan sistem. Oleh karena itu, desain kabin harus mempertimbangkan rasio antara berat kabin dan kemampuan motor agar sistem dapat bekerja secara optimal dan efisien.

Selain aspek mekanik, kabin lift juga berkaitan erat dengan sistem keselamatan. Pada lift konvensional, kabin dilengkapi dengan sistem rem darurat, governor, dan safety gear untuk mencegah jatuh bebas apabila terjadi kegagalan sistem penggerak. Pada prototipe skala mini, sistem keselamatan dapat direpresentasikan dalam bentuk limit switch atas dan bawah untuk membatasi gerakan agar tidak melebihi lintasan yang dirancang. Limit switch tersebut berfungsi sebagai sensor posisi yang mengirimkan sinyal ke mikrokontroler untuk menghentikan motor ketika kabin mencapai batas tertentu.

2.2.4 Counterweight (cwt)

Counterweight merupakan bagian penting dalam sistem lift traksi. Tujuan utama penggunaan counterweight adalah untuk menyeimbangkan massa kabin sehingga motor tidak bekerja secara berlebihan, dengan adanya counterweight, konsumsi energi listrik motor dapat di kurangi secara signifikan. Selain itu, pada saat lift bergerak turun, counterweight berperan dalam menghasilkan kondisi yang memungkinkan terjadinya proses regeneratif. Dalam penelitian ini, counterweight di gunakan untuk mensimulasikan system keseimbangan pada lift nyata dalam skala prototipe.

Berdasarkan penjelasan di atas dapat di simpulkan bahwa sistem elevator merupakan sistem elektro-mekanik yang melibatkan interaksi antara komponen mekanik, menjadi energi listrik, dan sistem kontrol. Konsep counterweight, motor listrik, sistem transmisi pulley-rope, serta prinsip regeneratif braking menjadi dasar utama dalam pengembangan elevator yang efisien secara energi. Pemanfaatan energi regeneratif melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik membuka peluang pengurangan konsumsi energi listrik pada system elevator, khususnya pada bangunan bertingkat. Oleh karena itu landasan teori ini menjadi acuan penting dalam perancangan dan pembuatan prototipe elevator regeneratif pada penelitian ini, yang mengintegrasikan sistem control berbasis mikrokontroler, mekanisme elevator sederhana serta sistem penyimpanan energi sebagai bentuk implementasi nyata dari konsep – konsep teoritis yang telah di bahas[8].

Untuk merealisasikan konsep elevator regneratip serta menganalisis juga mengetahui apa yang telah di bahas pada landasan teori, di perlukan sebuah penelitian agar dapat mengetahui bagaimana system ini dapat bekerja sesuai dengan judul penelitian. Maka dari itu penulis mewujudkan dalam bentuk prototipe. Dan untuk membuat Prototipe tersebut di perlukan komponen - komponen, yang saling terintegrasi, baik dari sisi mekanik, elektrik, maupun system control. Jika massa kabin sama dengan massa counterweight, maka gaya yang diperlukan sangat kecil dan motor hanya bekerja untuk mengatasi gesekan serta inersia sistem. Oleh karena itu, penggunaan counterweight sangat efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem elevator. counterweight elemen penting dalam efisiensi energi dan sistem regeneratif pada elevator.

2.2.5 Hoisting machine

mesin pengangkat merupakan komponen utama dalam sistem elevator yang berfungsi sebagai penggerak kabin lift secara vertikal. Mesin ini bertugas menghasilkan gaya angkat yang cukup untuk mengatasi berat kabin, beban penumpang, serta gaya gesekan yang terjadi pada sistem mekanik. Dalam sistem lift konvensional, hoisting machine terdiri dari motor listrik, pulley (sheave), sistem transmisi, serta mekanisme pengereman. Pada sistem prototipe skala mini, prinsip kerjanya tetap sama namun dengan komponen yang lebih sederhana. Secara prinsip, hoisting machine bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros motor. Putaran ini kemudian diteruskan ke pulley yang terhubung dengan tali baja atau kabel (wire rope). Ketika pulley berputar, kabel akan bergerak sehingga kabin lift dapat naik atau turun. Besarnya gaya angkat yang dihasilkan sangat bergantung pada torsi motor dan diameter pulley yang digunakan. Semakin besar diameter pulley, maka semakin besar perpindahan linear kabin untuk setiap satu putaran motor, namun kebutuhan torsi juga meningkat.

Dalam sistem elevator modern, hoisting machine umumnya menggunakan motor AC dengan sistem kontrol inverter (Variable Frequency Drive/VFD) untuk mengatur kecepatan dan torsi secara presisi. Sistem ini memungkinkan pergerakan kabin menjadi lebih halus (smooth starting dan smooth stopping) sehingga

meningkatkan kenyamanan penumpang. Sedangkan pada prototipe smart lift regeneratif, biasanya digunakan motor DC karena lebih mudah dikendalikan menggunakan mikrokontroler seperti Arduino. Motor DC juga memungkinkan implementasi sistem regeneratif, di mana motor dapat berfungsi sebagai generator ketika kabin bergerak turun akibat gaya gravitasi.

Dengan demikian, hoisting machine merupakan elemen vital dalam sistem elevator karena menentukan kemampuan angkat, kestabilan pergerakan, serta potensi penerapan sistem regeneratif. Perancangan yang tepat akan meningkatkan performa sistem, efisiensi energi, serta mendukung tujuan penelitian dalam mengembangkan smart lift dengan sistem penghematan energi. Perancangan hoisting machine pada penelitian ini mempertimbangkan efisiensi, kapasitas beban, kecepatan angkat, serta integrasi dengan sistem kontrol berbasis mikrokontroler. Pemilihan motor DC yang sesuai.

2.2.6 Sheave dan Rope

Sheave adalah roda beralur (grooved wheel) yang digunakan untuk menuntun dan mentransmisikan gaya pada tali baja (rope) dalam sistem elevator. Pada elevator traksi, sheave utama disebut traction sheave yang terhubung langsung dengan motor penggerak. Putaran motor akan memutar sheave sehingga rope bergerak dan mengangkat atau menurunkan kabin. Secara umum, sheave dibuat dari baja cor atau baja paduan yang memiliki kekuatan tinggi dan ketahanan aus yang baik. Permukaan alur sheave dirancang sedemikian rupa agar sesuai dengan diameter rope sehingga kontak gesek dapat terjadi secara optimal. Desain alur yang tepat akan meningkatkan efisiensi traksi dan mengurangi kemungkinan slip.

Prinsip kerja sheave didasarkan pada gaya gesek antara rope dan permukaan alur sheave. Ketika motor memutar traction sheave, rope yang melilit pada sheave akan ikut bergerak karena adanya gaya gesek. Besarnya kemampuan traksi dipengaruhi oleh koefisien gesek dan sudut lilitan rope pada sheave. Secara teoritis, hubungan tegangan pada rope mengikuti persamaan Euler-Eytelwein: Sementara Rope pada elevator adalah tali baja (wire rope) yang berfungsi sebagai media penyalur gaya antara kabin, counterweight, dan sheave. Wire rope tersusun

dari kawat baja kecil (wire) yang dipilin menjadi strand, kemudian beberapa strand dipilin kembali mengelilingi inti (core).

Berdasarkan jenis intinya, rope elevator dibedakan menjadi:

- a) Fiber Core (FC)
- b) Independent Wire Rope Core (IWRC)

Rope dengan inti baja (IWRC) umumnya memiliki kekuatan dan ketahanan kelelahan yang lebih tinggi dibandingkan fiber core. Sheave dan rope merupakan komponen fundamental dalam sistem elevator tipe traksi. Sheave berfungsi sebagai elemen penggerak berbasis gesekan, sedangkan rope berfungsi sebagai penyalur dan penopang beban. Kinerja elevator sangat bergantung pada desain yang tepat, pemilihan material yang sesuai, serta pemeliharaan berkala terhadap kedua komponen tersebut. Dengan perancangan yang baik, sistem elevator dapat beroperasi secara efisien, aman, dan memiliki umur pakai yang panjang.

2.2.7 Sistem Control

Sistem kontrol merupakan bagian vital dalam sistem kerja elevator karena berfungsi mengatur seluruh proses operasional, mulai dari pemanggilan lantai, pengaturan kecepatan, pembukaan dan penutupan pintu, hingga sistem keselamatan. Tanpa sistem kontrol yang baik, elevator tidak dapat beroperasi secara efisien, aman, dan terkoordinasi. Oleh karena itu, sistem kontrol menjadi pusat pengendali yang mengintegrasikan komponen mekanik, elektrik, dan elektronik dalam satu kesatuan sistem otomatis. Sistem kontrol elevator adalah sistem yang mengatur pergerakan kabin berdasarkan input dari pengguna dan sensor-sensor yang terpasang. Sistem ini menerima sinyal dari tombol panggil (hall button), tombol di dalam kabin (car operating panel), sensor posisi, sensor pintu, serta perangkat keselamatan, kemudian memprosesnya melalui unit pengendali untuk menentukan aksi yang harus dilakukan.

Pada elevator modern, sistem kontrol umumnya menggunakan mikrokontroler, PLC (Programmable Logic Controller), atau sistem berbasis komputer untuk mengatur logika operasional. Sistem kontrol merupakan pusat

pengendali utama dalam operasi elevator. Sistem ini mengintegrasikan input dari pengguna dan sensor untuk mengatur gerakan kabin secara otomatis dan aman. Dengan penerapan teknologi digital dan sistem kontrol tertutup (closed-loop control), elevator modern mampu beroperasi secara lebih efisien, responsif, dan memiliki tingkat keselamatan yang tinggi. Sistem kontrol modern menggunakan prinsip closed-loop control, yaitu sistem yang memanfaatkan umpan balik (feedback) dari sensor untuk memastikan posisi dan kecepatan sesuai dengan perintah. Digunakan pada gedung bertingkat tinggi dengan beberapa elevator. Sistem ini mengatur pembagian tugas antar elevator

Jenis Sistem Kontrol Elevator

1. Single Automatic Control

Digunakan pada elevator sederhana dengan satu kabin dan kapasitas kecil.

2. Collective Control

Elevator melayani beberapa permintaan sekaligus dalam satu arah sebelum berbalik arah.

3. Group Control System

2.2.8 Sistem Pengereman

Sistem pengereman merupakan salah satu komponen keselamatan paling penting dalam elevator. Fungsi utama sistem ini adalah menghentikan dan menahan posisi kabin secara aman baik dalam kondisi operasi normal maupun keadaan darurat. Tanpa sistem pengereman yang andal, elevator berpotensi mengalami pergerakan tak terkendali yang dapat membahayakan penumpang dan peralatan. Oleh karena itu, sistem pengereman selalu dirancang dengan standar keselamatan yang tinggi dan dilengkapi dengan mekanisme redundansi.

Sistem pengereman pada elevator memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

- a) Menghentikan kabin pada posisi lantai yang tepat.
- b) Menahan kabin agar tetap diam saat berhenti.
- c) Mengamankan elevator saat terjadi gangguan listrik.
- d) Bekerja sebagai bagian dari sistem keselamatan darurat.
- e) Membantu mengontrol perlambatan saat operasi normal.

Fungsi-fungsi tersebut menjadikan rem sebagai komponen kritis dalam desain elevator. Rem elevator umumnya bekerja berdasarkan gaya gesek antara kampas rem dan permukaan piringan atau drum rem. Dalam kondisi normal, rem ditahan oleh pegas (spring applied). Ketika elevator akan bergerak, kumparan elektromagnet (brake coil) diberi arus sehingga menarik tuas rem dan melepaskan kampas dari piringan.

Jenis-Jenis Sistem Pengereman Elevator

1. Electromagnetic Brake

Merupakan jenis yang paling umum digunakan. Rem bekerja dengan bantuan elektromagnet untuk membuka rem saat motor beroperasi.

2. Drum Brake

Menggunakan drum dan sepatu rem, biasanya pada elevator lama.

3. Disc Brake

Menggunakan piringan rem, banyak digunakan pada elevator modern karena respons lebih cepat dan pendinginan lebih baik.

4. Safety Gear (Emergency Brake)

Dengan integrasi yang baik antara komponen mekanik, elektrik, dan sistem kontrol, sistem regeneratif pada elevator mampu meningkatkan efisiensi energi secara signifikan. Penerapan teknologi ini tidak hanya mengurangi konsumsi daya listrik, tetapi juga mendukung konsep bangunan hemat energi (green building). Oleh karena itu, pemahaman menyeluruh mengenai hubungan antar komponen dalam sistem regeneratif sangat penting dalam perancangan elevator modern.

Pada bagian berikut akan di jelaskan secara umum masing masing komponen yang akan digunakan juga beserta fungsi dan kontribusinya terhadap kinerja sistem smart elevator regeneratif dengan secara keseluruhan. Adapun komponen – komponen yang di gunakan dalam penelitian skala prototipe ini yakni sebagai berikut :

1. Struktur mekanik prototipe elevator,
2. Motor dc gearbox
3. kabin (CAR)
4. Polley dan Rope
5. counterweight

6. battery
7. system control Arduino
8. push Button
9. limit Swith
10. Bridge
11. IBT-2 Motor Driver
12. Buzzer/Modul suara **ISD1820** ,
13. Relay Module ,
14. BMS 3S 20 A ,
15. Bridge Rectifier,
16. Kapasitor 470 μ F/25 V ,
17. Voltmeter
18. Motor servo SG90

1. Struktur Mekanik Prototipe Elevator

Struktur mekanik prototipe merupakan rangka fisik yang berfungsi sebagai penopang dan pengarah seluruh komponen system elevator. Struktur ini dirancang untuk merepresentasikan system elevator sebenarnya dalam skala kecil, namun tetap mempertahankan prinsip kerja mekanik yang sama, seperti pergerakan vertikal kabin, sistem penyeimbang, transmisi gaya melalui pulley dan rope. Pada prototipe ini, struktur mekanik tidak hanya berperan sebagai penyangga, tetapi juga sebagai elemen utama yang memungkinkan terjadinya proses regenerative, yaitu konversi energi listrik saat lift bergerak turun.

Rangka utama merupakan struktur vertikal yang berfungsi sebagai :

- a) Penopang seluruh komponen mekanik
- b) Jalur pergerakan kabin dan counterweight
- c) Penentu jarak antar lantai pada prototipe

2. Motor DC Gearbox

Motor DC gearbox merupakan komponen utama dalam pergerakan elevator yang berfungsi sebagai penggerak sistem sekaligus sebagai pembangkit energi listrik pada kondisi tertentu. Motor ini dipilih karena memiliki karakteristik torsi

besar dan kecepatan putar yang relative rendah, sehingga sesuai untuk aplikasi system lift skala prototipe yang membutuhkan kestabilan dan control pergerakan yang sangat akurat.

Secara prinsip, motor DC bekerja berdasarkan interaksi antara medan magnet dan arus listrik yang mengalir pada kumparan, sehingga menghasilkan gaya Lorentz yang menyebabkan rotor berputar. Ketika motor DC di beri tegangan listrik, energi listrik akan di konversi menjadi energi mekanik berupa putaran poros motor. Sebaliknya jika apabila poros motor di putar oleh gaya luar, maka motor DC dapat menghasilkan tegangan listrik, sehingga berfungsi sebagai generator. Perinsip kerja inilah yang di manfaatkan dalam sistem elevator regenerative.

Pada prototipe elevator ini, motor DC gearbox di gunakan dalam dua kondisi operasi. Kondisi pertama adalah saat lift bergerak naik, diman motor DC berfungsi sebagai motor penggerak utama. Arduino sebagai system control memberikan tegangan dan sinyal kendali ke motor melalui driver motor, sehingga motor menghasilkan torsi untuk mengangkat kabin lift. Gearbox yang terpasang pada motor berfungsi untuk menurunkan kecepatan putar sekaligus meningkatkan torsi, sehingga motor mampu mengangkat beban kabin dengan lebih stabil dan efisien

Kondisi kedua adalah saat lift bergerak turun dengan beban yang lebih berat di bandingkan counterweight. Pada kondisi ini, gaya gravitasi menyebabkan kabin bergerak turun dan memutar system pulley. Putaran pulley ini selanjutnya memutar poros DC gearbox tanpa suplay tegangan dari sumber listrik. Dalam kondisi tersebut, motor DC bekerja sebagai generator, yaitu mengubah energi mekanik hasil pergerakan lift menjadi energi listrik. Energi listrik yang di hasilkan ini di sebut sebagai regeneratif.

Motor DC gearbox yang di gunakan pada prototipe ini memiliki tegangan kerja 12 V DC dengan diameter poros 6 mm. motor ini di lengkapi dengan gearbox logam yang mampu memberikan torsi cukup besar untuk menggerakkan system lift skala kecil. Pemilihan motor DC gearbox tipe ini berdasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain kemudahan pengendalian kecepatan menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM) ketersediaan komponen di

pasaran, serta kemampuannya untuk beroperasi sebagai generator tanpa memerlukan komponen tambahan.

Selain itu, penggunaan satu motor DC yang berfungsi ganda sebagai motor dan generator memberikan keuntungan dari sisi desain system. System menjadi lebih sederhana, ringkas dan ekonomis karena tidak memerlukan generator terpisah. Hal ini sejalan juga dengan tujuan penelitian, yaitu mengkaji konsep regenerative braking pada system elevator melalui prototipe yang sederhana namun fungsional. Dengan demikian, motor DC gearbox memiliki peran yang sangat penting dalam prototipe elevator regeneratif ini, motor tidak hanya sebagai penggerak utama lift, tetapi juga sebagai komponen utama dalam proses pembangkitan energi regenerative. Nah untuk menghitung seberapa besar gaya yang akan di angkat motor penulis menggunakan rumus :

$$F_{motor} = (m_{car} - m_{cw}) \cdot g$$

Keterangan:

- a) F_{motor} = Gaya efektif yang harus dihasilkan motor (N)
- b) m_{car} = Massa total kabin + beban (kg)
- c) m_{cw} = Massa counterweight (kg)
- d) g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

3. Kabin (car)

Kabin atau car merupakan komponen utama dalam system elevator yang berfungsi sebagai ruang angkut beban, baik berupa barang maupun representasi penumpang pada skala prototipe. Dalam prototipe elevator regeneratif ini, kabin di rancang sebagai model skala kecil yang merepresentasikan fungsi dan karakteristik kabin lift pada system elevator sebenarnya, dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan, kestabilan, dan kesesuaian terhadap tujuan penelitian.

Secara umum, kabin lift bergerak secara vertical mengikuti rel pemandu dan di hubungkan dengan system rope yang terpasang pada polley. Pergerakan kabin di kendalikam oleh motor penggerak melalui system transmisi mekanik, serta di seimbangkan oleh counterweight. Dala kontek elevator regenerative, pergerakan kabin memiliki peran penting karena masa beban kabin dan beban

yang di bawanya akan mempengaruhi besar energi mekanik yang dapat di konversi Kembali menjadi energi listrik saat lift bergerak turun.

Pada prototipe ini kabin lift di hubungkan dengan rope melalui titik pengait yang terletak di bagian atas kabin, pengait ini di rancang agar mampu menahan beban kabin secara stabil dan mendistribusikan gaya Tarik secara merata. Dengan konfigurasi ini, gaya yang bekerja pada kabin dapat di teruskan dengan baik ke system pulley dan motor DC gearbox. Dalam system regenerative, massa kabin memiliki pengaruh langsung terhadap proses pembangkitan energi. Saat kabin bergerak turun dengan beban yang lebih besar di bandingkan counterweight, energi potensial gravitasi kabin akan di ubah menjadi energi mekanik melalui system pulley.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat di simpulkan bahwa kabin lift pada prototipe elevator regenerative tidak hanya berfungsi sebagai pembawa beban, tetapi juga sebagai elemen utama yang mempengaruhi kinerja mekanik dan proses konversi energi. Dengan system control memungkinkan prototipe elevator regenerative ini beroperasi secara efektif serta mendukung tujuan penelitian dalam mengkaji pemanfaatan energi regenerative pada system elevator

Dalam sistem elevator, berat car total adalah penjumlahan antara berat kabin kosong dan beban penumpang (atau beban angkut). Maka rumus yang umum di gunakan untuk menghitungnya adalah :

$$m_{car, total} = m_{car, empty} + m_{load}$$

Keterangan:

- a) $m_{car, total}$ = massa total kabin (kg)
- b) $m_{car, empty}$ = massa kabin kosong (kg)
- c) m_{load} = massa beban angkut (kg)

dengan rumus di atas maka berat kabin yang di butuhkan bisa di dapatkan

4. Counterweigh

Dalam sistem elevator tipe traksi, counterweight merupakan salah satu komponen mekanis utama yang berfungsi menyeimbangkan beban kabin. Penggunaan counterweight bertujuan untuk mengurangi beban kerja motor, meningkatkan efisiensi energi, serta memperhalus pergerakan elevator. Pada

perancangan prototipe elevator, prinsip kerja counterweight tetap mengacu pada sistem elevator sebenarnya, meskipun dalam skala yang lebih kecil.

Counterweight adalah massa penyeimbang yang dihubungkan dengan kabin elevator melalui wire rope yang melilit pada traction sheave. Counterweight bergerak berlawanan arah dengan kabin di dalam shaft. Ketika kabin naik, counterweight turun, dan sebaliknya. Secara prinsip, counterweight tidak dibuat sama dengan berat kabin maksimum, melainkan mengikuti rumus keseimbangan tertentu agar sistem bekerja efisien.

Counterweight merupakan komponen penting dalam sistem elevator yang berfungsi sebagai penyeimbang beban kabin. Pada prototipe elevator berbasis sistem regeneratif, counterweight tidak hanya berperan dalam efisiensi mekanis tetapi juga dalam menciptakan kondisi pembangkitan energi. Oleh karena itu, pemilihan dan pengaturan massa counterweight harus dirancang secara tepat agar prototipe dapat bekerja stabil, efisien, dan mampu mendemonstrasikan efek regeneratif dengan baik. Pada prototipe elevator yang menggunakan konsep regeneratif, counterweight memiliki peran yang sangat penting.

Pada elevator traksi, counterweight dirancang untuk menyeimbangkan sebagian beban kabin agar kerja motor lebih efisien.

a) Rumus dasar

$$W_{cwt} = W_{car} + k \times W_{rated}$$

b) Dalam satuan massa

$$M_{cwt} = m_{car} + k \times m_{rated}$$

Keterangan

- a) W_{cwt} = berat counterweight (N)
- b) M_{cwt} = massa counterweight (kg)
- c) W_{car} = berat kabin kosong (N)
- d) M_{car} = massa kabin kosong (kg)
- e) W_{rated} = berat beban nominal (N)
- f) M_{rated} = massa beban nominal (kg)
- g) K = faktor penyeimbang (biasanya 0,4 – 0,5)

Standar umum : $k = 0,5$ (50% dari beban nominal) [1].

5. Polley dan Rope

Polley dan Rope Merupakan dua komponen mekanik yang saling terintegrasi dan memiliki peran penting dalam system pengangkatan pada prototipe elevator regenerative. Keduan komponen ini berfungsi sebagai media transmisi gaya dan gerak antara motor DC gearbox, kabin lift, dan counterweight. Dalam system elevator, kombinasi pulley dan rope memungkinkan terjadinya pergerakan vertical kabin secara stabil, terarah, dan efisien.

Pada prototipe ini pulley di pasang pada system poros yang terhubung dengan motor DC gearbox melalui mekanisme yang terhubung langsung ke poros motor. Konfigurasi ini memungkinkan pulley berputar secara halus baik saat motor bekerja sebagi penggerak maupun saat motor berfungsi sebagai generator pada kondisi regenerative. Dengan demikian, pulley menjadi elemen penting penghubung utama antara system mekanik dan system elektrik pada system elevator pada saat sekarang ini.

Rope atau tali baja berfungsi sebagai penghubung langsung antara kabin lift dan counterweight. Rope mentransmisikan gaya Tarik yang di hasilkan oleh pergerakan pulley, sehingga kabin dan counterweight dapat bergerak secara berlawanan arah. Berdasarkan uraian tersebut, dapat di simpulkan bahwa pulley dan rope (tali baja) merupakan komponen mekanik yang sangat krusial dalam prototipe smart elevator regenerative. kedua komponen ini tidak hanya berfungsi sebagai media transmisi gerak dan gaya, akan tetapi juga berperan penting dalam mendukung proses regenerative energi, sehingga dapat menciptakan penghematan energi pada penggunaan elevator, sesuai dengan tujuan pada penelitian tugas akhir ini

6. Baterai lithium

Baterai lithium-ion tipe 18650 merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi yang pokok digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik dan sistem tenaga skala kecil hingga menengah. Salah satu produk yang banyak digunakan adalah Panasonic NCR18650B, yang memiliki kapasitas nominal 3400 mAh dan kemampuan arus kontiniu hingga 6A. Baterai ini termasuk dalam

kategori sel lithium-ion berbasis kimia Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO_2 atau NCA), yang dikenal memiliki kepadatan energi tinggi serta stabilitas siklus pengisian yang baik. Secara fisik, baterai tipe 18650 memiliki diameter sekitar 18 mm dan panjang 65 mm.

Tegangan nominal satu sel adalah 3,6–3,7 V, dengan tegangan maksimum pengisian sebesar 4,2 V dan batas minimum pelepasan sekitar 2,5–3,0 V. Pada konfigurasi 3S (tiga sel disusun seri), tegangan nominal sistem menjadi sekitar 11,1 V dengan tegangan maksimum 12,6 V. Konfigurasi ini sangat sesuai untuk sistem berbasis motor DC 12V, seperti pada prototipe smart lift regeneratif, karena kompatibel dengan kebutuhan tegangan driver motor dan mikrokontroler. Kapasitas 3400 mAh menunjukkan bahwa baterai mampu menyuplai arus sebesar 3,4 A selama satu jam pada kondisi ideal. Dengan kemampuan arus kontinu maksimum 6A, sel ini masih aman digunakan untuk beban motor DC skala prototipe, selama arus kerja tidak melebihi batas spesifikasi.

Dalam konteks penelitian smart lift regeneratif, baterai ini akan berfungsi sebagai sumber energi utama, untuk menyuplai arus agar motor dapat bergerak. Performa Battery ini sangat mungkin digunakan sebagai sumber power utama dalam mengoperasikan prototipe lift. Dengan demikian, pemilihan Panasonic NCR18650B 3400 mAh 6A merupakan keputusan teknis yang tepat karena mampu menyediakan kapasitas energi yang memadai, kestabilan operasional, serta keamanan sistem.

7. Arduino Uno Atmega Sebagai Sistem Kontrol

Arduino Uno merupakan mikrokontroler yang berperan sebagai pusat pengendali pada prototipe Elevator regenerative. Pada penelitian ini, Arduino digunakan untuk mengatur seluruh proses kerja system Elevator, mulai dari pengendalian motor DC gearbox, pembacaan input, tombol lantai, pengaturan arah dan kecepatan gerak lift, hingga penampilan informasi posisi elevator pada layer LCD. Dengan demikian, Arduino uno R3 menjadi komponen utama yang mengintegrasikan system mekanik dan system elektrik dalam satu keastuan yang terkoordinasi.

Arduino R3 yang di gunakan pada prototipe ini berbasis mikrokontroler ATmega328P dan menggunakan chip komunikasi CH340G sebagai converter USB-to-serial. Mikrokontroler ATmega328P memiliki Arsitektur 8-bit. Dengan kecepatan clock 16 MHz, memori flash sebesar 32 KB, SRAM 2 KB, serta EEPROM 1 KB. Spesifikasi ini di nilai cukup untuk menangani kebutuhan control pada prototipe elevator skala kecil, termasuk pengolahan logika program, pembacaan sensor, dan pengendalian actuator.

Secara prinsip kerja, Arduino Uno R3 menerima sinyal input dari berbagai perangkat masukan, seperti tombol pemanggil lantai. Sinyal tersebut kemudian di proses oleh mikrokontroler berdasarkan program yang telah di unggah sebelumnya. Hasil pemrosesan ini berupa sinyal keluaran yang di gunakan untuk mengendalikan driver motor, sehingga motor DC gearbox dapat berputar sesuai dengan arah dan kecepatan yang di inginkan. Selain itu, Arduino juga mengirimkan data ke layer LCD untuk menampilkan informasi posisi lantai lift secara real-time.

Penggunaan CH 340G pada Arduino R3 berfungsi sebagai antarmuka komunikasi antara Arduino dan computer melalui kabel USB. Chip ini memungkinkan proses pemrograman dan pengunggahan kode program ke mikrokontroler Atmega 328P dengan mudah. Meskipun menggunakan Chip CH340G, fungsi dan kinerja Arduino uno R3 tetap sama dengan Arduino versi original, sehingga tidak mempengaruhi kinerja system elevator yang di rancang. Dalam prototipe elevator regeneratif ini, Arduino Uno R3 juga berperan dalam mendukung pengujian konsep energi regeneratif.

Arduino di gunakan untuk mengatur kondisi operasi motor, seperti mematikan supply daya saat lift bergerak turun agar motor dapat berfungsi sebagai generator. Selain itu, Arduino dapat di gunakan untuk memantau tegangan hasil pembangkitan energi regeneratif melalui input analog, sehingga data hasil pengujian dapat di amati dan di analisis. Pemilihan Arduino Uno R3 sebagai system control berdasarkan pada beberapa pertimbangan. Pertama, Arduino uno R3 memiliki jumlah pin input/output digital dan analog yang mencukupi untuk kebutuhan prototipe elevator. Kedua, Arduino memiliki lingkungan pengembangan yang sederhana dan mudah di gunakan, sehingga memudahkan

proses pemrograman dan debugging. Ketiga, ketersediaan Arduino Uno di pasaran sangat luas dengan harga yang relative terjangkau, sehingga sesuai untuk penelitian dan pengembangan prototipe.

Selain itu, Arduino Uno R3 mendukung pengendalian kecepatan motor menggunakan metode pulse width modulation (pwm). Fitur ini sangat penting dalam system elevator karena memungkinkan pengaturan kecepatan lift secara halus, baik saat bergerak naik maupun turun. Dengan control kecepatan yang baik, pergerakan kabin menjadi lebih stabil dan aman, serta mendukung proses regenerative yang terkontrol.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa Arduino uno R3 Atmega328P CH340G memiliki peran yang sangat penting sebagai otak system pada prototipe elevator regeneratif. Arduino tidak hanya berfungsi sebagai pengendali utama pergerakan lift, tetapi juga sebagai komponen yang memungkinkan integrasi antar system mekanik, system elektrik, dan system regenerative. Oleh karena itu, penggunaan Arduino uno pada penelitian ini dinilai tepat dan juga sesuai dengan tujuan pengembangan prototipe elevator regenerative. Berdasarkan uraian teori tersebut, Arduino merupakan platform mikrokontroler yang memiliki fleksibilitas tinggi dan kemudahan integrasi dengan berbagai komponen input maupun output. Kemampuan Arduino dalam mengolah dan mengatur data dari sensor, menerima perintah dari tombol serta mengendalikan actuator menjadikannya sangat sesuai untuk digunakan sebagai media pusat kendali pada system prototipe smart elevator regeneratif dengan penghematan energi.

8. Push Button dan led

Push button dan led merupakan salah satu perangkat input yang umum digunakan dalam system kendali elektronika. Push button berfungsi sebagai saklar tekan yang digunakan untuk memberikan perintah manual kepada system. Pada system elevator, push button memiliki peranan penting sebagai antarmuka antara pengguna dan system kendali, khususnya untuk memberikan perintah pemanggilan lift dan pengoperasian tertentu.

Push button adalah saklar listrik yang bekerja dengan system prinsip mekanis, dimana arus listrik akan mengalir atau terputus Ketika tombol di tekan hingga cabin lift sampai pada tujuan. Push button umumnya memiliki dua kondisi kerja, yaitu normally open (NO) dan normally close (NC). Pada kondisi normally open, rangkaian akan tertutup Ketika tombol closed, rangkaian akan terbuka Ketika tombol di tekan, dalam system berbasis mikrokontroler, push button di gunakan untuk menghasilkan sinyal logika digital berupa HIGH atau LOW yang dapat di baca oleh mikrokontroler sebagai perintah tertentu. Push button memiliki beberapa jenis bentuk dan ukuran namun secara umum dapat di klasifikasikan berdasarkan cara kerjanya, yaitu push button sesaat (momentary) dan push button pengunci (latching). Push button sesaat hanya aktif selama di tekan, sedangkan push button pengunci akan tetap aktif hingga di tekan Kembali.

Dalam system elevator prototipe ini, push button yang di gunakan sebagai sarana input manual bagi pengguna. Setiap tombol mewakili perintah tertentu, seperti pemanggilan lift ke lantai tertentu atau perintah operasi lainnya. Ketika push button di tekan, Arduino akan membaca perubahan logika pada pin input dan menjalankan perintah sesuai dengan program yang telah di rancang. Penggunaan push button memungkinkan system elevator di operasikan secara interaktif dan mudah di pahami oleh pengguna. Selain itu, push button juga dapat di gunakan sebagai alat pengujian system selama tahap pengembangan dan pengujian prototipe. Integrasi push button dengan Arduino uno yakni Ketika push button di tekan, Arduino akan mendeteksi perubahan logika pada pin input dan memprosesnya sesuai dengan algoritma program. Data dari push button kemudian di gunakan untuk mengendalikan motor. Landasan teori yang telah di uraikan pada bab ini memberikan dasar konseptual dan teknis.

9. Limit Switch

Limit switch merupakan perangkat sakelar yang digunakan untuk mendeteksi posisi atau batas pergerakan suatu objek secara mekanis. Limit switch bekerja ketika bagian aktuatornya mendapatkan tekanan atau gerakan dari objek yang dideteksi, kemudian kondisi kontak listrik di dalam sakelar berubah sehingga dapat digunakan sebagai sinyal kendali.

Pada sistem *smart lift*, limit switch digunakan sebagai pendeteksi posisi kabin pada setiap lantai. Ketika kabin mencapai posisi lantai yang ditentukan, bagian mekanis kabin menekan aktuator limit switch sehingga kontak berubah dan memberikan sinyal kepada Arduino. Sinyal tersebut digunakan sebagai acuan untuk menghentikan pergerakan motor dan menentukan posisi kabin.

Secara umum, limit switch terdiri atas aktuator, mekanisme sakelar, kontak listrik, dan rumah pelindung. Aktuator menerima gerakan mekanis dari objek, kemudian meneruskannya ke mekanisme kontak untuk mengubah kondisi rangkaian listrik.

Pada penelitian ini digunakan Micro Switch V-125-1C25 sebagai sensor posisi lantai. Limit switch dihubungkan dengan input Arduino menggunakan konfigurasi INPUT_PULLUP, sehingga kondisi normal dan kondisi aktif dapat dibaca oleh mikrokontroler.

10. Pengertian Bridge Rectifier

Bridge rectifier atau penyearah jembatan merupakan rangkaian penyearah yang digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Rangkaian ini umumnya menggunakan empat buah dioda yang disusun membentuk konfigurasi jembatan. Pada penelitian ini, bridge rectifier digunakan pada bagian sistem regeneratif. Ketika motor DC berputar dalam kondisi regeneratif, motor bekerja sebagai generator dan menghasilkan energi listrik.

Energi tersebut kemudian dialirkan melalui rangkaian penyearah sebelum diberikan ke kapasitor sebagai media penyimpanan energi. Limit switch pada penelitian ini berfungsi sebagai pendeteksi posisi, bukan sebagai pengganti seluruh sistem keselamatan lift. Pada aplikasi keselamatan industri, penggunaan safety limit switch dengan mekanisme positive/direct opening memiliki karakteristik keselamatan.

11. IBT-2 Motor Driver

IBT-2 merupakan modul *motor driver* yang digunakan untuk mengendalikan motor DC dengan kemampuan arus yang lebih besar dibandingkan kemampuan keluaran langsung mikrokontroler. Modul IBT-2

umumnya menggunakan BTS7960 sebagai komponen pengendali daya dan menggunakan konfigurasi H-Bridge untuk mengatur arah putaran motor DC.

Penggunaan *motor driver* diperlukan karena mikrokontroler seperti Arduino Uno hanya menghasilkan sinyal kendali dengan arus yang relatif kecil, sehingga tidak dapat digunakan secara langsung untuk menggerakkan motor DC berdaya besar. IBT-2 berfungsi sebagai perantara antara mikrokontroler dan motor, yaitu menerima sinyal kendali dari mikrokontroler kemudian mengatur daya yang diberikan kepada motor. Pada sistem penggerak lift, kemampuan pengaturan arah putaran motor sangat penting karena motor harus dapat bergerak dalam dua arah, yaitu arah naik dan arah turun. IBT-2 memungkinkan pengaturan tersebut melalui dua masukan kendali PWM, yaitu RPWM (Right PWM) dan LPWM (Left PWM).

12. Buzzer dan Modul Suara ISD1820

Buzzer merupakan komponen elektronik yang digunakan untuk menghasilkan suara sebagai tanda atau indikator pada suatu sistem. Buzzer dapat digunakan untuk memberikan informasi kepada pengguna mengenai kondisi tertentu, seperti tombol yang ditekan, proses selesai, peringatan, atau perubahan status sistem. Pada prototype *Smart Lift Regeneratif*, selain indikator visual berupa LED digunakan pula modul suara ISD1820 sebagai indikator audio. ISD1820 merupakan modul perekam dan pemutar suara yang dapat digunakan untuk merekam pesan suara sederhana kemudian memutarnya kembali melalui speaker yang terhubung pada modul. Penggunaan modul suara memberikan informasi tambahan kepada pengguna ketika kabin telah mencapai lantai tujuan.

13. Relay Module

Relay merupakan sakelar yang pengoperasiannya dilakukan secara elektromagnetik. Relay memungkinkan rangkaian kendali dengan daya relatif kecil mengendalikan rangkaian beban yang memiliki karakteristik tegangan atau arus berbeda. Secara umum, relay elektromagnetik terdiri dari kumparan (*coil*), inti elektromagnetik, armature, pegas, dan kontak listrik. Ketika kumparan diberi energi, medan magnet menarik armature sehingga posisi kontak berubah. Ketika

energi pada kumparan dihentikan, pegas mengembalikan kontak ke posisi semula. Kontak relay umumnya terdiri dari Normally Open (NO) dan Normally Closed (NC).

Pada penelitian ini, relay digunakan sebagai saklar elektronik untuk membantu perpindahan kondisi rangkaian antara mode penggerak dan mode regeneratif. Relay memungkinkan hubungan listrik pada rangkaian motor dialihkan sesuai dengan kondisi yang ditentukan oleh sistem kendali Arduino. Dengan demikian, relay menjadi salah satu komponen yang mendukung proses pergantian mode operasi pada prototype.

14. BMS 3S 20 A

Battery Management System (BMS) merupakan rangkaian elektronik yang digunakan untuk mengelola dan melindungi baterai, khususnya baterai yang terdiri dari beberapa sel yang disusun secara seri maupun paralel. BMS dapat digunakan untuk melakukan fungsi perlindungan seperti terhadap tegangan berlebih (*overcharge*), tegangan terlalu rendah (*over-discharge*), arus berlebih (*overcurrent*), dan hubungan singkat (*short circuit*), tergantung pada desain dan spesifikasi BMS. Pada penelitian ini digunakan BMS 3S 20 A untuk paket baterai lithium-ion yang terdiri dari tiga sel 18650 yang disusun secara seri.

Pada prototype, BMS berfungsi sebagai sistem perlindungan dan pengelolaan paket baterai 3S. BMS membantu menjaga kondisi operasi baterai agar tetap berada dalam batas yang sesuai dengan karakteristik sel lithium-ion. Dengan demikian, BMS menjadi bagian penting dalam sistem catu daya prototype karena baterai merupakan sumber energi utama untuk rangkaian penggerak dan rangkaian elektronik. Istilah **3S** menunjukkan bahwa terdapat tiga sel baterai yang dihubungkan secara seri.

15. Bridge Rectifier

Bridge rectifier atau penyearah jembatan merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh yang digunakan untuk mengubah tegangan dengan polaritas bolak-balik menjadi tegangan dengan polaritas keluaran yang tetap. Rangkaian bridge rectifier konvensional menggunakan empat buah dioda yang disusun dalam

konfigurasi jembatan. Pada penelitian ini, bridge rectifier digunakan pada sistem regeneratif untuk memproses tegangan listrik yang dihasilkan oleh motor ketika motor beroperasi sebagai generator.

Bridge rectifier bekerja dengan memanfaatkan karakteristik dioda yang memungkinkan arus mengalir terutama pada satu arah. Pada setiap setengah siklus masukan, dua dioda pada konfigurasi jembatan berada dalam kondisi konduksi dan dua lainnya berada dalam kondisi tidak konduksi. Jalur arus melalui beban tetap menghasilkan polaritas keluaran yang sama.

16. Kapasitor 470 μ F/25 V

Kapasitor merupakan komponen elektronika pasif yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk medan listrik. Kapasitor terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Kapasitas penyimpanan muatan suatu kapasitor dinyatakan dalam satuan farad (F). Semakin besar nilai kapasitansi, semakin besar kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan pada tegangan tertentu. Pada prototype *Smart Lift Regeneratif*, kapasitor digunakan sebagai media penyimpanan sementara energi listrik hasil regenerasi. Ketika motor bekerja sebagai generator, energi listrik dialirkan melalui bridge rectifier kemudian menuju kapasitor. Tegangan pada kapasitor kemudian diukur menggunakan voltmeter. Dengan nilai kapasitansi 470 μ F, kapasitor yang digunakan merupakan kapasitor penyimpanan energi berkapasitas relatif kecil sehingga sesuai digunakan sebagai media demonstrasi atau proof of concept pada prototype. Ketika motor bekerja sebagai generator, energi listrik dialirkan melalui bridge rectifier kemudian menuju kapasitor

17. Voltmeter

Voltmeter merupakan alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur beda potensial atau tegangan listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian. Satuan tegangan listrik adalah volt (V). Pengukuran tegangan dilakukan dengan menghubungkan voltmeter secara paralel terhadap komponen atau bagian rangkaian yang ingin diukur.

Voltmeter membaca perbedaan potensial antara terminal positif dan negatif pada titik pengukuran. Oleh karena itu, polaritas pemasangan harus diperhatikan pada pengukuran tegangan DC. Voltmeter digunakan untuk mengetahui tegangan yang tersimpan pada kapasitor setelah proses regeneratif.

18. Motor Servo SG90

Motor servo merupakan aktuator elektromekanis yang digunakan untuk menghasilkan gerakan dengan pengendalian posisi sudut tertentu. Berbeda dengan motor DC biasa yang umumnya hanya dikendalikan berdasarkan arah dan kecepatan putaran, motor servo memiliki sistem kendali umpan balik (*feedback*) sehingga posisi poros motor dapat diarahkan menuju sudut yang ditentukan. Motor servo banyak digunakan pada sistem robotika, mekanisme otomatisasi, model kendaraan, sistem kendali, dan berbagai perangkat yang membutuhkan pengaturan posisi secara presisi.

Pada penelitian Rancang Bangun Smart Lift Regeneratif dengan Sistem Penghematan Energi, digunakan motor servo SG90 sebagai aktuator pada mekanisme pintu kabin lift. Motor servo SG90 dipilih karena memiliki ukuran yang relatif kecil, ringan, mudah dikendalikan menggunakan mikrokontroler, serta mampu menghasilkan gerakan sudut yang sesuai untuk menggerakkan mekanisme pintu pada prototype. Motor servo SG90 merupakan jenis servo mini yang memiliki tiga jalur utama, yaitu VCC, GND, dan signal. Jalur VCC digunakan untuk memberikan catu daya, GND digunakan sebagai referensi tegangan, sedangkan jalur signal digunakan untuk menerima sinyal kendali dari mikrokontroler. Pengendalian posisi dilakukan menggunakan sinyal pulsa sehingga mikrokontroler dapat menentukan posisi poros servo sesuai dengan kebutuhan sistem. Motor servo bekerja berdasarkan sistem kendali posisi tertutup (*closed-loop control*). Di dalam servo terdapat motor DC berukuran kecil, rangkaian pengendali, sistem roda gigi

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Penelitian

Waktu penelitian perancangan ini di lakukan waktu 7 bulan 1 november 2025 hingga 6 Mei i 2026. Berikut table waktu penelitian

No	Kegiatan	November				Desember				Januari				Feb-Mei				
		Minggu ke				Minggu ke				Minggu ke				Bulan				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	2	3	4	5	
1	Study literatur																	
2	Pengajuan Judul																	
3	Bimbingan Dosen																	
4	Penyusunan Laporan BAB 1																	
5	Revisi Bab 1																	
6	Penyusunan laporan Bab 2																	
7	Revisi Bab 2																	
8	Revisi Bab 2																	
9	Penyusunan laporan Bab 3																	
10	Revisi Bab 3																	
11	Perancangan prototype smart lift																	
12	Pengujian prototype smart lift																	
13	Penelitian pada prototype smart lift																	
11	Penyusunan BAB 4																	
12	Penyusunan BAB 5																	

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dan dilaksanakan secara bertahap, dimulai dari Study literatur, perancangan system, hingga perakitan dan pengujian prototipe system elevator skala kecil dengan pemanfaatan energi regenerative. Lokasi penelitian ditetapkan di Gedung sun plaza, yang digunakan sebagai lokasi observasi dan referensi system kerja elevator pada Gedung bertingkat. Observasi dilakukan untuk memperoleh gambaran umum terkait prinsip pergerakan kabin, system pemberhentian per lantai, serta potensi pemanfaatan energi regenerative pada fase penurunan kabin.

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa alat, bahan serta perangkat lunak yang berfungsi sebagai pendukung dalam proses perancangan, perakitan, pemrograman, dan pengujian prototipe Smart Lift Regeneratif, agar penelitian dapat dilakukan dengan sebaik baiknya. Agar hasil yang diperoleh dapat maksimal. adapun alat dan bahan yang digunakan yakni sebagai berikut :

3.3.1 Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan yakni :

1. Laptop

Laptop digunakan sebagai perangkat utama dalam proses pemrograman dan pengembangan sistem kendali prototipe. Laptop digunakan untuk menjalankan perangkat lunak Arduino IDE, membuat dan mengedit program, melakukan proses *compile*, serta mengunggah program ke Arduino Uno. Selain itu, laptop digunakan untuk melakukan perubahan program selama proses pengujian dan evaluasi sistem.

2. Multimeter Digital

Multimeter digital digunakan sebagai alat ukur dalam proses pemeriksaan dan pengujian rangkaian listrik. Alat ini digunakan untuk

mengukur tegangan, arus, resistansi, dan kontinuitas hubungan antarbagian rangkaian. Pada pengujian sistem regeneratif, multimeter juga digunakan untuk membantu memeriksa tegangan yang dihasilkan sebelum dan sesudah melewati rangkaian penyearah. Dan alat ini juga sangat membantu proses penelitian yang di lakukan.

3. Solder dan Timah

Solder digunakan untuk menyambungkan kabel dan terminal komponen elektronik secara permanen. Penggunaan solder diperlukan terutama pada bagian rangkaian yang membutuhkan sambungan kuat dan stabil agar tidak mudah terlepas selama proses pengujian prototype. Sementara timah solder digunakan sebagai material penyambung antara kabel dan terminal komponen ketika proses penyolderan dilakukan. Timah solder dipanaskan menggunakan solder hingga mencair dan membentuk sambungan listrik setelah kembali mengeras.

4. Tang potong, Obeng, dan penggaris

Tang potong digunakan untuk memotong kabel sesuai dengan panjang yang diperlukan pada saat proses perakitan rangkaian elektronik dan pengkabelan prototype. Obeng digunakan untuk memasang dan mengencangkan baut atau terminal pada komponen elektronik maupun bagian mekanik prototype. Dan Penggaris atau meteran digunakan untuk melakukan pengukuran dimensi prototype, menentukan posisi pemasangan komponen, serta memastikan jarak antarbagian mekanik sesuai dengan rancangan.

3.3.2 Spesifikasi Komponen / Bahan penelitian

Spesifikasi Komponen (bahan) yang di gunakan dalam penelitian untuk membuat prototype Smart Lift Regeneratif yakni sebagai berikut :

1. Arduino Uno R3

digunakan sebagai mikrokontroler utama pada prototype *Smart Lift Regeneratif*. Arduino berfungsi menerima masukan dari push button dan limit switch, kemudian memproses masukan tersebut berdasarkan program yang telah dibuat untuk mengendalikan komponen keluaran.



Gambar 3.1 Arduino Uno R3

Tabel 3.1 Spesifikasi Arduino Uno R3

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Arduino Uno R3 ATmega328P CH340	Tegangan operasi : 5 V	1
	Tegangan Input : 7-12 V	
	Jumlah Pin : 14 pin	
	Jumlah pin analog : 6 Pin	
	Arus maksimum per pin : 40 mA	
	Memory Flash : 32 KB	
	Sram : 2 KB	
	EEPROM : 1 KB	
	Kecepatan clock 16 MHz	
	Tipe koneksi : USB Type-B	

2. Motor DC Gearbox

Motor DC Gearbox berfungsi sebagai penggerak utama system mekanik elevator pada prototipe yang di rancang. Motor ini di gunakan untuk menggerakkan pulley sehingga kabin elevator dapat bergerak naik dan turun secara terkontrol. Selain sebagai penggerak, motor Dc gearbox juga di manfaatkan sebagai generator energi listrik pada saat kabin bergerak turun dengan adanya gearbox, kecepatan putar motor dapat di turunkan dan torsi dapat di tingkatkan, sehingga motor mampu menggerakkan system elevator dengan lebih stabil dan sesuai dengan kebutuhan prototipe. berfungsi sebagai pengendali utama pada prototipe system elevator skala kecil yang di rancang dalam penelitian ini.

Arduino di gunakan untuk mengintegrasikan dan mengoordinasikan kerja seluruh komponen system, baik pada sisi mekanik maupun kelistrikan.arduino ini dapat mengendalikan arah kondisi kerja motor DC, mengatur proses kerja system saat kabinbergerak naik, turun, dan berhenti setiap lantai. Dapat membaca signal dari sensor atau sensor pemberhentian, dapat mengolah input dari push button sebagai perintah naik, turun, berhenti.



Gambar 3.2 Motor DC 12 V

Tabel 3.2 Spesifikasi Motor DC 12 V

Nama	Spesifikasi	Jumlah
3. I B Motor DC gearbox T -	Tegangan kerja : 12 V DC	1
	Kecepatan Putar : 750 RPM	
	Diameter Poros motor : 6 mm	
	Arah putaran : 2 arah	

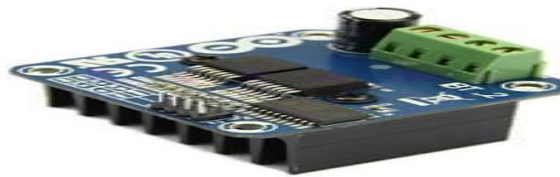
2

Motor Driver

IBT-2 merupakan modul *motor driver* yang digunakan untuk mengendalikan motor DC dengan arus yang relatif besar. Modul ini menggunakan IC BTS7960 sebagai elemen pengendali daya dan dirancang untuk mengatur arah serta kecepatan putaran motor DC. Pengendalian dilakukan menggunakan sinyal logika dari mikrokontroler, sedangkan bagian daya motor memperoleh suplai langsung dari sumber tegangan yang digunakan untuk motor.

Pada penelitian “Rancang Bangun Smart Lift Regeneratif Untuk Penghematan Energi” IBT-2 digunakan sebagai penghubung antara Arduino Uno dengan motor DC gearbox 12 V. Arduino Uno memberikan sinyal PWM kepada IBT-2 untuk mengatur kecepatan dan arah putaran

motor. Dengan penggunaan IBT-2, Arduino tidak secara langsung memberikan arus besar kepada motor, tetapi hanya memberikan sinyal kendali kepada rangkaian *driver*. IBT-2 memiliki beberapa terminal utama yang digunakan dalam penelitian, yaitu B+, B-, M+, M-, VCC, GND, RPWM, dan LPWM. Terminal B+ dan B- digunakan sebagai masukan sumber tegangan pada sisi daya, sedangkan M+ dan M- digunakan untuk menghubungkan keluaran *driver* dengan motor DC. Terminal VCC dan GND digunakan untuk rangkaian logika, sedangkan RPWM dan LPWM menerima sinyal PWM dari Arduino untuk menentukan arah putaran motor. Selain digunakan untuk menggerakkan kabin, IBT-2 menjadi bagian penting dalam sistem regeneratif



Gambar 3.3 IBT-2 Motor Driver

Tabel 3.3 Spesifikasi IBT-2 Motor Drive

Nama	Spesifikasi	Jumlah
IBT-2 Motor Drive	Fungsi utama: Mengedalikan motor	1
	Tegangan Logika : 5 V	
	Kendali arah : RPWM dan LPWM	
	Type driver : H- Bridge	

4. Motor servo SG90

Motor servo di gunakan sebagai actuator mekanik pada system pintu kabin lift prototipe. Servo berfungsi sebagai untuk melakukan proses pembukaan dan penutupan pintu secara otomatis Ketika kabin berhenti pada lantai tertentu. Pergerakan servo di kendalikan langsung oleh mikrokontroler arduino berdasarkan sinyal dari sensor posisi dan logika program yang telah di rancang. Motor servo juga mampu memberikan control sudut yang presisi, sehingga posisi pintu dapat di atur dengan akurat sesuai kebutuhan system, bai dalam kondisi terbuka penuh maupun

tertutup penuh. Motor servo yang di gunakan penulis yakni Tower pro mikro servo SG90 9G servo ini termasuk dalam kategori micro servo yang umum di gunakan pada system prototipe dan aplikasi control berbasis mikrokontroler



Gambar 3.4 Motor Servo SG90

Tabel 3.4 Spesifikasi pada Motor Servo SG90

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Motor Servo SG90 9G	Tegangan kerja : 4,8 – 6 V DC	1
	Sudut rotasi : 0° - 180°	
	Berat : 9 Gram	
	Jenis kontrol : PWM	

5. Micro Switch V-152-1C25 Mini Limit

Limit switch yang digunakan penulis yakni Micro Switch V-152-1C25 Mini Limit. Sensor ini berfungsi sebagai pendeteksi batas gerak atau posisi akhir dari sistem mekanik pada prototipe Smart Lift Regeneratif. Sensor dipasang pada setiap titik lantai serta pada batas atas dan bawah lintasan lift untuk mendeteksi posisi kabin ketika mencapai lantai yang telah ditentukan. Micro switch V-152-1C25 bekerja berdasarkan prinsip saklar mekanik. Ketika tuas (lever) pada sensor tertekan oleh bagian mekanik kabin lift, maka kontak di dalam saklar akan berubah kondisi dari Normally Open (NO) menjadi Closed (NC) atau sebaliknya. Perubahan kondisi ini menghasilkan sinyal digital berupa logika HIGH atau LOW yang kemudian dikirimkan ke Arduino Uno R3 ATmega328P sebagai sistem kontrol utama.

Arduino membaca perubahan sinyal tersebut melalui pin input digital. Berdasarkan sinyal yang diterima, Arduino akan memproses perintah lanjutan seperti menghentikan motor DC melalui driver L298N, mengunci posisi kabin pada lantai tujuan, serta mengaktifkan sistem pintu menggunakan motor servo SG90. Dengan demikian, sensor ini berperan penting dalam memastikan lift berhenti secara presisi dan aman pada setiap lantai.



Gambar 3.5 Micro switch V-152 – 1C25

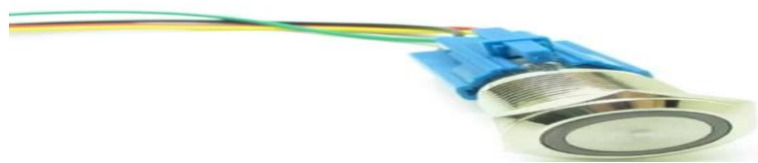
Tabel 3.5 Spesifikasi Micro Swith V-152

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Micro Switch V-152-1C25 Mini Limit	Tegangan kerja : 5 V DC	1
	Output : Digital (high / low)	
	Interface : 3 pin	
	Kompatibilitas : Arduino uno	

6. Push button swith momentary 5V

Komponen ini merupakan salah satu komponen utama daalam penelitian ini, karena di gunakan sebagai tombol pemanggil lantai yang berfungsi untuk memberikan perintah kepada system agar kabin lift bergerak menuju lantai tujuan. Setiap push button mewakili satu lantai pada prototipe lift. Ketika tombol di tekan, Arduino akan membaca sinyal input berupa logika HIGH yang kemudian di proses sesuai dengan program yang telah di rancang. Sinyal tersebut selanjutnya di gunakan untuk mengendalikan motor penggerak kabin lift melalui driver motor, sehingga kabin lift dapat bergerak naik turun.

Penggunaan push button led pada prototipe ini bertujuan untuk memberikan kemudahan interaksi antara pengguna dan system. Selain sebagai input perintah, led yang terdapat pada push button berfungsi sebagai indicator visual yang menunjukkan bahwa symbol telah di tekan dan perintah telah di terima oleh system. Hal ini penting untuk meningkatkan kejelasan system serta meminimalkan kesalahan pengoperasian. Push button led merupakan komponen input berupa saklar mekanik yang di lengkapi dengan indicator cahaya. Komponen ini bekerja dengan prinsip hubungan listrik sementara , dimana arus listrik hanya mengalir Ketika tombol saat di tekan dan akan terputus Kembali saat di lepaskan, komponen ini juga mudah di program dan di integrasikan ke dalam system control berbasis mikrokontroler



Gambar 3.6 Push button swith momentary

Tabel 3.6 Spesifikasi Push button Swith momentary

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Push button swith momentary 5V	Tegangan kerja : 5 V DC	1
	Tegangan Led : 3 - 5 V DC	
	Jumlah pin : 3 pin	
	Type output : Digital high/low	
	Kompatibilitas : Arduino Uno	

7. Relay Module

Relay module digunakan sebagai saklar pengendali rangkaian dalam sistem prototipe. Relay memungkinkan Arduino mengubah kondisi hubungan listrik pada rangkaian sesuai dengan mode operasi yang sedang dijalankan. Pada sistem regeneratif, relay digunakan untuk membantu proses perpindahan hubungan rangkaian antara kondisi penggerak dan kondisi regeneratif sesuai dengan rancangan sistem. Dan Relay module

juga berfungsi pada penelitian ini sebagai saklar elektromagnetik yang dikendalikan oleh Arduino Uno.

Relay digunakan untuk mengubah atau mengalihkan hubungan listrik pada rangkaian sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditentukan dalam program. Penggunaan relay memungkinkan rangkaian kendali Arduino mengatur rangkaian yang memiliki jalur daya berbeda tanpa memberikan beban daya secara langsung kepada pin Arduino. Pada prototype *Smart Lift Regeneratif dengan Sistem Penghematan Energi*, digunakan relay module 2 channel dengan tegangan kendali 5 V. Dua kanal relay digunakan untuk membantu proses pengalihan rangkaian antara mode penggerak motor dan mode regeneratif sesuai dengan rancangan sistem.



Gambar 3.7 Module Relay 2 channel

Tabel 3.7 Module Relay 2 channel

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Module Relay 2 chanel	Jenis: Relay Module	1
	Jumlah kanal: 2 channel	
	Tegangan kendali: 5 V	
	Fungsi: Switching rangkaian	
	Jenis: Relay Module	

8. Modul Suara ISD1820

Modul ISD1820 digunakan sebagai indikator suara pada prototype. Modul ini digunakan untuk memutar rekaman suara yang telah disimpan ketika kondisi tertentu terpenuhi. Pada saat kabin mencapai lantai tujuan, Arduino dapat memberikan perintah kepada modul ISD1820 sehingga

suara indikator dapat terdengar. Penggunaan modul suara melengkapi LED sebagai indikator visual sehingga pengguna memperoleh informasi kedatangan lift melalui indikator suara.



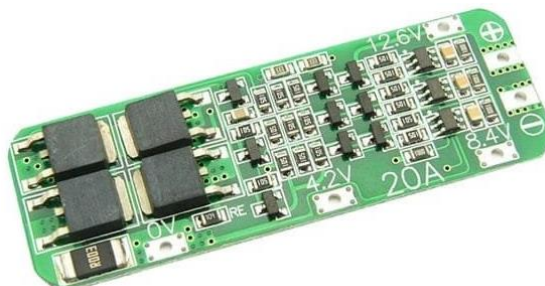
Gambar 3.8 Modul Suara ISD1820

Tabel 3.8 Modul Suara ISD 1820

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Modul Suara ISD1820	Tipe: ISD1820	1
	Fungsi: Perekaman dan pemutaran suara	
	Output: Speaker	
	Fungsi pada prototype: Indikator suara	
	Tegangan kendali : 5 V	

9. BMS 3S 20 A

BMS (Battery Management System) digunakan untuk mengelola dan memberikan perlindungan pada paket baterai lithium-ion yang digunakan sebagai sumber energi prototype. Paket baterai terdiri dari tiga sel lithium-ion yang disusun secara seri atau konfigurasi 3S. BMS membantu memberikan perlindungan terhadap kondisi operasi baterai seperti tegangan berlebih, tegangan terlalu rendah, arus berlebih, dan hubungan singkat sesuai dengan karakteristik modul BMS yang digunakan. Pada prototype ini, BMS digunakan bersama tiga baterai Panasonic NCR18650B dengan tegangan nominal paket sekitar 11,1 V.



Gambar 3.9 BMS 3S 20 A

Tabel 3.9 Spesifikasi BMS 3S 20 A

Nama	Spesifikasi	Jumlah
BMS 3S 20 A	Konfigurasi: 3S	1
	Tegangan nominal paket: 11,1 V	
	Tegangan penuh: sekitar 12,6 V	
	Rating arus BMS: 20 A	
	Fungsi: Proteksi, pengelolaan baterai	

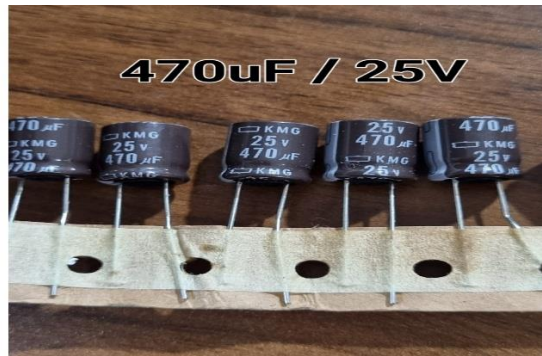
10. Bridge Rectifier

Bridge rectifier digunakan pada rangkaian sistem regeneratif sebagai penyearah tegangan listrik yang dihasilkan ketika motor DC berfungsi sebagai generator. Energi listrik hasil regenerasi dialirkan menuju bridge rectifier sebelum diteruskan ke kapasitor. Bridge rectifier berfungsi menghasilkan keluaran dengan polaritas DC yang sesuai sehingga dapat digunakan untuk proses penyimpanan energi pada kapasitor. Rangkaian regeneratif pada prototype ini terdiri dari:

Motor DC → Bridge Rectifier → Kapasitor → Voltmeter

11. Kapasitor 470 μ F/25 V

Kapasitor digunakan sebagai media penyimpanan sementara energi listrik hasil regenerasi. Setelah tegangan hasil regenerasi melewati bridge rectifier, energi listrik diteruskan menuju kapasitor. Pada saat pengujian, voltmeter dipasang secara paralel pada kapasitor untuk mengetahui/membaca tegangan yang berhasil disimpan yang di hasilkan saat di regeneratif. Nilai tegangan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung energi yang tersimpan. Kapasitor ini di gunakan karena dapat secara cepat membaca tegangan yang di hasilkan saat mode regenerative di dibandingkan dengan super kapasitor.

Gambar 3.10 Kapasitor 470 μ F/25 VTabel 3.10 Spesifikasi Kapasitor 470 μ F/ 25 V

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Kapasitor 470 μ F/25 V	Kapasitansi: 470 μ F	1
	Tegangan kerja: 25 V	
	Jenis: Kapasitor elektrolit	
	Fungsi: Penyimpanan energi sementara	

12. Voltmeter Digital

Voltmeter digital digunakan untuk mengukur tegangan pada kapasitor setelah proses regeneratif berlangsung. Voltmeter dipasang secara paralel pada terminal kapasitor sehingga dapat menunjukkan beda potensial yang terdapat pada kapasitor. Hasil pengukuran tegangan digunakan sebagai data pengujian sistem regeneratif. Pada pengujian prototype, diperoleh tegangan sebesar 1,52 V pada kapasitor. Berfungsi Mengukur tegangan hasil regeneratif. Memantau tegangan kapasitor. Menyediakan data untuk perhitungan energi tersimpan.



Gambar 3.11 Voltmeter Digital

13. Baterai Lithium-ion Panasonic NCR18650B

Baterai lithium-ion digunakan sebagai sumber energi utama untuk sistem prototype. Penelitian menggunakan tiga buah sel Panasonic NCR18650B yang disusun secara seri untuk membentuk paket baterai 3S. Dengan konfigurasi tiga sel seri, tegangan nominal paket adalah sekitar 11,1 V dan tegangan maksimum pengisian sekitar 12,6 V. Paket baterai dihubungkan dengan BMS 3S untuk memberikan perlindungan terhadap kondisi operasi baterai.



Gambar 3.12 Baterai Lithium-ion Panasonic NCR186

Tabel 3.12 Spesifikasi Baterai Lithium-ion Panasonic NCR186

Nama	Spesifikasi	Jumlah
Baterai Lithium-ion Panasonic NCR186	Jenis: Lithium-ion 18650	3
	Model: Panasonic NCR18650B	
	Tegangan nominal: sekitar 3,7 V/sel	
	Jumlah sel: 3 buah	

14. Pulley

Pulley digunakan sebagai bagian dari mekanisme pengangkatan kabin. Putaran motor diteruskan melalui pulley dan tali sehingga menghasilkan gerakan vertikal pada kabin. Pulley yang digunakan memiliki diameter 36 mm dan disesuaikan dengan mekanisme tali yang digunakan pada prototype. Dengan Spesifikasi Diameter: 36 mm & Fungsi: Meneruskan gerak putar menjadi gerak pengangkatan kabin.

15. Tali Pengangkat

Tali pengangkat digunakan sebagai media mekanis yang menghubungkan kabin dengan sistem pulley dan counterweight. Tali meneruskan gaya dari motor sehingga kabin dapat bergerak naik dan turun. Pada prototype digunakan sistem tali dengan konfigurasi 1:1, sehingga perpindahan kabin mengikuti perpindahan tali pada mekanisme penggerak.

16. Kabin Lift

Kabin merupakan bagian mekanik yang digunakan untuk membawa beban pada prototype. Kabin bergerak secara vertikal mengikuti jalur rangka dan dikendalikan oleh motor DC. Kabin juga dilengkapi mekanisme pintu yang digerakkan menggunakan servo SG90. Dimensi kabin disesuaikan dengan ukuran prototype sehingga dapat bergerak dengan stabil pada setiap lantai.

17. Counterweight

Counterweight atau pemberat digunakan untuk membantu menyeimbangkan massa kabin dan mengurangi beban kerja motor. Counterweight bergerak berlawanan arah dengan kabin melalui sistem pulley dan tali. Penggunaan counterweight juga berkaitan dengan sistem regeneratif karena perbedaan massa antara kabin dan counterweight dapat memengaruhi kondisi ketika motor bekerja sebagai generator.

18. Rangka Prototype

Rangka prototype berfungsi sebagai struktur utama tempat seluruh bagian mekanik dipasang. Rangka digunakan sebagai tempat

pemasangan kabin, jalur pergerakan kabin, pulley, motor, limit switch, dan komponen pendukung lainnya. Rangka dibuat dengan mempertimbangkan kekuatan, kestabilan, serta kesesuaian dimensi agar kabin dapat bergerak secara vertikal tanpa mengalami gangguan mekanis yang berlebihan.

3.4 Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan bagian yang digunakan untuk membuat, mengembangkan, mengunggah, dan menguji program yang mengendalikan prototype Smart Lift Regeneratif. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino IDE. . Program Arduino merupakan otak kendali dari prototipe lift berbasis Arduino. program ini menyatukan semua komponen yang di gunakan, yaitu motor DC, motor servo, push button, sensor limit switch, LED indicator, modul suara isd 1820, dan voltmeter . Tujuan utama dari program ini adalah mengatur pergerakan kabin lift, membuka dan menutup pintusecara otomatis, membaca input dari tombol lantai, menampilkan status lift, serta menjaga keamanan dan kestabilan operasi. Struktur program di mulai dengan pendefenisian pin dan inisialisasi variable.

Setiap komponen di berikan pin khusus sesuai koneksi pada Arduino. Misalnya, pin digital di gunakan untuk push button, led, dan motor servo, sedangkan pin PWM untuk mengendalikan motor DC agar kecepatan kabin dapat di atur. Pin amalog atau digital di gunakan untuk membaca sensor limit switch yang menentukan posisi kabin pada lantai tertentu. Selanjutnya, bagian setup () di gunakan utuk inisialisasi komponen. Setiap komponen. Pada bagian ini, semua pin di set sebagai input atau output sesuai fungsinya. Led indicator dan servo pintu di inisialisasi dalam kondisi default, misalnya led mati dan pintu tertutup. LCD 16x2 di inisialisasi agar siap menampilkan informasi seperti lantai saat ini, arah gerak kabin dan status tombol. Program utama berada pada fungsi loop (), yang berjalan terus menerus selama prototipe di beri daya. Logika program dibagi menjadi beberapa bagian yakni :

1. Membaca input push button Ardunino embaca sinyal dari push button setiap lantai. Ketika tombol di tekan, LED indicator menyala sebagai tanda

permintaan lift di terima. Nilai input di baca dengan logika HIGH/LOW untuk menentukan perintah naik atau turun.

2. Membaca sensor limit switch

Sensor limit switch di gunakan untuk mengetahui posisi kabin saat lift berhenti di lantai tertentu. input dari sensor memastikan motor DC berhenti secara presisi, sehingga kabin tidak melewati batas lantai. Sensor juga berfungsi untuk menonaktifkan LED indicator setelah lift sampai di lantai tujuan.

3. kontrol motor DC

Motor DC di kendalikan melalui modul L298N. program menentukan arah putaran motor untuk naik atau turun sesuai perintah push button. PWM di gunakan untuk mengatur kecepatan motor sehingga kabin bergerak dengan lancer. Ketika limit switch mendeteksi lantai tujuan, motor berhenti, dan pintu akan di buka secara otomatis.

4. Kontrol motor servo (pintu lift)

Servo pintu di atur agar membuka saat kabin berhenti di lantai dan menutup sebelum lift bergerak Kembali. Program menggunakan delay atau timer internal untuk menentukan lama pintu terbuka agar penumpang bisa naik turun dengan naman.

5. Push button

LED indicator push button menyala saat tombol di tekan dan mati Ketika lift sampai pada lantai yang di maksud. Program mengatur LED agar menunjukkan status permintaan lift secara realtime, dan membantu mengetahui bahwa system menerima perintah.

6. modul suara ISD1820

Arduino mengendalikan modul suara ISD1820 dengan memberikan sinyal digital ke pin PLAY pada ISD1820. Jadi Arduino tidak mengirimkan suara/audio langsung Arduino hanya memberi perintah kapan rekaman diputar.

Program Arduino menjadi pusat kendali dari prototipe lift, menghubungkan seluruh komponen secara sistematis. Dengan pemrograman yang tepat, prototipe lift dapat beroperasi secara aman, efisien, dan stabil, serta menampilkan informasi real time kepada pengguna. Selain itu Program Arduino juga di rancang untuk membuktikan tujuan utama dari penelitian yakni membuat prototipe lift dapat

meregeneratif energi sehingga energi dapat di gunakan Kembali untuk operasional lift pada saat turun.

Pada prototipe lift berbasis Arduino ini, salah satu inovasi yang di terapkan adalah pemanfaatan energi regeneratif saat kabin turun. Prinsipnya , saat lift menuruni lantai, motor DC yang biasanya menggerakkan kabin berfungsi sebagai generator, sehingga energi kinetik dari pergerakan kabin di ubah menjadi energi listrik, energi yang di hasilkan ini kemudian di gunakan langsung untuk menggerakkan motor DC saat lift turun, sehingga lift menuruni lantai dengan status tanpa energi dari sumber utama , melainkan memakai energi yang telah di regenerative

Arduino memegang peran penting dalam system ini, program Arduino mendeteksi arah pergerakan kabin melalui sensor limit switch atau logika tombol, kemudian mengaktifkan jalur energi regeneratif saat lift turun. Sensor arus dapat di pasang untuk memantau besarnya energi yang di hasilkan, dan memastikan motor menerima energi secara stabil selama proses penurunan kabin. Dengan demikian, motor DC berputar menuruni lantai dengan menggunakan energi yang di hasilkan oleh gerakan itu sendiri.

Program Arduino juga berfungsi sebagai penghubung antara system mekanik dan system elektrik. Ketika lift menerima perintah untuk bergerak turun, Arduino mengatur mode kerja motor DC, sehingga motor tidak lagi bekerja sebagai penggerak utama, melainkan sebagai generator yang menghasilkan energi listrik akibat pergerakan turun kabin. Dengan demikian energi yang munculdari proses regenerative dapat langsung di manfaatkan untuk mendukung pergerakan turun lift. Selain mengatur arah dan mode kerja motor, program Arduino juga berperan dalam menjaga kestabilan system regenerative. Arduino memastikan bahwa proses pemanfaatan energi regenerative hanya terjadi saat lift turun, dan secara otomatis menonaktifkannya ketika lift berhenti di lantai tujuan. Hal ini mencegah terjadinya gangguan pada system kendali maupun komponen elektronik lainnya. Program juga memungkinkan pemantauan kondisi system, seperti status pergerakan lift dan indikasi bahwa mode regenerative sedang aktif. Dengan adanya program Arduino, konsep energi regenerative tidak hanya bersifat teoritis, tetapi dapat di implementasikan secara nyata dan terkontrol pada prototipe,

Arduino mampu menjadikan system lift beroperasi secara otomatis, aman, dan sesuai tujuan penelitian

3.5 Wiring diagram prototipe elevator

Sistem prototipe smart lift regeneratif dirancang dengan satu sumber energi utama berupa baterai lithium-ion yang berfungsi sebagai penyedia daya sekaligus media penyimpanan energi hasil regenerasi. Seluruh konfigurasi wiring sistem disusun untuk memungkinkan terjadinya proses konversi, penyimpanan, dan pemanfaatan kembali energi secara efisien tanpa mengubah prinsip kerja dasar lift. Sumber energi sistem berasal dari tiga buah baterai lithium-ion tipe 18650 yang dirangkai secara seri (konfigurasi 3S) sehingga menghasilkan tegangan kerja nominal sekitar 11,1 V hingga maksimum 12,6 V. Rangkaian baterai ini dihubungkan dengan Battery Management System (BMS) 3S yang berfungsi sebagai pengaman dan pengatur arus masuk serta arus keluar baterai. Seluruh beban dan jalur pengisian energi dalam sistem diwajibkan melewati BMS guna menjamin keamanan dan kestabilan sistem.

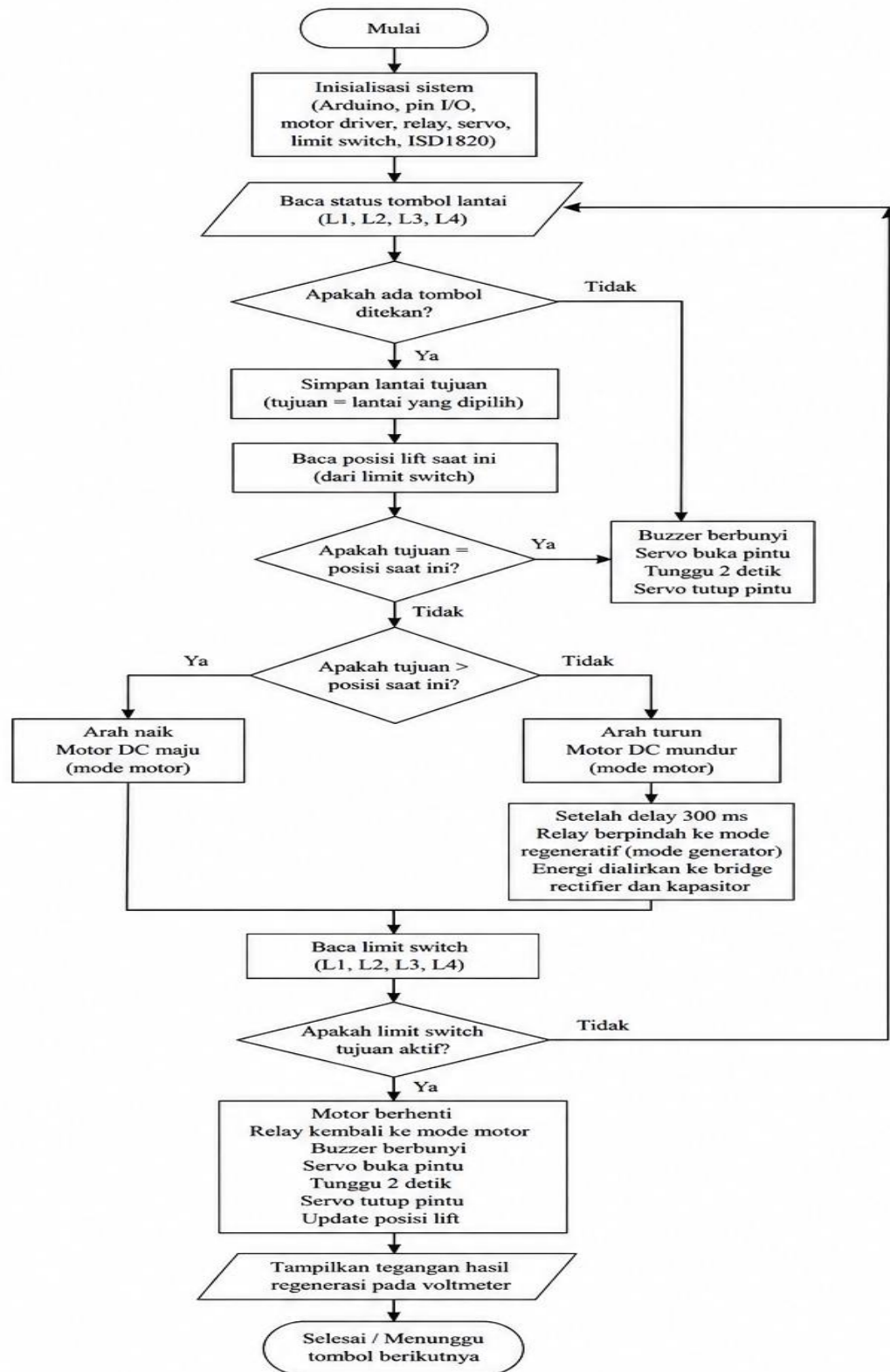
Keluaran dari BMS menjadi jalur daya utama yang kemudian didistribusikan ke dua bagian utama sistem, yaitu sistem penggerak lift dan sistem kontrol. Untuk sistem kontrol, tegangan dari baterai diturunkan menggunakan DC-DC buck converter hingga mencapai level tegangan 5 V yang stabil. Tegangan ini digunakan untuk menyuplai mikrokontroler Arduino, motor servo pintu lift, serta rangkaian logika pendukung lainnya.

Motor DC gearbox 12 V yang digunakan sebagai penggerak lift dihubungkan ke driver motor L298N. Driver motor menerima suplai daya dari baterai melalui BMS serta sinyal kendali dari Arduino. Pada kondisi lift bergerak naik maupun bergerak turun secara terkontrol, motor DC bekerja sebagai motor listrik yang mengubah energi listrik dari baterai menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kabin lift melalui sistem rope 1:1.

Pada saat lift bergerak turun akibat pengaruh gaya gravitasi, motor DC beroperasi sebagai generator listrik. Energi mekanik yang dihasilkan dari pergerakan kabin diubah kembali menjadi energi listrik. Tegangan keluaran dari motor pada kondisi ini dialirkan menuju rangkaian penyearah berupa bridge diode

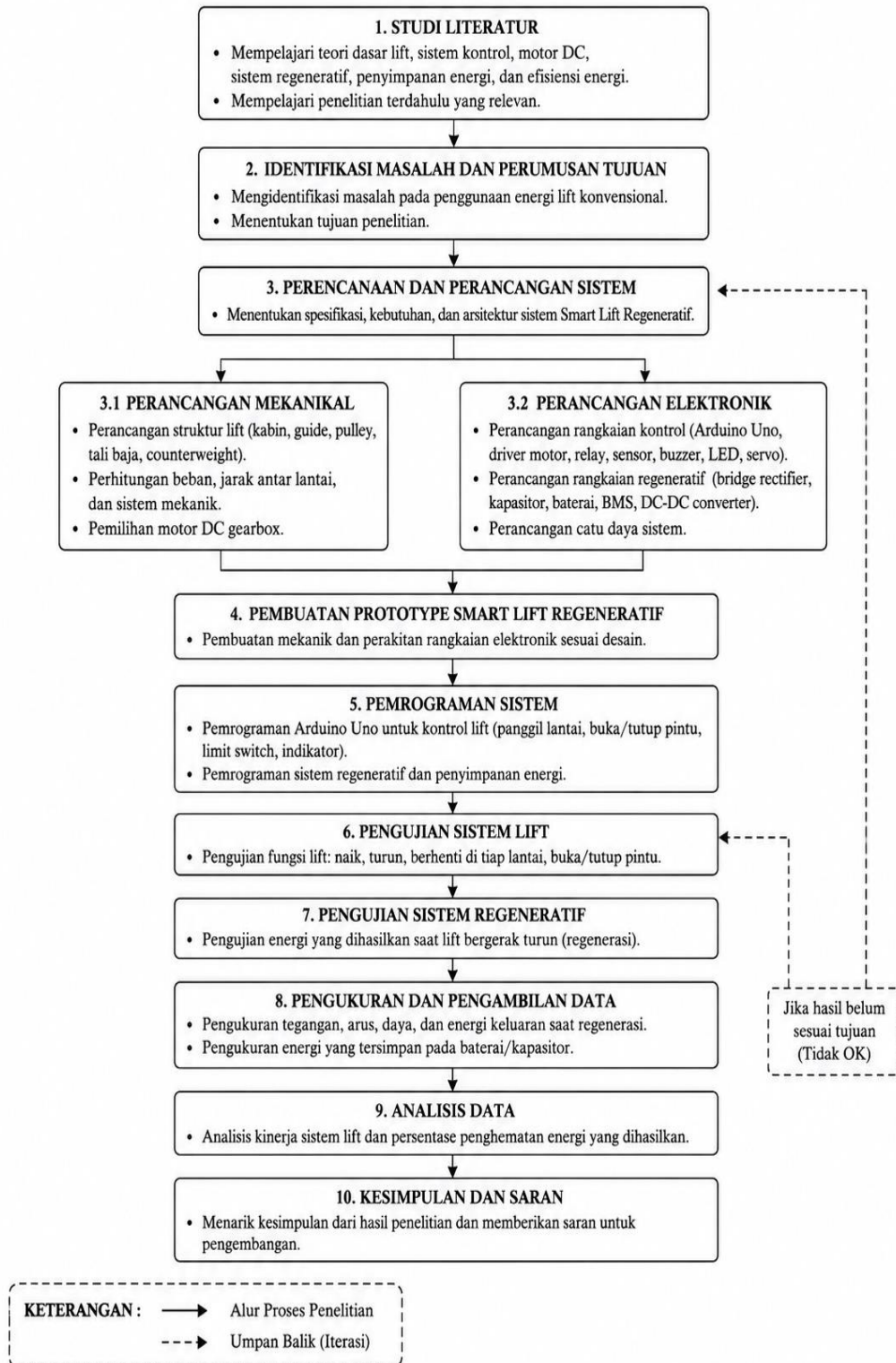
untuk mengubah arus menjadi searah. Selanjutnya, energi listrik tersebut akan di tampilkan oleh voltmeter. Dengan konfigurasi wiring ini, sistem lift tidak hanya bergantung pada sumber energi awal, tetapi juga mampu memanfaatkan kembali energi yang dihasilkan selama proses penurunan lift. Energi listrik yang dihasilkan selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai energi hasil regenerasi yang terukur pada sistem. Dalam penelitian ini, energi tersebut digunakan sebagai pembuktian bahwa proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik dapat berlangsung pada saat kabin bergerak turun. Besarnya tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan putaran motor, beban kabin, serta kondisi mekanis sistem penggerak.

3.6 Flowchart sistem smart lift regeneratif



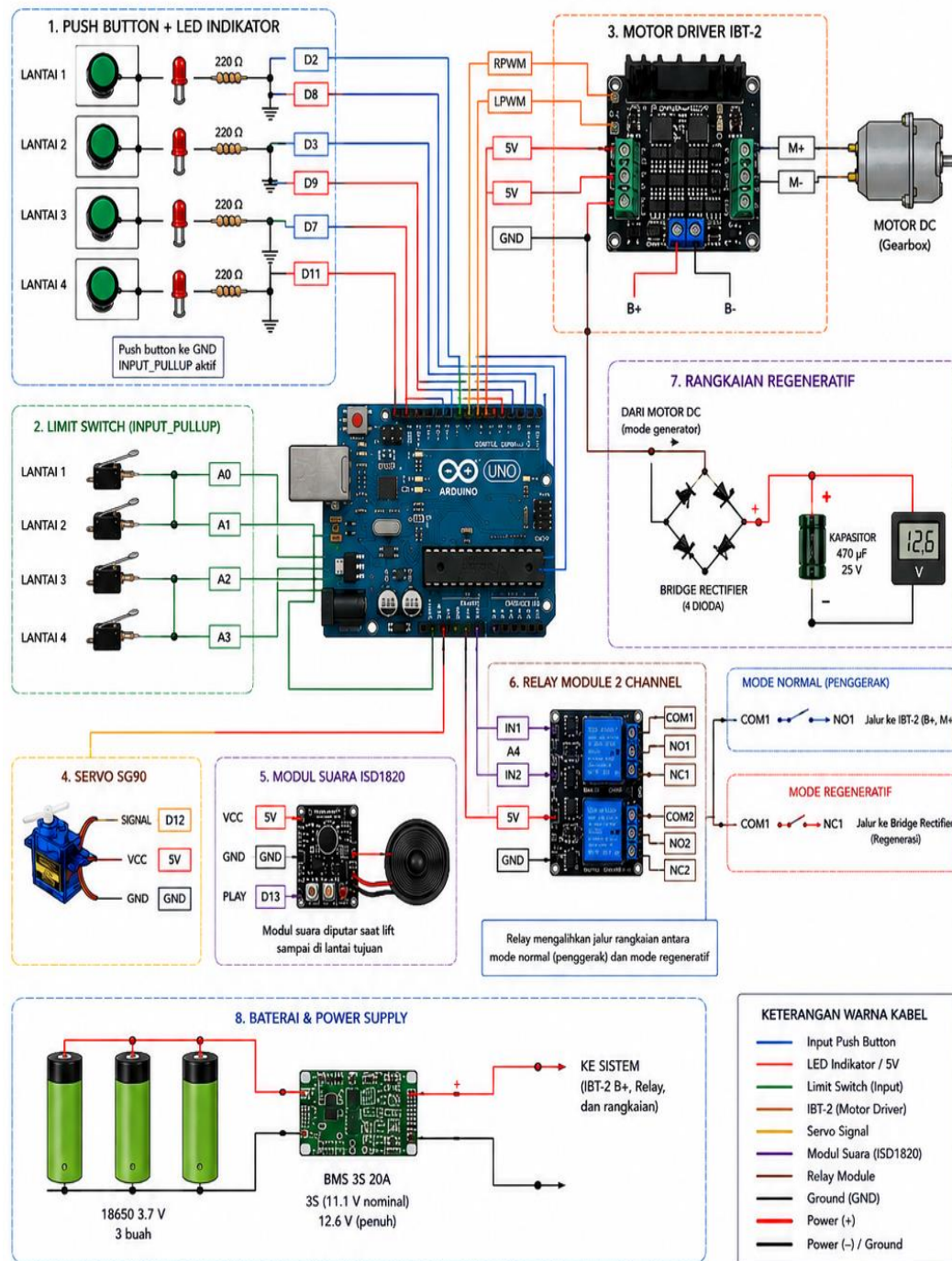
3.12 Gambar Flowchart prototipe Elevator

3.6 BLOCK DIAGRAM PENELITIAN



(Rancang Bangun Smart Lift Regeneratif Untuk Penghematan Energi)

3.13 Gambar Block diagram penelitian prototipe Elevator



TABEL PIN ARDUINO UNO			
PIN	FUNGSI	PIN	FUNGSI
D2	Push button lantai 1	D10	LED lantai 3
D3	Push button lantai 2	D11	LED lantai 4
D4	Push button lantai 3	D12	Servo SG90 (Signal)
D5	IBT-2 RPWM	D13	ISD1820 (PLAY)
D6	IBT-2 LPWM	A0	Limit switch lantai 1
D7	Push button lantai 4	A1	Limit switch lantai 2
D8	LED lantai 1	A2	Limit switch lantai 3
D9	LED lantai 2	A3	Limit switch lantai 4
		A4	Relay channel 1 (IN1)
		A5	Relay channel 2 (IN2)

KETERANGAN

- Semua GND disatukan (common ground).
- Push button dan limit switch menggunakan INPUT_PULLUP.
- Push button ditekan $\rightarrow$ pin terbaca LOW.
- Limit switch aktif (tertekan) $\rightarrow$ pin terbaca LOW.
- Relay digunakan untuk mengalihkan jalur antara mode normal (penggerak) dan mode regeneratif.
- Pada saat lift turun (mode regeneratif), motor DC berfungsi sebagai generator, energi listrik disalurkan oleh bridge rectifier dan ditampung pada kapasitor.
- Tegangan hasil regenerasi ditampilkan pada voltmeter.

3.14 Gambar Wiring Diagram prototipe Elevator

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini membahas hasil dari proses perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis prototype smart lift regeneratif yang telah dilakukan pada penelitian. Hasil penelitian yang disajikan meliputi proses perancangan mekanik dan elektronik, implementasi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software), pengujian fungsi setiap komponen, serta pengujian sistem regenerative braking sebagai metode penghematan energi pada prototype lift.

Pembahasan pada bab ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan. Analisis meliputi kemampuan prototype dalam melayani perpindahan kabin antar lantai, kinerja sistem kendali menggunakan Arduino Uno, proses kerja motor DC sebagai penggerak dan sebagai generator pada saat proses regeneratif, serta kemampuan sistem dalam menghasilkan energi listrik ketika kabin bergerak turun.

Selain itu, pada bab ini juga dibahas hubungan antara hasil pengujian dengan teori yang telah dipaparkan pada Bab II, sehingga dapat diketahui tingkat keberhasilan implementasi sistem serta faktor-faktor yang memengaruhi kinerja prototype. Dengan demikian, hasil yang diperoleh tidak hanya menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja sesuai perancangan, tetapi juga memberikan gambaran mengenai efektivitas penerapan sistem regenerative braking sebagai upaya pemanfaatan kembali energi pada prototype smart lift.

4.1 Hasil Perancangan Prototype

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang dan dibangun sebuah prototype smart lift regeneratif empat lantai sebagai media simulasi sistem lift modern yang dilengkapi dengan fitur penghematan energi melalui metode regenerative braking. Prototype dibuat untuk membuktikan bahwa energi mekanik yang dihasilkan saat kabin bergerak turun dapat dimanfaatkan kembali menjadi energi listrik dengan memanfaatkan motor DC sebagai generator.

Prototype terdiri atas empat lantai yang dilengkapi dengan sebuah kabin lift yang bergerak secara vertikal menggunakan sistem katrol (pulley) dengan perbandingan 1:1. Pergerakan kabin digerakkan oleh motor DC gearbox 12 Volt yang dikendalikan menggunakan driver motor IBT-2. Seluruh proses pengendalian dilakukan oleh mikrokontroler Arduino Uno yang bertugas menerima masukan dari tombol pemanggil lift, mengendalikan arah putaran motor, membaca kondisi limit switch pada setiap lantai, mengendalikan buka dan tutup pintu menggunakan motor servo, serta mengatur proses perpindahan mode motor menuju mode regeneratif.

Sistem regeneratif pada prototype ini bekerja ketika kabin bergerak turun. Pada awal pergerakan turun, motor DC berfungsi sebagai penggerak utama untuk memberikan gaya awal sehingga kabin dapat bergerak. Setelah kabin memperoleh momentum sesuai waktu yang telah ditentukan, relay dua channel mengalihkan hubungan motor dari driver IBT-2 menuju rangkaian bridge rectifier. Pada kondisi tersebut motor DC tidak lagi berfungsi sebagai penggerak, melainkan berubah fungsi menjadi generator akibat putaran yang dihasilkan oleh gaya gravitasi dan keseimbangan beban pada sistem lift.

Energi listrik yang dihasilkan oleh motor saat proses regeneratif selanjutnya disalurkan menggunakan bridge rectifier sebelum disimpan sementara pada kapasitor. Tegangan keluaran kemudian diamati menggunakan voltmeter untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menghasilkan energi listrik selama proses penurunan kabin. Dengan konsep tersebut, energi mekanik yang sebelumnya terbuang saat kabin bergerak turun dapat dimanfaatkan kembali sebagai energi listrik.

Prototype yang dibangun terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu Arduino Uno sebagai pengendali utama sistem, motor DC gearbox 12 Volt sebagai penggerak lift, driver motor IBT-2 sebagai pengatur arah putaran motor, relay dua channel sebagai pengalih mode operasi motor, motor servo SG90 sebagai penggerak pintu lift, limit switch sebagai sensor posisi setiap lantai, push button sebagai tombol pemanggil lift, LED sebagai indikator tujuan lantai, buzzer sebagai indikator suara, bridge rectifier sebagai penyearah tegangan, kapasitor

sebagai penyimpan energi sementara, BMS 3S sebagai sistem proteksi baterai, serta baterai lithium-ion 3S sebagai sumber daya utama prototype.

Secara umum prototype mampu melakukan perpindahan kabin dari lantai satu sampai lantai empat secara otomatis. Ketika pengguna menekan tombol tujuan, Arduino Uno akan mengolah perintah tersebut dan menggerakkan motor sesuai arah perjalanan. Apabila kabin bergerak naik, motor bekerja secara normal hingga limit switch pada lantai tujuan aktif. Sebaliknya, apabila kabin bergerak turun, sistem akan mengaktifkan mode regeneratif sesuai waktu yang telah ditentukan sehingga motor dapat menghasilkan energi listrik sebelum akhirnya berhenti pada lantai tujuan. Setelah kabin mencapai lantai tujuan, motor dihentikan, buzzer memberikan indikator suara, pintu lift terbuka secara otomatis menggunakan motor servo selama beberapa detik, kemudian pintu kembali menutup dan sistem kembali berada pada kondisi siaga untuk menerima perintah berikutnya.

Perancangan prototype ini diharapkan dapat menjadi media pembelajaran mengenai penerapan sistem regenerative braking pada lift serta memberikan gambaran mengenai pemanfaatan kembali energi yang selama ini terbuang menjadi energi listrik yang dapat digunakan sebagai sumber energi tambahan pada sistem.

4.2 Hasil Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik merupakan tahap awal dalam pembangunan prototype smart lift regeneratif. Tujuan utama perancangan mekanik adalah menghasilkan struktur lift yang kokoh, mampu menopang seluruh komponen, serta memberikan lintasan gerak kabin yang stabil selama proses pengujian. Selain itu, sistem mekanik juga dirancang agar mampu mendukung proses regenerative braking pada saat kabin bergerak turun.

Prototype dibuat dalam bentuk lift empat lantai dengan menggunakan rangka berbahan akrilik. Material akrilik dipilih karena memiliki bobot yang ringan, mudah dibentuk, serta memiliki kekuatan yang cukup untuk menopang seluruh komponen prototype. Rangka disusun secara vertikal sehingga menyerupai struktur lift pada gedung bertingkat

Rangka prototype berfungsi sebagai struktur utama yang menopang seluruh komponen mekanik dan elektronik. Pada rangka dipasang rel sebagai jalur pergerakan kabin, dudukan motor DC gearbox, dudukan pulley, serta tempat pemasangan limit switch pada setiap lantai. Berdasarkan hasil perancangan, rangka prototype mampu menopang seluruh komponen dengan baik sehingga selama proses pengujian tidak ditemukan perubahan bentuk maupun pergeseran posisi komponen yang dapat memengaruhi kinerja sistem.

Kabin lift merupakan bagian yang bergerak secara vertikal untuk mensimulasikan proses perpindahan penumpang antar lantai. Kabin dibuat menggunakan bahan akrilik sehingga memiliki bobot yang relatif ringan namun tetap cukup kuat untuk membawa beban simulasi. Pergerakan kabin dipandu oleh rel sehingga lintasan gerakanya tetap lurus dan stabil. Penggunaan rel juga bertujuan mengurangi gesekan yang dapat memengaruhi proses pengujian, khususnya saat sistem regeneratif bekerja

Prototype menggunakan sistem pulley dengan perbandingan 1:1. Pada sistem ini, putaran motor DC diteruskan menuju pulley sehingga menghasilkan gerakan naik dan turun pada kabin melalui tali pengangkat. Pemilihan sistem pulley 1:1 dilakukan karena lebih sederhana untuk diimplementasikan pada prototype dan mampu menghasilkan perpindahan kabin yang stabil sesuai kebutuhan penelitian.

Prototype dilengkapi dengan counterweight sebagai penyeimbang beban kabin. Counterweight berfungsi mengurangi beban kerja motor saat mengangkat kabin serta membantu proses penurunan kabin ketika sistem regenerative braking diaktifkan.

Pada saat kabin bergerak turun, gaya gravitasi yang bekerja pada sistem bersama keseimbangan antara kabin dan counterweight menghasilkan putaran pada motor DC. Putaran tersebut dimanfaatkan sebagai sumber energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui proses regeneratif.

Motor DC gearbox dipasang pada bagian atas rangka prototype menggunakan dudukan khusus agar posisi motor tetap stabil selama proses pengujian. Putaran motor diteruskan menuju pulley utama sehingga menghasilkan gerakan vertikal pada kabin.

Penggunaan motor DC gearbox 12 Volt dipilih karena memiliki torsi yang cukup untuk menggerakkan kabin serta mampu bekerja sebagai generator ketika dihubungkan ke rangkaian regenerative braking.

Hasil perancangan mekanik menunjukkan bahwa seluruh komponen mekanik mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang telah direncanakan. Rangka prototype memberikan kekakuan yang baik sehingga getaran selama pengoperasian relatif kecil. Jalur rel mampu menjaga pergerakan kabin tetap stabil pada setiap perpindahan lantai, sedangkan sistem pulley dan counterweight membantu mengurangi beban kerja motor selama proses pengangkatan maupun penurunan kabin. Selain itu, konfigurasi mekanik yang digunakan juga mendukung penerapan sistem regenerative braking. Pada saat kabin bergerak turun, motor dapat berputar akibat gaya gravitasi dan keseimbangan beban sehingga memungkinkan motor menghasilkan energi listrik ketika dihubungkan ke rangkaian bridge rectifier melalui relay.

4.3 Hasil Perancangan Elektronik

Perancangan elektronik dilakukan untuk membangun sistem kendali pada prototype smart lift regeneratif sehingga seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi. Sistem elektronik dirancang dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pengendali yang bertugas menerima masukan dari pengguna, memproses data, kemudian mengendalikan seluruh aktuator dan sensor sesuai dengan logika program yang telah dirancang.

Komponen utama yang digunakan pada sistem elektronik meliputi Arduino Uno, driver motor IBT-2 BTS7960, relay dua channel, motor DC gearbox 12 Volt, motor servo SG90, limit switch, push button, LED indikator, buzzer, bridge rectifier, kapasitor, BMS 3S, baterai lithium-ion 3S, dan voltmeter digital. Seluruh komponen tersebut dihubungkan berdasarkan diagram pengkabelan yang telah dirancang sehingga mampu bekerja sebagai satu sistem yang utuh. Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima sinyal dari push button dan limit switch. Berdasarkan masukan tersebut, Arduino Uno mengendalikan driver motor IBT-2 untuk mengatur arah putaran motor DC, mengaktifkan relay sebagai pengalih mode motor dan mode regeneratif, mengendalikan motor servo untuk

membuka dan menutup pintu lift, serta mengaktifkan buzzer sebagai indikator ketika kabin telah mencapai lantai tujuan.

Driver motor IBT-2 BTS7960 digunakan untuk mengendalikan arah putaran dan kecepatan motor DC gearbox melalui sinyal PWM yang dikirimkan oleh Arduino Uno. Driver ini memungkinkan motor berputar searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam sehingga kabin dapat bergerak naik dan turun sesuai dengan lantai tujuan yang dipilih.

Relay dua channel digunakan sebagai komponen utama dalam penerapan sistem regenerative braking. Pada kondisi normal, relay menghubungkan motor DC dengan driver IBT-2 sehingga motor berfungsi sebagai penggerak utama kabin. Ketika kabin bergerak turun dan waktu yang telah ditentukan tercapai, Arduino Uno mengaktifkan relay untuk memutus hubungan motor dari driver dan menghubungkannya ke rangkaian bridge rectifier. Dengan konfigurasi tersebut, motor DC berubah fungsi menjadi generator yang menghasilkan energi listrik akibat putaran yang berasal dari gaya gravitasi selama proses penurunan kabin.

Limit switch dipasang pada setiap lantai untuk mendeteksi posisi kabin. Sensor ini memberikan sinyal kepada Arduino Uno ketika kabin telah mencapai lantai tujuan sehingga motor dapat dihentikan secara otomatis. Penggunaan limit switch memberikan posisi berhenti yang lebih konsisten dibandingkan hanya menggunakan pewaktuan (*timer*).

Motor servo SG90 digunakan sebagai aktuator pembuka dan penutup pintu lift. Setelah kabin berhenti pada lantai tujuan, Arduino Uno memberikan sinyal kepada servo untuk membuka pintu selama beberapa detik, kemudian menutupnya kembali secara otomatis sehingga sistem siap menerima perintah berikutnya.

Pada rangkaian regeneratif, energi listrik yang dihasilkan oleh motor DC saat berfungsi sebagai generator disalurkan menggunakan bridge rectifier. Tegangan hasil penyearahan kemudian disimpan sementara pada kapasitor untuk mengurangi fluktuasi tegangan sebelum diukur menggunakan voltmeter digital. Selanjutnya energi dapat disalurkan menuju baterai lithium-ion 3S melalui BMS sebagai sistem proteksi pengisian.

Berdasarkan hasil perancangan elektronik yang telah dilakukan, seluruh komponen berhasil diintegrasikan sesuai dengan fungsi masing-masing sehingga

membentuk sistem kendali yang mampu mengoperasikan prototype smart lift regeneratif secara otomatis. Perancangan elektronik ini menjadi dasar dalam pelaksanaan pengujian sistem yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

4.4 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan untuk mengendalikan seluruh proses kerja prototype smart lift regeneratif. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++ yang kemudian diunggah ke mikrokontroler Arduino Uno. Program dirancang agar mampu mengendalikan perpindahan kabin, membaca masukan dari pengguna, mengolah sinyal dari sensor, mengendalikan aktuator, serta mengatur proses regenerative braking secara otomatis. Secara umum perangkat lunak bekerja berdasarkan masukan dari push button yang ditekan oleh pengguna. Arduino Uno akan membaca tombol yang aktif, menentukan lantai tujuan, kemudian membandingkan posisi kabin saat ini dengan lantai tujuan. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, sistem akan menentukan arah putaran motor, yaitu bergerak naik atau bergerak turun.

Pada saat kabin bergerak naik, Arduino Uno memberikan sinyal PWM kepada driver motor IBT-2 sehingga motor DC berputar mengangkat kabin menuju lantai tujuan. Selama proses tersebut Arduino Uno terus memantau kondisi limit switch pada setiap lantai. Ketika limit switch pada lantai tujuan aktif, Arduino Uno menghentikan motor, mengaktifkan buzzer sebagai indikator bahwa kabin telah tiba, kemudian menggerakkan motor servo untuk membuka pintu selama beberapa detik sebelum menutupnya kembali.

Pada saat kabin bergerak turun, perangkat lunak menerapkan algoritma regenerative braking. Motor DC terlebih dahulu berfungsi sebagai penggerak selama waktu tertentu untuk memberikan gaya awal kepada kabin. Setelah waktu yang telah ditentukan tercapai, Arduino Uno mengaktifkan relay sehingga hubungan motor berpindah dari driver IBT-2 menuju rangkaian bridge rectifier. Pada kondisi tersebut motor DC berubah fungsi menjadi generator dan

menghasilkan energi listrik akibat putaran yang dihasilkan selama proses penurunan kabin.

Waktu perpindahan menuju mode regeneratif disesuaikan dengan jarak perpindahan lantai. Pengaturan waktu tersebut bertujuan agar kabin memiliki momentum yang cukup sebelum motor diubah menjadi generator sehingga proses regeneratif dapat berlangsung dengan lebih stabil. Setelah kabin mencapai lantai tujuan dan limit switch aktif, Arduino Uno menghentikan seluruh proses pergerakan, mengembalikan relay ke kondisi normal, mematikan indikator tujuan, serta mengembalikan sistem ke kondisi siaga untuk menerima perintah berikutnya. Dengan perancangan perangkat lunak tersebut, prototype mampu menjalankan seluruh fungsi utama secara otomatis, mulai dari menerima perintah pengguna, mengendalikan perpindahan kabin, mengoperasikan pintu lift, hingga mengaktifkan sistem regenerative braking sesuai logika yang telah dirancang.

4.5 Hasil Pengujian Prototype

Pengujian prototype smart lift regeneratif dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan setiap bagian sistem serta kinerja keseluruhan prototype sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan terhadap perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, meliputi pengujian push button dan LED indikator, limit switch, motor DC dan driver IBT-2, motor servo, modul suara ISD1820, relay, pergerakan kabin antar lantai, serta sistem regeneratif.

Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi masukan tertentu pada sistem, kemudian mengamati respons yang dihasilkan oleh prototype. Hasil pengujian dicatat dalam bentuk tabel untuk mempermudah proses analisis dan pembahasan.

Pengujian sistem regeneratif menjadi bagian utama dalam penelitian ini karena bertujuan untuk mengetahui kemampuan motor DC dalam menghasilkan energi listrik ketika kabin bergerak turun. Pada pengujian tersebut diamati proses perpindahan motor dari mode penggerak menuju mode regeneratif, tegangan yang dihasilkan, serta perubahan tegangan berdasarkan jarak perpindahan kabin antar lantai.

Hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk mengetahui apakah prototype telah bekerja sesuai dengan tujuan perancangan dan untuk menganalisis penerapan sistem regenerative braking sebagai metode pemanfaatan kembali energi pada prototype smart lift.

4.5.1 Pengujian Arduino Uno

Pengujian Arduino Uno dilakukan untuk mengetahui apakah mikrokontroler dapat menjalankan program dan mengendalikan komponen-komponen yang terhubung sesuai dengan rancangan. Pengujian dilakukan dengan mengunggah program ke Arduino Uno melalui Arduino IDE, kemudian mengamati respons keluaran pada LED indikator, driver motor IBT-2, relay, motor servo, dan modul suara ISD1820. Pengujian Arduino Uno juga dilakukan dengan memastikan bahwa setiap masukan dari push button dan limit switch dapat dibaca oleh mikrokontroler. Setelah program dijalankan, Arduino Uno harus mampu memproses masukan tersebut dan memberikan keluaran sesuai dengan logika sistem yang telah dirancang. Dan berikut table hasil pengujian pada Arduino dan perintah yang di salurkan ke komponen.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Arduino Uno

No	Bagian yang di uji	Masukan	Keluaran yang di harapkan	Hasil
1	Push Button & led	Tombol di tekan dan led menyala	Arduino membaca perintah lantai	Berhasil
2	Driver IBT-2	Perintah naik turun	Motor bergerak sesuai arah	Berhasil
3	Limit swith	Kabin menyentuh swith	Arduino mendeteksi posisi lantai	Berhasil
4	Relay	Perintah mode motor/regeneratif	Relay berpindah sesuai program	Berhasil
5	Servo SG-90	Lift mencapai tujuan	Pintu membuka/menutup	Berhasil
6	Modul ISD1820	Lift mencapai tujuan	Modul menghasilkan suara	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2, Arduino Uno dapat menjalankan program dan mengolah masukan dari push button serta limit switch sesuai dengan rancangan. Arduino Uno juga mampu memberikan keluaran kepada driver IBT-2, relay, motor servo, LED indikator, dan modul suara ISD1820.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa Arduino Uno dapat berfungsi sebagai pusat kendali prototype smart lift regeneratif. Dengan demikian, mikrokontroler dapat digunakan untuk mengintegrasikan sistem penggerak, sensor posisi, sistem pintu, indikator, serta sistem regeneratif dalam satu sistem kendali.

4.5.2 Pengujian Motor DC dan Driver IBT-2

Pengujian motor DC gearbox 12 V dilakukan untuk mengetahui kemampuan motor dalam menggerakkan kabin lift pada arah naik dan turun. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan motor DC ke driver IBT-2 yang dikendalikan oleh Arduino Uno. Pengujian meliputi arah putaran motor, kemampuan motor menggerakkan kabin, serta kondisi motor saat diberikan perintah berhenti. tujuan pengujian ini adalah memastikan motor dan driver IBT-2 dapat bekerja sesuai dengan arah pergerakan yang ditentukan oleh program sebelum sistem lainnya diuji.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Motor Driver Dan IBT-2

No	Posisi Awal	Tujuan	Perintah	Kondisi Motor	Kondisi kabin	Hasil
1	Lantai 1	Lantai 2	Naik	Berputar	Bergerak naik	Berhasil
2	Lantai 2	Lantai 3	Naik	Berputar	Bergerak naik	Berhasil
3	Lantai 3	Lantai 4	Naik	Berputar	Bergerak naik	Berhasil
4	Lantai 4	Lantai 3	Turun	Berputar	Bergerak Turun	Berhasil
5	Lantai 3	Lantai 2	Turun	Berputar	Bergerak Turun	Berhasil
6	Lantai 2	Lantai 1	Turun	Berputar	Bergerak Turun	Berhasil
7	Lantai 1	Lantai 4	Naik	Berputar	Bergerak Naik	Berhasil
8	Lantai 4	Lantai 1	Turun	Berputar	Bergerak Turun	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2, motor DC gearbox 12 V yang dikendalikan menggunakan driver IBT-2 mampu menggerakkan kabin lift pada arah naik maupun turun sesuai dengan perintah yang diberikan. Pengujian dari

lantai 1 menuju lantai 2, lantai 2 menuju lantai 3, dan lantai 3 menuju lantai 4 menunjukkan bahwa motor mampu menggerakkan kabin ke arah atas. Pada pengujian arah turun, motor juga mampu menggerakkan kabin dari lantai 4 menuju lantai 3, lantai 3 menuju lantai 2, dan lantai 2 menuju lantai 1. Dengan demikian, berdasarkan pengujian awal, motor DC dan driver IBT-2 dapat berfungsi sesuai dengan rancangan sistem penggerak prototype smart lift

4.5.3 Pengujian Push Button dan LED Indikator

Pengujian push button dan LED indikator dilakukan untuk mengetahui kemampuan tombol dalam memberikan perintah pemilihan lantai serta kemampuan LED yang terintegrasi pada push button dalam memberikan indikasi lantai tujuan. Pengujian dilakukan dengan menekan setiap tombol lantai secara bergantian dan mengamati respons Arduino Uno serta kondisi LED indikator.

No	Push Button	Lantai Tujuan	Kondisi tombol	Led indikator	Hasil
1	Tombol lantai 1	Lantai 1	Berfungsi	Menyala	Berhasil
2	Tombol lantai 2	Lantai 2	Berfungsi	Menyala	Berhasil
3	Tombol lantai 3	Lantai 3	Berfungsi	Menyala	Berhasil
4	Tombol lantai 4	Lantai 4	Berfungsi	Menyala	Berhasil

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Push Button dan LED Indikator

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3, keempat push button dapat memberikan masukan kepada Arduino Uno sesuai dengan lantai tujuan yang dipilih. Setiap tombol yang ditekan menyebabkan Arduino Uno mengenali lantai tujuan dan mengaktifkan LED yang terintegrasi pada push button tersebut sebagai indikator. LED indikator akan menyala selama proses perjalanan menuju lantai yang dipilih dan akan dimatikan setelah kabin mencapai lantai tujuan. Dengan demikian, push button beserta LED indikator dapat berfungsi sesuai dengan rancangan sistem sebagai perangkat input sekaligus indikator visual pada prototype smart lift.

4.5.4 Pengujian Limit Switch

Pengujian limit switch dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi posisi kabin pada setiap lantai serta memberikan perintah penghentian motor ketika kabin telah mencapai lantai tujuan. Pada prototype digunakan empat buah limit switch yang masing-masing dipasang pada lantai 1, lantai 2, lantai 3, dan lantai 4. Pengujian dilakukan dengan menggerakkan kabin menuju masing-masing lantai dan mengamati kondisi motor ketika kabin menyentuh limit switch.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Limit Switch

No	Limit swith	Posisi	Kondisi saat tertekan	Kondisi Motor	Hasil
1	Di Lantai 1	lantai 1	Aktif	Berhenti	Berhasil
2	Di Lantai 2	lantai 2	Aktif	Berhenti	Berhasil
3	Di Lantai 3	lantai 3	Aktif	Berhenti	Berhasil
4	Di Lantai 4	lantai 4	Aktif	Berhenti	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3, keempat limit switch dapat mendeteksi posisi kabin pada masing-masing lantai dengan baik. Ketika kabin mencapai lantai tujuan dan menekan limit switch, sinyal dari swith diterima oleh Arduino Uno sehingga sistem memberikan perintah untuk menghentikan motor. Hasil tersebut menunjukkan bahwa limit switch dapat digunakan sebagai sensor posisi pada prototype smart lift. Penggunaan limit switch juga memungkinkan penghentian kabin berdasarkan posisi actual pada setiap lantai, sehingga tidak hanya bergantung pada waktu pergerakan motor yang di rancang untuk menghentikan lift

4.5.5 Pengujian Motor Servo Pintu

Pengujian motor servo SG90 dilakukan guna untuk mengetahui kemampuan servo dalam menggerakkan mekanisme pintu lift pada saat kabin telah mencapai lantai tujuan. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah kepada servo melalui Arduino Uno untuk membuka dan menutup pintu secara otomatis saat tiba

di lantai tujuan. Pada program yang digunakan, servo berada pada posisi tertutup saat lift melakukan perjalanan. Setelah limit switch pada lantai tujuan aktif dan motor berhenti, servo bergerak ke posisi membuka pintu. Setelah waktu tunggu selama 2 detik, servo kembali ke posisi semula sehingga pintu tertutup kembali dan sistem kembali dalam kondisi siap untuk menerima perintah berikutnya. sesuai dengan lantai tujuan berikutnya. motor servo juga di uji coba secara berkala dengan menguji fungsi kabel, motor, kemudian bagaimana motor dapat menggerakkan pintu secara otomatis. Ketika sampai pada lantai yang di panggil. dan berikut merupakan table hasil pengujian motor servo pada penelitian rancang bangun smart lift regenerative.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Motor Servo

No	Kondisi pengujian	Perintah servo	Kondisi pintu	Hasil
1	Sebelum lift berjalan	Posisi 0°	Pintu tertutup	Berhasil
2	Lift mencapai lantai tujuan	Posisi 90°	Pintu terbuka	Berhasil
2	Setelah waktu tunggu 2 detik	Posisi 0°	Pintu tertutup kembali	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4, motor servo SG90 dapat bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan oleh Arduino Uno. Pada saat lift dalam kondisi perjalanan, servo berada pada posisi 0° sehingga pintu berada dalam kondisi tertutup. Setelah kabin mencapai lantai tujuan dan limit switch aktif, Arduino Uno memberikan perintah kepada servo untuk bergerak menuju posisi 90° sehingga pintu terbuka. Setelah pintu terbuka selama 2 detik, Arduino Uno memberikan perintah kepada servo untuk kembali ke posisi 0°. Pergerakan tersebut menyebabkan pintu kembali tertutup dan sistem siap melakukan perjalanan berikutnya. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, motor servo SG90 dapat digunakan sebagai aktuator pintu otomatis pada prototype smart lift dan telah bekerja sesuai dengan rancangan sistem. Dan penggunaan motor ini adalah sebagai bagian dari rencana penelitian.

4.5.6 Pengujian Modul Suara ISD1820

Pengujian modul suara ISD1820 dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul dalam memberikan indikator suara ketika kabin telah mencapai lantai tujuan. Modul ISD1820 dikendalikan oleh Arduino Uno dan diaktifkan setelah limit switch pada lantai tujuan mendeteksi bahwa kabin telah mencapai posisi yang ditentukan. Pengujian dilakukan dengan menjalankan kabin menuju masing-masing lantai tujuan. Setelah kabin menyentuh limit switch, diamati apakah modul ISD1820 dapat menghasilkan suara sebagai indikator bahwa perjalanan lift telah selesai. Pengujian dilakukan sebanyak 6 kali sampai modul suara benar benar berfungsi secara baik dan tidak mempengaruhi system lainnya

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pengujian Modul Suara

No	Kondisi pengujian	Kondisi limit swith	Modul ISD 1820	Hasil
1	Kabin mencapai Lantai 1	Aktif	Berbunyi	Berhasil
2	Kabin mencapai Lantai 2	Aktif	Berbunyi	Berhasil
3	Kabin mencapai Lantai 3	Aktif	Berbunyi	Berhasil
4	Kabin mencapai Lantai 4	Aktif	Berbunyi	Berhasil

pengujian pada Tabel 4.5, modul suara ISD1820 dapat bekerja sesuai dengan rancangan sistem. Modul aktif setelah limit switch pada lantai tujuan memberikan sinyal kepada Arduino Uno yang menunjukkan bahwa kabin telah mencapai posisi tujuan. Suara yang dihasilkan oleh modul ISD1820 berfungsi sebagai indikator kepada pengguna bahwa proses perpindahan kabin telah selesai. Hasil pengujian pada keempat lantai menunjukkan bahwa modul dapat memberikan indikator suara pada setiap kondisi lantai tujuan. dengan demikian, modul ISD1820 dapat digunakan sebagai indikator suara pada prototype smart lift dan bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang.

4.5.7 Pengujian Relay

Pengujian relay dilakukan untuk mengetahui kemampuan relay dalam mengalihkan hubungan motor DC antara mode penggerak dan mode regeneratif. Pengujian ini merupakan bagian penting karena relay digunakan sebagai penghubung antara sistem penggerak motor dan rangkaian regeneratif. Pada

kondisi motor bekerja sebagai penggerak, relay berada pada kondisi mode motor sehingga motor terhubung dengan driver IBT-2. Ketika proses regeneratif dimulai, relay berpindah ke mode regeneratif .

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Relay

No	Kondisi sistem	Kondisi relay	Fungsi	Hasil
1	Motor bergerak naik	Mode motor	Motor sebagai penggerak	Berhasil
2	Motor bergerak turun sebelum regeneratif	Mode motor	Motor sebagai penggerak	Berhasil
3	Proses regeneratif	Mode regeneratif	Motor sebagai generator	Berhasil
4	Lift mencapai lantai tujuan	Kembali mode motor	System siap menerima perintah	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5, relay dapat menjalankan fungsi pengalihan hubungan motor sesuai dengan kondisi operasi sistem. Ketika lift bergerak naik, relay berada pada mode motor sehingga motor DC bekerja sebagai penggerak kabin. Pada saat lift bergerak turun, motor terlebih dahulu bekerja sebagai penggerak untuk memberikan pergerakan awal. Setelah waktu yang telah ditentukan tercapai, relay berpindah ke mode regeneratif. Pada kondisi tersebut hubungan motor dialihkan menuju rangkaian regeneratif sehingga motor dapat dimanfaatkan sebagai generator. Setelah kabin mencapai lantai tujuan, sistem menghentikan pergerakan motor dan relay dikembalikan ke kondisi mode motor. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa relay dapat menjalankan fungsi pengalihan mode sesuai dengan rancangan sistem.

4.5.8 Pengujian Pergerakan Lift Antar Lantai

Pengujian pergerakan lift antar lantai dilakukan untuk mengetahui kemampuan prototype dalam melakukan perpindahan kabin dari satu lantai menuju lantai lainnya sesuai dengan perintah yang diberikan melalui push button. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi perpindahan lantai, baik pada arah naik maupun turun.

Pada pengujian ini diamati kemampuan sistem dalam menerima perintah tujuan, menggerakkan motor DC melalui driver IBT-2, menghentikan kabin ketika limit switch pada lantai tujuan aktif, serta menjalankan fungsi pintu dan indikator setelah kabin mencapai lantai tujuan.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Pergerakan Lift Antar Lantai

No	Posisi Awal	Lantai tujuan	Arah	Limit swith	Kondisi kabin	Hasil
1	Lantai 1	Ke lantai 2	Naik	Aktif	Berhenti di lt 2	Berhasil
2	Lantai 2	Ke lantai 3	Naik	Aktif	Berhenti di lt 3	Berhasil
3	Lantai 3	Ke lantai 4	Naik	Aktif	Berhenti di lt 4	Berhasil
4	Lantai 4	Ke lantai 3	Turun	Aktif	Berhenti di lt 3	Berhasil
5	Lantai 3	Ke lantai 2	Turun	Aktif	Berhenti di lt 2	Berhasil
6	Lantai 2	Ke lantai 1	Turun	Aktif	Berhenti di lt 1	Berhasil
7	Lantai 1	Ke lantai 4	Naik	Aktif	Berhenti di lt 4	Berhasil
8	Lantai 4	Ke lantai 1	Turun	Aktif	Berhenti di lt 1	Berhasil
9	Lantai 1	Ke lantai 4	Naik	Aktif	Berhenti di lt 4	Berhasil
10	Lantai 4	Ke lantai 2	Naik	Aktif	Berhenti di lt 2	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.9, prototype smart lift dapat melakukan perpindahan kabin antar lantai sesuai dengan lantai tujuan yang dipilih. Pada pengujian arah naik, kabin dapat berpindah dari lantai 1 menuju lantai 2, lantai 2 menuju lantai 3, dan lantai 3 menuju lantai 4. Pada arah turun, kabin dapat melakukan perpindahan dari lantai 4 menuju lantai 3, lantai 3 menuju lantai 2, dan lantai 2 menuju lantai 1. Pengujian perpindahan lebih dari satu lantai juga dilakukan, yaitu dari lantai 4 menuju lantai 2, lantai 3 menuju lantai 1, dan lantai 4 menuju lantai 1.

Pada setiap pengujian, limit switch pada lantai tujuan dapat mendeteksi posisi kabin sehingga motor dapat dihentikan setelah kabin mencapai lantai yang dituju. Setelah kabin berhenti, sistem menjalankan proses berikutnya sesuai program, yaitu mengaktifkan indikator suara dan mengoperasikan pintu menggunakan motor servo. Berdasarkan hasil tersebut, sistem kendali prototype dapat menjalankan perpindahan kabin antar lantai sesuai dengan tujuan yang diberikan. Pengujian ini juga menjadi dasar untuk melakukan pengujian khusus

terhadap sistem regeneratif pada saat kabin bergerak turun, yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

4.5.9 Pengujian Sistem Regeneratif

Pengujian sistem regeneratif dilakukan untuk mengetahui kemampuan prototype dalam memanfaatkan energi mekanik yang dihasilkan ketika kabin lift bergerak turun. Pada kondisi ini, motor DC yang sebelumnya berfungsi sebagai penggerak dialihkan menjadi generator melalui mekanisme relay sehingga energi listrik yang dihasilkan dapat disalurkan menuju rangkaian regeneratif. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah perpindahan kabin dari lantai yang lebih tinggi menuju lantai yang lebih rendah. Sebelum memasuki mode regeneratif, motor DC bekerja sebagai penggerak untuk memberikan pergerakan awal kabin. Setelah waktu yang telah ditentukan berdasarkan jarak perpindahan tercapai, relay mengalihkan hubungan motor menuju rangkaian regeneratif. Energi listrik yang dihasilkan oleh motor kemudian disalurkan melalui bridge rectifier untuk proses penyearahan dan selanjutnya diamati menggunakan voltmeter. Pengujian dilakukan pada beberapa rute perpindahan dengan waktu aktivasi regeneratif yang berbeda.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sistem Regeneratif

No	Rute	Timer	Tegangan kapasitor awal	Tegangan kapasitor setelah regeneratif	Hasil
1	Lantai 4-3	300 ms	000 V	1,52 V	Terukur
2	Lantai 3-2	300 ms	000 V	1,52 V	Terukur
3	Lantai 2-1	300 ms	000 V	1,52 V	Terukur
4	Lantai 4-2	600 ms	000 V	1,52 V	Terukur
5	Lantai 3-1	600 ms	000 V	1,52 V	Terukur
6	Lantai 4-1	900 ms	000 V	1,52 V	Terukur

Berdasarkan hasil pengujian, sistem regeneratif dirancang untuk memanfaatkan putaran motor DC ketika kabin bergerak turun. Pada tahap awal penurunan, motor masih bekerja sebagai penggerak untuk memberikan pergerakan awal kabin. Setelah waktu yang ditentukan tercapai, relay mengalihkan hubungan

motor menuju rangkaian regeneratif sehingga motor dapat bekerja sebagai generator.

Perbedaan jarak perpindahan menyebabkan waktu aktivasi regeneratif dibuat berbeda. Untuk perpindahan satu lantai digunakan waktu 300 ms, perpindahan dua lantai menggunakan waktu 600 ms, sedangkan perpindahan tiga lantai menggunakan waktu 900 ms. Pengaturan tersebut digunakan untuk menyesuaikan proses regeneratif dengan jarak perjalanan kabin. Tegangan yang dihasilkan selama proses regeneratif kemudian diukur menggunakan voltmeter. Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk mengetahui kemampuan motor DC dalam menghasilkan energi listrik pada masing-masing kondisi perpindahan. Semakin besar dan stabil tegangan yang dihasilkan, semakin baik proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik pada sistem prototype.

4.5.10 Perhitungan Energi yang Tersimpan pada Kapasitor

Perhitungan energi yang tersimpan pada kapasitor dilakukan untuk mengetahui besarnya energi listrik hasil proses regeneratif yang dapat disimpan sementara pada kapasitor. Pada saat kabin bergerak turun, motor DC berfungsi sebagai generator dan menghasilkan tegangan listrik. Tegangan tersebut kemudian dialirkan menuju bridge rectifier untuk disearahkan sehingga menghasilkan tegangan DC yang selanjutnya disimpan pada kapasitor. Pada prototype digunakan kapasitor dengan nilai 470 μF dan tegangan kerja maksimum 25 V. Berdasarkan hasil pengujian, tegangan yang terukur pada kapasitor setelah proses regeneratif mencapai 1,52 V. Energi yang tersimpan pada kapasitor dihitung dengan rumus

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

Keterangan:

- h) W = energi yang tersimpan pada kapasitor, satuan Joule (J)
- i) C = kapasitansi kapasitor, satuan Farad (F)
- j) V = tegangan pada kapasitor, satuan Volt (V)
- k) $\frac{1}{2}$ = konstanta pada persamaan energi kapasitor
- c) V^2 = kuadrat dari tegangan kapasitor

$$C = 470 \mu\text{F} \quad C = 470 \times 10^{-6} \text{F}$$

Tegangan hasil pengukuran: $V = 1,52 \text{V}$

Diketahui:

- $C=470\ \mu\text{F}=470\times 10^{-6}\ \text{F}$
- $V=1,52\text{V}$

Maka:

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} (470 \times 10^{-6}) (1,52)^2$$

$$W = \frac{1}{2} (470 \times 10^{-6}) (1,52)^2$$

$$W = 0,0005429\ \text{J}$$

Jadi energi yang tersimpan pada kapasitor = 0,0005429 J

No	Parameter	Nilai
1	Kapasitas kapasitor	470 μF
2	Tegangan kerja kapasitor	25 V
3	Tegangan hasil regeneratif	1,52 V
4	Energi tersimpan	0,0005429 J
5	Energi tersimpan	0,5429 mJ

Berdasarkan hasil perhitungan, tegangan sebesar 1,52 V yang terukur pada kapasitor 470 μF menghasilkan energi tersimpan sebesar 0,0005429 atau 0,5429 mJ. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses regeneratif pada prototype menghasilkan energi listrik yang dapat disimpan sementara pada kapasitor. Nilai energi yang diperoleh merupakan energi yang tersimpan pada kapasitor berdasarkan tegangan akhir hasil pengukuran. Nilai tersebut belum menunjukkan seluruh energi mekanik yang berhasil dikonversikan oleh motor karena terdapat kemungkinan adanya rugi-rugi pada motor, driver, relay, bridge rectifier, dan komponen lainnya.

4.6 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dilakukan berdasarkan hasil perancangan dan pengujian prototype smart lift regeneratif yang telah dilakukan. Pembahasan bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil pengujian dengan rancangan sistem yang telah dibuat. Analisis meliputi sistem kendali, sistem penggerak, sistem deteksi posisi, sistem pintu dan indikator, serta sistem regeneratif sebagai bagian utama dari penelitian.

4.6.1 Analisis Hasil Pengujian Arduino Uno

Arduino Uno pada prototype berfungsi sebagai pusat kendali yang mengatur seluruh proses kerja sistem. Arduino menerima masukan dari push button sebagai pemilih lantai dan limit switch sebagai pendeteksi posisi kabin. Berdasarkan masukan tersebut, Arduino memproses kondisi sistem dan memberikan keluaran kepada driver IBT-2, relay, motor servo, LED indikator, dan modul suara ISD1820.

Berdasarkan hasil pengujian pada Subbab 4.2.1, Arduino Uno mampu menerima dan mengolah masukan dari perangkat input serta memberikan keluaran sesuai dengan program yang telah dirancang. Hal ini ditunjukkan dengan berfungsinya sistem pemilihan lantai, pergerakan motor, pendeteksian posisi kabin, pengoperasian pintu, indikator suara, serta perpindahan mode relay.

Dengan demikian, Arduino Uno dapat berfungsi sebagai pusat pengendalian pada seluruh rangkaian pada prototype smart lift regeneratif dan mampu mengintegrasikan perangkat input, proses, dan output dalam satu sistem. Sehingga hasil yang di dapatkan maksimal dan dapat di pahami dengan teliti, Penggunaan Arduino pada penelitian skla prototype sangat banyak di gunakan karena dapat mudah di gunakan.

4.6.2 Analisis Sistem Penggerak

Sistem penggerak prototype menggunakan motor DC gearbox 12 V yang dikendalikan menggunakan driver IBT-2. Motor berfungsi menggerakkan kabin lift pada arah naik maupun turun berdasarkan lantai tujuan yang dipilih. Berdasarkan hasil pengujian pada Subbab 4.2.3, motor mampu menggerakkan

kabin dari lantai 1 menuju lantai 2, lantai 2 menuju lantai 3, dan lantai 3 menuju lantai 4. Pada arah turun, motor juga mampu menggerakkan kabin dari lantai 4 menuju lantai 3, lantai 3 menuju lantai 2, dan lantai 2 menuju lantai 1.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa driver IBT-2 mampu mengendalikan arah putaran motor DC sesuai dengan perintah yang diberikan oleh Arduino Uno. Sistem penggerak dapat menjalankan fungsi dasar pergerakan kabin pada prototype sesuai dengan rancangan. Pada proses penurunan kabin, motor juga memiliki fungsi tambahan sebagai generator. Fungsi tersebut menjadi dasar penerapan sistem regeneratif yang dianalisis pada Subbab 4.3.5.

4.6.3 Analisis Sistem Deteksi Posisi

Sistem deteksi posisi menggunakan empat buah limit switch yang ditempatkan pada masing-masing lantai. Limit switch berfungsi memberikan informasi kepada Arduino Uno ketika kabin telah mencapai lantai tujuan. Berdasarkan hasil pengujian pada Subbab 4.2.4, setiap limit switch dapat mendeteksi posisi kabin pada lantai masing-masing.

Ketika limit switch aktif, Arduino memberikan perintah untuk menghentikan motor sehingga kabin berhenti pada posisi tujuan. Penggunaan limit switch pada prototype ini memberikan keuntungan karena penghentian kabin didasarkan pada kondisi fisik posisi kabin, bukan hanya berdasarkan waktu pengoperasian motor. Dengan demikian, limit switch dapat berfungsi sebagai sensor posisi pada prototype *smart lift*. Dengan penggunaan 4 limit switch hasil yang diharapkan dapat sesuai dengan yang di rencanakan

4.6.3 Analisis Sistem Pintu dan Indikator

Sistem pintu menggunakan motor servo SG90 yang dikendalikan oleh Arduino Uno. Berdasarkan hasil pengujian, servo dapat membuka pintu setelah kabin mencapai lantai tujuan dan kembali ke posisi semula setelah waktu tunggu yang telah ditentukan.

Selain sistem pintu, prototype dilengkapi dengan push button dan LED indikator sebagai antarmuka pengguna serta modul suara ISD1820 sebagai indikator suara ketika kabin mencapai lantai tujuan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

komponen-komponen tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsi masing-masing. Integrasi antara limit switch, servo, LED indikator, dan ISD1820 membuat proses kedatangan kabin pada lantai tujuan dapat diketahui melalui indikator visual, suara, dan mekanisme pembukaan pintu.

4.6.5 Analisis Sistem Regeneratif

Sistem regeneratif merupakan bagian utama pada prototype *smart lift* yang dirancang untuk memanfaatkan energi yang dihasilkan ketika kabin bergerak dari lantai yang lebih tinggi menuju lantai yang lebih rendah. Pada kondisi tersebut, motor DC tidak hanya berfungsi sebagai penggerak, tetapi juga dimanfaatkan sebagai generator akibat adanya putaran motor selama proses penurunan kabin. Energi listrik yang dihasilkan oleh motor DC kemudian dialirkan menuju bridge rectifier. Dengan secara fisik motor DC dihubungkan langsung ke terminal input AC ($\sim$) pada bridge rectifier melalui kabel, setelah itu kemudian relay mengalihkan rangkaian ke mode regeneratif.

Komponen ini berfungsi menyearahkan tegangan yang dihasilkan oleh motor sehingga dapat digunakan sebagai sumber tegangan DC pada rangkaian penyimpanan. Setelah melalui bridge rectifier, energi listrik dialirkan menuju kapasitor elektrolit 470 μ F/25 V untuk disimpan sementara. Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan voltmeter yang dipasang pada bagian kapasitor. Berdasarkan hasil pengujian pada Subbab 4.2.9, proses penurunan pada seluruh rute yang diuji menghasilkan kenaikan tegangan pada kapasitor hingga 1,52 V pada saat turu, dimana motor di fungsikan sebagai generator yang dapat menghasilkan listrik yang kemudian di simpan pada kapasitor.

Alur proses regenerative :

Motor DC sebagai generator



Bridge Rectifier



Tegangan DC hasil penyearahan



Kapasitor 470 μ F / 25 V



Voltmeter

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada saat kabin bergerak turun, terjadi proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Tegangan listrik hasil pembangkitan motor kemudian dapat disimpan sementara pada kapasitor.

Energi yang tersimpan pada kapasitor dihitung menggunakan persamaan energi kapasitor dengan rumus :

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

Dengan nilai : $C = 470\mu F = 470 \times 10^{-6} F$

Dan tegangan hasil pengukuran : $V = 1,52 V$

maka : $W = \frac{1}{2} (470 \times 10^{-6}) (1,52)^2$

$$W = \frac{1}{2} (470 \times 10^{-6}) (1,52)^2$$

$$W = 0,0005429 J$$

atau : $W = 0,5429 mJ$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, energi yang tersimpan pada kapasitor selama kondisi pengujian adalah sekitar 0,5429 mJ. Nilai ini merupakan energi yang tersimpan pada kapasitor berdasarkan tegangan akhir yang terukur, bukan keseluruhan energi mekanik yang tersedia pada sistem. Dalam proses regeneratif terdapat kemungkinan kehilangan energi pada beberapa bagian sistem, seperti motor DC, relay, bridge rectifier, kabel, dan komponen lainnya. Oleh karena itu, energi yang tersimpan pada kapasitor lebih kecil dibandingkan energi mekanik yang tersedia selama kabin bergerak turun. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa konsep regenerative braking pada prototype telah berhasil diterapkan, yaitu dengan memanfaatkan motor DC sebagai generator pada saat cabin turun

4.6.6 Analisis Kinerja Keseluruhan Prototype

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, prototype *smart lift* regeneratif mampu menjalankan fungsi utama yang telah dirancang, mulai dari pemilihan lantai, pergerakan kabin, pendeteksian posisi, pengoperasian pintu, indikator suara, hingga penerapan sistem regeneratif pada saat kabin bergerak turun. Hasil

pengujian juga menunjukkan bahwa sistem regeneratif mampu menghasilkan tegangan sebesar 1,52 V pada kapasitor 470 μ F/25 V.

Berdasarkan perhitungan, energi yang tersimpan pada kapasitor mencapai 0,5429 mJ. Dengan demikian, prototype telah menunjukkan penerapan konsep pemanfaatan energi regeneratif pada sistem lift, meskipun energi yang berhasil disimpan pada kapasitor dalam pengujian masih relatif kecil. Hasil tersebut dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut, terutama dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan dan efisiensi proses regeneratif.

4.7 Analisis Potensi Penghematan Energi pada Lift Komersial

Berdasarkan hasil pengujian, prototype berhasil membuktikan bahwa energi mekanik yang dihasilkan ketika kabin bergerak turun dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui motor DC yang berfungsi sebagai generator. Energi tersebut kemudian disearahkan menggunakan *bridge rectifier* dan disimpan sementara pada kapasitor. Hasil pengujian menunjukkan tegangan sebesar 1,52 V, yang membuktikan bahwa konsep regenerative braking dapat diterapkan pada prototype.

Sebagai analisis penerapan, digunakan data lift Mitsubishi dengan kapasitas 1000 kg, daya motor 15 kW, kecepatan 90 m/menit, tinggi antar lantai 2,10 m, serta waktu operasi 15 jam per hari. Dengan asumsi motor bekerja pada daya nominal selama waktu operasi tersebut, konsumsi energi dapat di hitung secara teoritis pada lift adalah:

$$E = P \times t$$

$$E = 15 \text{ kW} \times 15 \text{ jam}$$

$$E = 15 \text{ kW} \times 15$$

$$E = 225 \text{ kWh/hari}$$

Penelitian mengenai regenerative drive pada lift menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan saat kabin bergerak turun dapat dikembalikan ke sistem kelistrikan gedung sehingga mengurangi konsumsi energi dari jaringan listrik. Besarnya penghematan bergantung pada pola operasi lift, distribusi beban, dan karakteristik sistem regeneratif yang digunakan.

Sebagai analisis konservatif, apabila konsep sistem regeneratif hasil penelitian ini dikembangkan menjadi sistem komersial dan mampu memberikan pengurangan konsumsi energi sebesar 10%, maka diperoleh estimasi sebagai berikut.

Tabel 4.10 Analisis Potensi Penghematan Energi

No	Parameter	Nilai
1	Konsumsi energi tanpa regeneratif	225 Kwh/hari
2	Estimasi penghematan 10 %	22,5 Kwh/hari
3	Konsumsi energi setelah regeneratif	202,5/hari
4	Tarif listrik	Rp.1.122/KWh
5	Penghematan Biaya Perhari	Rp.25.245
3	Konsumsi energi setelah regeneratif	202,5/hari

Diketahui

- a) Tarif listrik = Rp 1.122/kWh
- b) Konsumsi tanpa regeneratif = 225 kWh/hari
- c) Estimasi penghematan = 10%
- d) Energi yang dihemat = 22,5 kWh/hari
- e) Penghematan biaya per hari = $22,5 \times 1.122$ = Rp25.245
- f) Penghematan biaya per bulan (30 hari) = $Rp25.245 \times 30$ = Rp757.350
- d) Penghematan biaya per tahun (365 hari) = $Rp25.245 \times 365$ = Rp9.214.425

Perhitungan tersebut merupakan simulasi penerapan konsep berdasarkan spesifikasi lift komersial dan bukan hasil pengukuran langsung pada prototype. Prototype pada penelitian ini berfungsi untuk membuktikan bahwa konsep regenerative braking dapat menghasilkan energi listrik, sedangkan besarnya penghematan pada lift komersial bergantung pada kapasitas komponen, sistem regenerative drive, pola operasi, dan kondisi pembebanan yang dapat mempengaruhi besar kecilnya potensi penghematan energi pada lift yang di gunakan .

4.8 Keterbatasan Hasil Perancangan dan Pengujian

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian prototype *smart lift* regeneratif, masih terdapat beberapa keterbatasan yang ditemukan selama proses pengujian. Keterbatasan tersebut terutama berkaitan dengan kapasitas penyimpanan energi, besarnya energi hasil regeneratif, serta kestabilan sistem pada kondisi pengoperasian tertentu. Pada sistem regeneratif, tegangan yang terukur pada kapasitor sebesar 1,52 V dengan menggunakan kapasitor elektrolit 470 $\mu\text{F}/25\text{ V}$. Berdasarkan hasil perhitungan, energi yang tersimpan pada kapasitor sebesar 0,00005429 J atau 0, 0,5429 mJ. Nilai tersebut menunjukkan bahwa energi yang berhasil disimpan pada kapasitor masih relatif kecil.

Selain itu, proses regeneratif pada prototype masih dipengaruhi oleh kondisi putaran motor, beban kabin, karakteristik mekanik sistem, serta rugi-rugi pada komponen rangkaian seperti relay dan bridge rectifier. Oleh karena itu, hasil regeneratif yang diperoleh pada prototype belum dapat digunakan untuk menyatakan besarnya persentase penghematan energi secara keseluruhan. Keterbatasan lainnya terdapat pada sistem kendali yang menggunakan waktu tertentu untuk menentukan perpindahan menuju mode regeneratif berdasarkan jarak perpindahan kabin. Pengaturan waktu tersebut masih perlu disesuaikan dengan kondisi aktual pergerakan kabin agar proses regeneratif dapat berlangsung secara lebih konsisten.

4.9 Pengembangan Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dan keterbatasan yang ditemukan, prototype masih dapat dikembangkan untuk meningkatkan kinerja sistem regeneratif. Pengembangan dapat dilakukan dengan menggunakan media penyimpanan energi yang memiliki kapasitas lebih besar, sehingga energi hasil regeneratif dapat dimanfaatkan dalam jumlah yang lebih besar.

Selain peningkatan kapasitas penyimpanan, sistem regeneratif juga dapat dikembangkan dengan menggunakan rangkaian pengendali pengisian yang lebih sesuai untuk mengatur tegangan dan arus hasil pembangkitan mot

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada prototype *Smart Lift Regeneratif dengan Sistem Penghematan Energi*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Prototype *smart lift* regeneratif berhasil dirancang dan direalisasikan menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama, motor DC gearbox 12 V sebagai penggerak kabin, driver IBT-2 sebagai pengendali motor, limit switch sebagai pendeteksi posisi lantai, motor servo SG90 sebagai penggerak pintu, push button sebagai pemilih lantai, modul suara ISD1820 sebagai indikator suara, serta bridge rectifier dan kapasitor 470 μ F/25 V sebagai rangkaian sistem regeneratif.
2. Sistem kendali yang dirancang mampu mengoperasikan prototype sesuai dengan program yang dibuat. Kabin lift dapat bergerak menuju lantai tujuan, berhenti secara otomatis ketika limit switch aktif, membuka dan menutup pintu menggunakan motor servo, serta memberikan indikator visual dan suara sesuai kondisi operasi.
3. Sistem regeneratif berhasil diterapkan pada prototype dengan memanfaatkan motor DC sebagai generator ketika kabin bergerak turun. Energi listrik yang dihasilkan disearahkan menggunakan bridge rectifier dan disimpan sementara pada kapasitor 470 μ F/25 V. Hasil pengujian menunjukkan tegangan pada kapasitor mencapai 1,52 V, sehingga membuktikan bahwa konsep regeneratif dapat diterapkan pada prototype.
4. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan energi kapasitor, energi listrik yang tersimpan pada kapasitor sebesar 0,00005429 Joule (0,05429 mJ). Nilai tersebut menunjukkan bahwa energi mekanik saat kabin bergerak turun berhasil dikonversi menjadi energi listrik, meskipun masih dalam skala prototype.

5. Berdasarkan analisis penerapan pada lift komersial berkapasitas 1000 kg dengan motor 15 kW, konsep sistem regeneratif yang dikembangkan pada penelitian ini berpotensi mengurangi konsumsi energi listrik apabila diterapkan menggunakan komponen yang sesuai dengan kapasitas lift komersial. Dengan konsumsi energi teoritis sebesar 225 kWh per hari, sistem regeneratif memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan mengurangi biaya operasional apabila dikembangkan menggunakan sistem regenerative drive yang sesuai.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Sistem penyimpanan energi sebaiknya menggunakan superkapasitor atau Battery Energy Storage System (BESS) sehingga energi hasil regeneratif dapat disimpan dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan kapasitor elektrolit.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan regenerative drive atau konverter daya dua arah (*bidirectional converter*) sehingga energi hasil regeneratif dapat dikembalikan ke sumber daya atau dimanfaatkan untuk beban listrik lainnya.
3. Pengukuran sistem regeneratif perlu dilengkapi dengan pengukuran arus, daya, dan energi listrik sehingga efisiensi sistem regeneratif dapat dihitung secara lebih akurat.
4. Prototype dapat dikembangkan menjadi skala yang lebih besar dengan menggunakan komponen yang memiliki spesifikasi mendekati lift komersial sehingga hasil penelitian dapat lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya.
5. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis ekonomi yang lebih rinci, meliputi perhitungan penghematan energi, biaya investasi, serta periode pengembalian investasi (*payback period*) apabila sistem regeneratif diterapkan pada lift komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Oktrialdi *et al.*, “Energi Alternatif Menggunakan Radiator Mobil Menghasilkan Power Supply Ac 12 Volt Dan 220 Volt,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 100–105, 2024, doi: 10.30596/rele.v6i2.17685.
- [2] F. S. Desky, S. Hardi, R. Rohana, and M. Harahap, “Intensitas Konsumsi Energi Listrik dan Analisa Peluang Hemat Energi pada Gedung A, B dan M di Kampus Universitas Pembangunan Panca Budi,” *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 104–108, 2022, doi: 10.30596/rele.v4i2.9532.
- [3] M. Syukri and Azhar, “Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP,” *J. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.56347/jes.v1i1.1.
- [4] R. D. Kurniawan, M. P. Hsb, and R. A. Sitompul, “Studi Literatur Sistem Penyimpanan Energi Berbasis Baterai: Jenis, Kinerja dan Aplikasinya di Sistem Energi Terbarukan,” *Perwira J. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 165–169, 2025, [Online]. Available: <https://ejournal.unperba.ac.id/index.php/pjse/article/view/547%0Ahttps://ejournal.unperba.ac.id/index.php/pjse/article/download/547/349>
- [5] G. Rahmatillah and B. Suprianto, “Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC Pada Prototipe Lift Menggunakan Kontroler Pi Berbasis Arduino,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 269–276, 2020.
- [6] Q. G. H. Rev, “Altivar TM 980 Regenerative Process Drive,” 2024.
- [7] M. N. Alfat, P. Studi, T. Diploma, and P. I. Pelayaran, “531611206059T_Skripsi_Open-Access,” 2021.
- [8] K. Al-Kodmany, “Tall buildings and elevators: A Review of Recent Technological Advances,” *Buildings*, vol. 5, no. 3, pp. 1070–1104, 2015, doi: 10.3390/buildings5031070.
- [9] R. C. Hibbeler, *Engineering Mechanics: Dynamics*, 14th ed. Pearson, 2022.
- [10] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. McGraw-Hill, 2012.

- [11] M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices*, 4th ed. Pearson, 2014.
- [12] T. L. Floyd, *Electronic Devices*, 9th ed. Pearson, 2012.
- [13] G . C. Barney, *Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice*. Spon Press, 2003.
- [14] International Organization for Standardization, *ISO 8100-1:2019, Lifts for the Transport of Persons and Goods—Part 1: Safety Rules for the Construction and Installation of Passenger and Goods Passenger Lifts*. ISO, 2019.
- [15] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform*, 3rd ed. Maker Media, 2014.

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

NAMA : BAHUDDIN HARAHAIP

NPM : 2207220090

Judul Tugas Akhir : "RANCANGAN SMART LIFT REGENERATIF Untuk
PENGHEMATAN ENERGI"

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1	14 Februari 2026	Perbaiki tulisan	
2	17 Februari 2026	Perbaiki gambar	
3	20 Februari 2026	Perbaiki tulisan	
4	4 Maret 2026	Angka Lempro	

Dosen Pembimbing



(BENNY OKTRIALDI, S.T , M.T)

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

NAMA : BAHUDDIN HARAHAHAP

NPM : 2207220090

Judul Tugas Akhir : " Rancang Bangun Smart Lift Regeneratif Untuk Penghematan Energi"

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1	6 Agustus 2024	- perbaiki Kt Gambar lebih baik.	
2.	11 Agustus 2024	- Tambahkan teori kipas angin.	
3.	13. Agur 2024	- perbaiki letak tabel.	
4.	4. Agustus 2024	lengkap semua!	

Dosen Pembimbing

(BENNY OKTRIALDI S.T. M.T)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

The Main Campus, Kapt. Muchtar Basri Street No.3 Medan - 20238, Telp. (061) 661059

89

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

NAMA : BAHUDDIN HARAHAHAP

NPM : 2207220001

Judul Tugas Akhir : " RANCANG BANGUN SMART LIFT REGENERATIF

UNTUK PENGHEMATAN ENERGI "

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1	24/08 2024	perbaiki Daftar Pustaka	
2/	02/09 2024	Angket Selayang Keper luasan	

Dosen Pembimbing

(BENNY OKTRIALDI, S.T , M.T)

Lampiran Foto

