

SISTEM KONTROL POSISI MENGGUNAKAN *FEEDBACK CONTROL* PADA *OVERHEAD CRANE*



Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana
Terapan Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

THAHIRAH LUTFIANI RUSLI 444 20 059
ISDAYANI 444 20 057

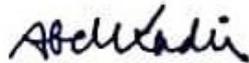
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK MEKATRONIKA
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2024

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Sistem Kontrol Posisi Menggunakan *Feedback Control* pada *Overhead Crane*” oleh Thahirah Lutfiani Rusli NIM 444 20 059 dan Isdayani NIM 444 20 057 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Mekatronika Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Makassar, Agustus 2024

Pembimbing I,



Dr Eng. Abdul Kadir Muhammad, S.T., PG Dipl., M.Eng.
NIP 19750402 200312 1 002

Pembimbing II,



Imran Habijansyah, S.ST., M.T.
NIP 198810052019031009

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Sarjana Terapan
Teknik Mekatronika



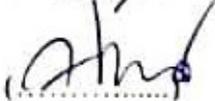
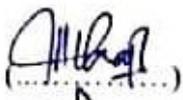
PALETT, S.T., M.T.
NIP 19810604 200604 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Rabu 14 Agustus 2024, tim penguji seminar skripsi telah menerima skripsi oleh mahasiswa: Thahirah Lutfiani Rusli NIM 444 20 059 dan Isdayani NIM 444 20 057 dengan judul "Sistem Kontrol Posisi Menggunakan *Feedback Control* Pada *Overhead Crane*".

Makassar, Agustus 2024

Tim Seminar Hasil Skripsi:

- | | | |
|--|---------------|---|
| 1. Ir. Lewi, M.T. | Ketua | () |
| 2. Dr. Eng. Akhmad Taufik, S.T., M.T. | Sekretaris | () |
| 3. Mukhtar, S.Pd., M.Eng. | Anggota I | () |
| 4. Dr.Eng. Arman, S.T., M.T. | Anggota II | () |
| 5. Dr. Eng. Abdul Kadir Muhammad, S. T.,
PG. Dipl., M.Eng | Pembimbing I | () |
| 6. Imran Habriansyah, S.ST.,M.T. | Pembimbing II | () |

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin. Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan nikmat rahmat dan karunia-Nya sehingga peneliti masih diberikan kesempatan untuk menyelesaikan penelitian ini dengan judul “Sistem Kontrol Posisi Menggunakan *Feedback Control* pada *Overhead Crane* ” sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Sholawat serta salam tetap tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW yang telah membawa manusia dari alam gelap gulita ke alam yang terang benderang.

Peneliti menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tak lain atas izin dari Allah SWT. Proses penyelesaian skripsi ini pula atas berkat doa, dorongan, dan restu keluarga sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, peneliti patut untuk menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada yang teristimewa Ibu dan Bapak, saudara-saudari serta keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan moril dan materi dalam pendidikan sampai selesainya penelitian ini.

Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan semua keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan materi serta motivasi kepada penulis.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.

3. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Paisal, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mekatronika Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Dr.Eng. Abdul Kadir Muhammad, S.T., PG.Dipl., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Imran Habriansyah, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing II penulis yang telah memberikan saran, bimbingan, dan masukan yang sangat berguna bagi penyelesaian skripsi ini.
6. Seluruh Dosen, Staf Jurusan dan Teknisi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
7. Rekan seperjuangan di *overhead crane* yang mulai dari awal penelitian sampai selesainya telah mengorbankan waktu, pikiran dan materi sampai dengan selesainya penelitian ini.
8. Rekan-rekan seperjuangan di Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mekatronika angkatan 2020 yang telah memberikan semangat dan bantuan dalam proses penyusunan skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan doa yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis panjatkan doa semoga Allah SWT membalas kebaikan Ibu/Bapak dan teman-teman sekalian. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini

dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Makassar, Agustus

2024

Penulis



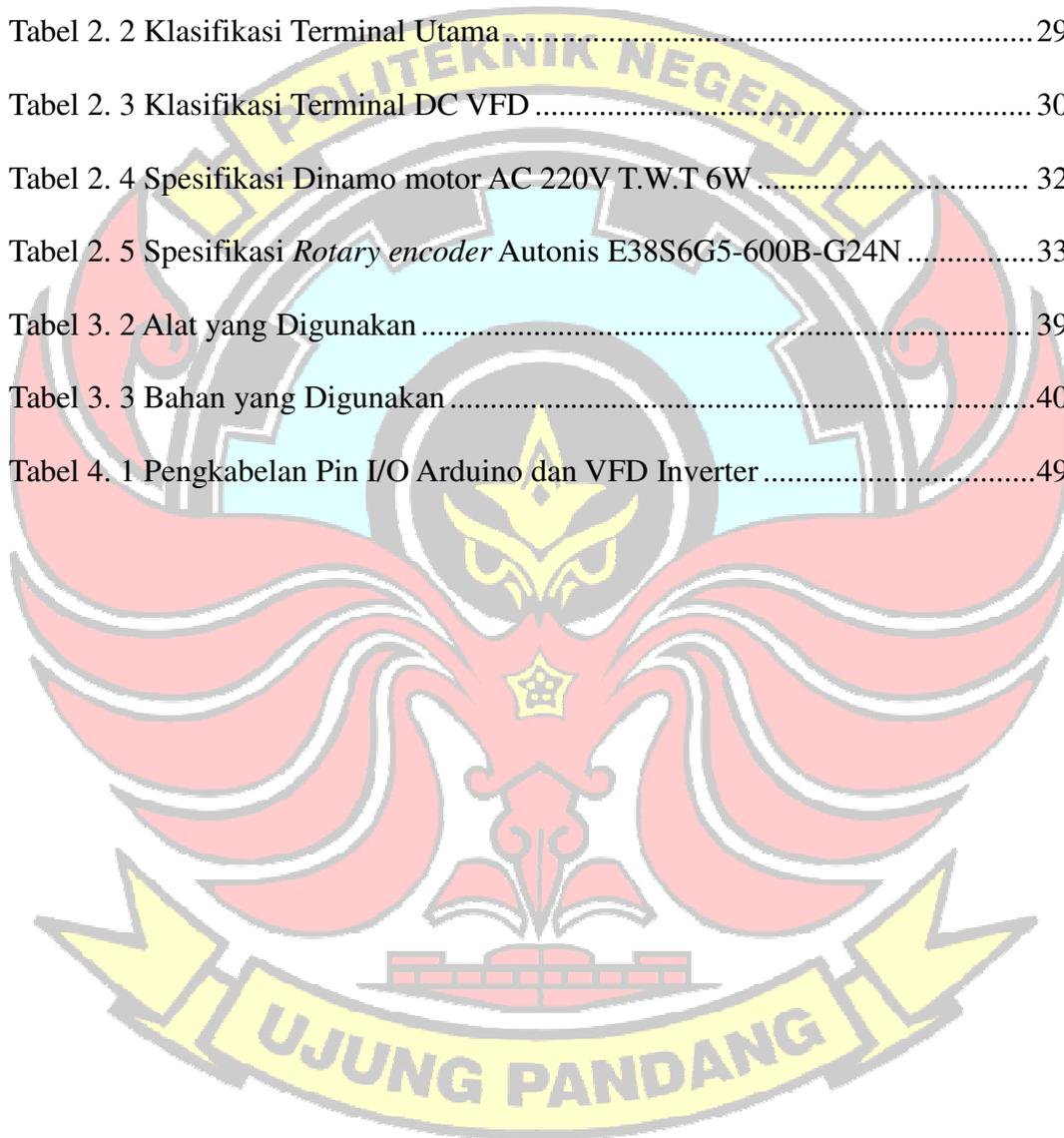
DAFTAR ISI

	Hlm.
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
SURAT PERNYATAAN.....	xiv
RINGKASAN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 PT Wijaya Karya Beton Tbk.....	5
2.2 <i>Overhead crane</i>	6
2.3 Penelitian Sebelumnya.....	15
2.4 Sistem Kontrol.....	17

2.5	<i>Proportional Integral Derivative (PID)</i>	20
2.6	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	23
2.7	Arduino Mega 2560	24
2.8	NodeMCU ESP32	25
2.9	<i>Variable Frequency Drive (VFD) Inverter</i>	26
2.10	Dinamo motor AC	31
2.11	Sensor <i>Rotary encoder</i>	32
2.12	<i>Software</i> Arduino IDE	33
2.13	<i>Limitswitch</i>	35
2.14	Kabel Jumper	36
2.15	Pulley dan belt	36
2.16	Module Relay	37
BAB III	METODE PENELITIAN	39
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.2	Alat dan Bahan	39
3.3	Prosedur/Langkah Kerja	40
3.4	Langkah-Langkah Pengujian	45
3.5	Teknik Analisis Data	45
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1	Hasil Penelitian	46
4.2	Pembahasan	57
BAB V	PENUTUP	60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	60
	DAFTAR PUSTAKA	62
	LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

	Hlm.
Tabel 2. 1 Bagian-Bagian Kontrol Panel VFD	28
Tabel 2. 2 Klasifikasi Terminal Utama	29
Tabel 2. 3 Klasifikasi Terminal DC VFD	30
Tabel 2. 4 Spesifikasi Dinamo motor AC 220V T.W.T 6W	32
Tabel 2. 5 Spesifikasi <i>Rotary encoder</i> Autonis E38S6G5-600B-G24N	33
Tabel 3. 2 Alat yang Digunakan	39
Tabel 3. 3 Bahan yang Digunakan	40
Tabel 4. 1 Pengkabelan Pin I/O Arduino dan VFD Inverter	49



DAFTAR GAMBAR

	Hlm.
Gambar 2. 1 Lintasan (runway rail).....	8
Gambar 2. 2 Drum Penggulung Tali.....	9
Gambar 2. 3 Jembatan Palang.....	9
Gambar 2. 4 Motor Penggerak Roda.....	10
Gambar 2. 5 Roda Penggerak.....	10
Gambar 2. 6 Motor Pengerak Naik/Turun (<i>Hoist</i>).....	11
Gambar 2. 7 Tali Baja.....	11
Gambar 2. 8 Puli.....	12
Gambar 2. 9 Pengait.....	12
Gambar 2. 10 Mekanisme <i>Hoisting/Lowering</i>	13
Gambar 2. 11 Mekanisme <i>cross travelling</i>	14
Gambar 2. 12 Mekanisme <i>long travelling</i>	15
Gambar 2. 13 Sistem kontrol loop terbuka.....	18
Gambar 2. 14 Sistem kontrol loop tertutup.....	18
Gambar 2. 15 Arduino Mega 2560.....	25
Gambar 2. 16 NodeMCU ESP32.....	26
Gambar 2. 17 <i>Variable Frequency Drive (VFD)</i>	27
Gambar 2. 18 Kontrol Panel VFD.....	27
Gambar 2. 19 Terminal Utama VFD.....	29
Gambar 2. 20 Terminal DC VFD.....	30

Gambar 2. 21 Dinamo motor AC 220V T.W.T 6W	31
Gambar 2. 22 <i>Rotary encoder</i>	33
Gambar 2. 23 Software Arduino IDE.....	34
Gambar 2. 24 <i>Limitswitch</i>	35
Gambar 2. 25 Kabel Jumper.....	36
Gambar 2. 26 Pulley dan belt.....	37
Gambar 2. 27 Module Relay	37
Gambar 3. 1 Flowchart Metode Perancangan	41
Gambar 3. 2 Desain Mekanik.....	42
Gambar 3. 3 Skematik Diagram Perancangan Elektronik.....	43
Gambar 3. 4 Flowchart Langkah Pengujian.....	45
Gambar 4. 1 Proses Pengerjaan Mekanik.....	47
Gambar 4. 2 Hasil Rangkaian Mekanik Pada Prototipe <i>Overhead Crane</i>	47
Gambar 4. 3 Ekperimental <i>Setup/Wiring</i> Sistem Kontrol.....	48
Gambar 4. 4 Hasil Rangkaian Elektronik Pada Prototipe <i>Overhead Crane</i>	49
Gambar 4. 5 Perbandingan Pengukuran Putaran Motor Menggunakan <i>Encoder</i> dan <i>Tachometer</i>	51
Gambar 4. 6 Skema Sistem Kontrol.....	52
Gambar 4. 7 Tampilan <i>System</i>	52
Gambar 4. 8 <i>Script</i> Sistem Kontrol	53
Gambar 4. 9 Pengujian Nilai $K_p = 1$	54
Gambar 4. 10 Pengujian Nilai $K_p = 2$	54
Gambar 4. 11 Pengujian Nilai $K_p = 3$	55

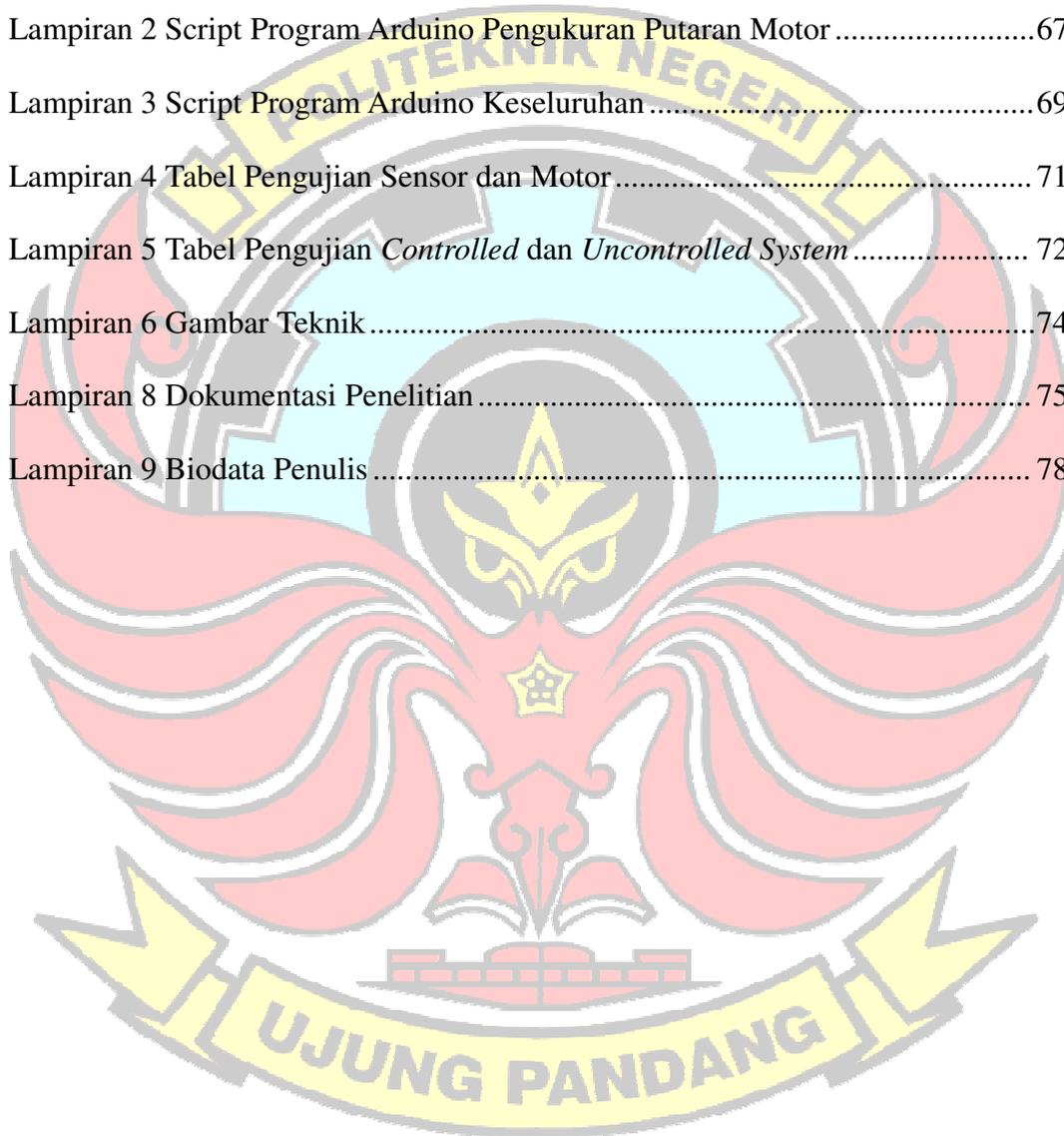
Gambar 4. 12 Pengujian Nilai $K_p = 4$ 56

Gambar 4. 13 Step Respon *Overhead Crane* untuk *Uncontrolled* dan *Controlled*
System pada Gerakan *Trolley Sumbu X*.....57



DAFTAR LAMPIRAN

	Hlm.
Lampiran 1 Proses Pengoperasian Sistem Kontrol Posisi <i>Overhead Crane</i>	65
Lampiran 2 Script Program Arduino Pengukuran Putaran Motor	67
Lampiran 3 Script Program Arduino Keseluruhan	69
Lampiran 4 Tabel Pengujian Sensor dan Motor	71
Lampiran 5 Tabel Pengujian <i>Controlled</i> dan <i>Uncontrolled System</i>	72
Lampiran 6 Gambar Teknik	74
Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian	75
Lampiran 9 Biodata Penulis	78



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Thahirah Lutfiani Rusli / Isdayani

NIM : 44420059 / 44420057

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Sistem Kontrol Posisi Menggunakan *Feedback Control* Pada *Overhead Crane*” merupakan gagasan dan hasil karya kami dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 21 Agustus 2024



Thahirah Lutfiani Rusli
NIM. 44420059



Isdayani
NIM 44420057

SISTEM KONTROL POSISI MENGGUNAKAN *FEEDBACK CONTROL* PADA *OVERHEAD CRANE*

RINGKASAN

Overhead crane merupakan peralatan penting dalam industri yang memerlukan sistem kontrol posisi yang presisi untuk mengoptimalkan operasionalnya. Skripsi ini mengembangkan sistem kontrol posisi pada overhead crane menggunakan pendekatan *feedback control*, dengan memanfaatkan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama, sensor rotary encoder untuk pengukuran posisi, VFD Inverter, dan dinamo motor AC.

Metodologi penelitian meliputi perancangan sistem mekanik dan elektronik, pemrograman kontrol Proportional (P), serta pengujian performa sistem. Sistem ini tidak hanya dirancang untuk mengatur kecepatan motor secara optimal tetapi juga memastikan crane dapat mencapai setpoint yang diinginkan dengan presisi tinggi. Data dari sensor rotary encoder diproses secara real-time oleh Arduino Mega 2560, yang kemudian mengirimkan sinyal kontrol ke VFD Inverter untuk menyesuaikan kecepatan motor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol yang dirancang efektif dalam menjaga kestabilan dan akurasi pergerakan crane. Crane mampu merespons perubahan setpoint dengan baik, dan sistem ini berhasil mempertahankan kondisi operasi yang aman dan efisien. Dengan menggunakan kontroler P dalam algoritma PID, sistem ini sudah memadai untuk aplikasi dalam industri, meskipun masih terdapat ruang untuk perbaikan pada penggunaan teknologi kontrol yang lebih canggih. Sistem ini menunjukkan bahwa dengan komponen dan desain yang tepat, overhead crane dapat dikontrol secara efektif untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keamanan dalam lingkungan industri. Dengan nilai K_p yang optimal adalah $K_p = 3$ karena sistem mencapai pada setpoint dengan *overshoot* minimal dan waktu settling yang cepat.

POSITION CONTROL SYSTEM USING FEEDBACK CONTROL ON OVERHEAD CRANES

SUMMARY

Overhead cranes are an important piece of equipment in the industry that requires a precise position control system to optimize their operations. This thesis develops a position control system on overhead cranes using a feedback control approach, by utilizing Arduino Mega 2560 as the main controller, rotary encoder sensor for position measurement, VFD Inverter, and 3-phase AC motor.

The research methodology includes mechanical and electronic system design, Proportional (P) control programming, and system performance testing. This system is not only designed to optimally regulate the speed of the motor but also ensure that the crane can reach the desired setpoint with high precision. The data from the rotary encoder sensor is processed in real-time by the Arduino Mega 2560, which then sends a control signal to the VFD Inverter to adjust the speed of the motor.

The test results show that the designed control system is effective in maintaining the stability and accuracy of crane movement. The crane is able to respond well to setpoint changes, and the system successfully maintains safe and efficient operating conditions. By using the P controller in the PID algorithm, the system is adequate for industrial applications, although there is still room for improvement in the use of more advanced control technologies. This system shows that with the right components and design, overhead cranes can be effectively controlled to improve operational efficiency and safety in industrial environments. With the optimal K_p value is $K_p = 3$ because the system reaches the setpoint with minimal overshoot and fast settlement time.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Di era globalisasi dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, sektor konstruksi menjadi salah satu pilar utama pembangunan di berbagai negara. Pada tingkat global, pertumbuhan industri konstruksi mencerminkan kemajuan dan perkembangan ekonomi yang signifikan. Seiring dengan peningkatan infrastruktur dan proyek-proyek konstruksi yang semakin kompleks, beton memegang peran penting sebagai bahan konstruksi utama.

Beton sebagai material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia, memberikan kontribusi besar dalam membentuk struktur bangunan, jembatan, dan berbagai infrastruktur vital lainnya. Kekuatan, ketahanan, dan fleksibilitas beton menjadikannya pilihan utama dalam membentuk pondasi, kolom, balok, dan elemen-elemen struktural penting lainnya. Dalam beragam infrastruktur di seluruh dunia, beton yang diproduksi dengan menggunakan semen *Portland* menjadi material paling dominan dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya seperti baja, kayu, atau bambu. Beton yang telah mengeras merupakan material gabungan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen dan *admixture* atau bahan tambah jika dibutuhkan. (Kamil, 2021)

PT Wijaya Karya Beton Tbk (WIKA Beton) merupakan produsen beton pracetak terbesar di seluruh Indonesia bahkan Asia Tenggara. (WIKA BETON, 2019). Pada proses pencetakan ini dibutuhkan suatu alat berupa *overhead crane* untuk mendukung hal tersebut. *Overhead crane* merupakan salah satu jenis *crane* yang bekerja dengan cara mengangkat beban melalui *girder* atau blok atas yang

terpasang di ketinggian atau ruang kerja. Ada banyak kelebihan yang menjadi faktor perusahaan industri menggunakan *overhead crane* seperti rasio muatan, kecepatan gerak, keamanan, biaya yang ekonomis dan lainnya. Oleh karena itu, banyak perusahaan industri melakukan inovasi pada *crane* agar lebih mudah dan aman dalam pengoperasiannya.

Dengan menghadapi kompleksitas proyek konstruksi yang semakin tinggi, tuntutan akan penerapan teknologi terkini menjadi suatu keharusan untuk mengoptimalkan proses dan meningkatkan efisiensi. Untuk menghadapi tuntutan industri konstruksi yang terus berkembang, WIKA Beton tidak hanya mengandalkan visi dan komitmen tinggi terhadap kualitas, tetapi juga memperhitungkan infrastruktur produksi yang handal. Upaya WIKA Beton untuk memenuhi tuntutan tersebut diwujudkan melalui penerapan atau pengampliasian teknologi otomatisasi.

Dalam upaya penerapan atau pengampliasian teknologi otomatisasi ini, peran alat berat khususnya *overhead crane*, menjadi hal yang penting dalam menunjang kesuksesan pelaksanaan proyek konstruksi. Penggunaan teknologi pada alat berat ini tidak hanya menjadi pilihan cerdas, tetapi juga suatu kebutuhan mendesak untuk memenuhi tuntutan akan peningkatan efisiensi, kecepatan, dan keamanan dalam proyek konstruksi. Hal ini mencerminkan langkah progresif WIKA Beton dalam menghadapi dinamika industri konstruksi modern, di mana investasi dalam teknologi otomatisasi, seperti penggunaan *overhead crane* yang terintegrasi dengan canggih, menjadi kunci utama dalam meraih keberhasilan dan keunggulan bersaing.

Untuk mewujudkan pengaplikasian otomatisasi ini, yaitu dengan mengatur atau mengontrol posisi hoist *crane* agar sesuai dengan *input* posisi yang diberikan. Dengan menggunakan sistem kontrol *Propositional Integral Derivative* (PID). PID adalah kontroler yang merupakan gabungan dari kontroler *propotional*, kontroler *integral* dan kontroler *derivative*. Gabungan dari ketiga kontroler ini diharapkan agar mendapat keluaran sistem yang stabil karena bisa saling menutupi kekurangan. Keuntungan dari kontroler PID adalah merupakan sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil sebuah keputusan. Diharapkan dengan menggunakan kontroler PID performa sistem yang didapatkan menjadi stabil, reaksi sistem yang didapatkan menjadi lebih cepat, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Dengan menggunakan kontroler PID maka osilasi pada motor diharapkan dapat berkurang sehingga hasil sama seperti yang diinginkan.

Berdasarkan pemaparan diatas, menjadi dasar peneliti untuk melakukan sebuah penelitian dengan judul "**Sistem Kontrol Posisi Menggunakan *Feedback control* Pada *Overhead crane***". Sebagai judul Proposal Skripsi penulis.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem kontrol posisi menggunakan *feedback control* pada *overhead crane*?
2. Bagaimana mengontrol posisi gerak *trolley crane* sesuai *input* posisi yang diberikan?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

1. Menggunakan sensor *rotary encoder* sebagai umpan balik posisi.
2. Motor yang digunakan adalah dinamo motor AC.
3. Pengaturan PWM pada mikrokontroler Arduino Mega 2560.
4. Sistem kontrol umpan balik yang digunakan kontroler P.
5. Penentuan posisi dengan setpoint.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membuat sistem kontrol posisi menggunakan *feedback control* pada *overhead crane*.
2. Mengontrol posisi gerak *trolley crane* sesuai *input* posisi yang diberikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Meningkatkan efisiensi operasional dengan mengurangi waktu yang diperlukan untuk pemindahan material atau produk beton pracetak.
2. Menjadi sarana pengenalan instansi pendidikan Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Program Studi Teknik Mekatronika kepada instansi ataupun instansi yang membutuhkan lulusan atau tenaga kerja yang dihasilkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Mahasiswa dapat mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang teknologi industri terkini, khususnya dalam operasi dan manajemen *overhead crane* otomatis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PT Wijaya Karya Beton Tbk

PT Wijaya Karya Beton Tbk. (WIKA Beton) muncul sebagai pelopor utama dalam industri konstruksi di Indonesia. Didirikan sebagai anak perusahaan dari BUMN PT Wijaya Karya (Persero) Tbk. pada tahun 1997, WIKA Beton telah mencapai tingkat ketangguhan yang mengesankan dalam produksi beton pracetak. Visi perusahaan, yakni menjadi "Perusahaan Terkemuka Dalam Bidang *Engineering, Production, Installation* (EPI) Industri Beton di Asia Tenggara," mencerminkan komitmen perusahaan terhadap keunggulan dalam setiap aspek bisnisnya. Dengan pertumbuhan pesat, WIKA Beton telah menjadikan dirinya sebagai produsen beton pracetak terbesar di Indonesia dan bahkan di Asia Tenggara. Keberhasilan ini merupakan hasil dari dedikasi perusahaan terhadap standar mutu yang tinggi, inovasi, dan efisiensi dalam seluruh rantai produksi. (WIKABETON, 2019)

Pada saat ini, WIKA Beton mengoperasikan 14 pabrik yang tersebar strategis di seluruh nusantara. Keberadaan 1 *mobile plant* menambah fleksibilitas dalam memenuhi kebutuhan proyek-proyek berlokasi terpencil atau dengan skala kecil. Wilayah penjualan yang mencapai jumlah 7 wilayah menandakan penerobosan pasar yang luas, memastikan produk-produk unggulan WIKA Beton dapat diakses oleh pelanggan di seluruh Indonesia. Komitmen terhadap keberlanjutan terwujud dalam integrasi 7 wilayah penjualan WIKA Beton dengan pertumbuhan industri konstruksi yang tinggi di seluruh Indonesia. Perusahaan

berusaha untuk berperan sebagai pendorong utama dalam menyediakan solusi konstruksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Keberhasilan WIKA Beton tidak hanya tercermin dalam skala produksi yang besar, tetapi juga dalam kontribusinya terhadap proyek-proyek terkemuka di tanah air. Keterlibatan perusahaan dalam berbagai proyek konstruksi skala besar tidak hanya menciptakan jejak prestasi, tetapi juga membuktikan kehandalan teknis dan manajerial yang dimiliki WIKA Beton. Dengan segudang prestasi dan komitmen terus-menerus untuk meningkatkan kualitas dan inovasi, WIKA Beton telah menetapkan standar tinggi sebagai produsen beton pracetak di Asia Tenggara. Dengan posisi yang kuat dan visi yang jelas, perusahaan ini terus menjadi kekuatan dinamis dalam mendukung perkembangan industri konstruksi di Indonesia dan sekitarnya.

2.2 *Overhead crane*

Overhead crane merupakan salah satu jenis *crane* yang bekerja dengan cara mengangkat beban melalui *girder* atau blok atas yang terpasang di ketinggian atau ruang kerja. Alat berat ini sering juga disebut *overhead travelling crane* atau juga *bridge crane* (jembatan *crane*), yaitu alat berat berupa jembatan melintang di atas kepala yang umumnya terbuat konstruksi rangka batang dengan lapisan plat baja.

Overhead crane adalah jenis *crane* yang didesain dan dipasang untuk bisa mengangkat benda (rangkaian *hoist crane*) dan memindahkannya. Alat berat ini sering juga disebut *overhead travelling crane* atau juga *bridge crane* (jembatan

crane), yaitu alat berat berupa jembatan melintang di atas kepala yang umumnya terbuat konstruksi rangka batang dengan lapisan plat baja.

Fungsi *Overhead crane* adalah sebagai alat angkat maupun alat *handling* (penanganan) muatan barang pada lingkungan yang terbatas ruang geraknya seperti di dalam gedung atau *indoor*. Meskipun, ada beberapa kasus penggunaan alat ini juga digunakan di luar ruangan.

Jenis *crane* ini mampu bekerja efektif karena menghasilkan beberapa gerakan seperti ke kanan-ke kiri dan maju-mundur. Mekanisme kerjanya dilengkapi dengan komponen pendukungnya sehingga bisa mengangkat benda (*hoisting system*) dan jalan melintang pada jembatan.

Untuk keamanan dan keselamatan pekerja, pengoprasian *Overhead crane* harus dengan metode yang telah ditetapkan.

2.2.1 Jenis *Overhead crane*

Berdasarkan bentuk *girder*, jenis *Overhead crane* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Overhead crane single girder* dan *Overhead crane double girder*. *Girder* sendiri adalah berfungsi sebagai tempat atau wadah bagi *hoist* untuk dapat bergerak ke kanan atau ke kiri.

- 1) *Overhead crane single girder*, yaitu jenis *Overhead crane* yang dirangkai terdiri dari satu balok berbentuk *beam* atau kotak.
- 2) *Overhead crane double girder*, yaitu jenis *Overhead crane* yang dirangkai terdiri dari dua balok dengan pemasangan yang sejajar sehingga ada ruang kosong di tengahnya. Nah, ruang kosong tersebut dapat digunakan sebagai

tempat *hoist crane* untuk bergerak.

2.2.2 Komponen *Overhead crane*

Untuk memudahkan para pekerja dalam mengecek saat terjadi kerusakan kecil pada *Overhead crane* ataupun sebagai sarana meminimalisir kecelakaan kerja karena disebabkan ketidaktahuan, maka berikut ini adalah komponen-komponen *Overhead crane* dan fungsinya.

1) Lintasan (*runway rail*)



Gambar 2. 1 Lintasan (*runway rail*)

Runway rail adalah komponen dari *Overhead crane* yang berfungsi sebagai jalan bagi *crane* untuk bergerak maju dan mundur. *Runway rail* berada di samping kanan dan kiri. Lintasan ini merupakan tempat untuk roda sehingga *hoist crane* dapat bergerak maju atau mundur.

2) Drum



Gambar 2. 2 Drum Penggulung Tali

Drum penggulung tali adalah alat yang berfungsi untuk menggulung tali baja. Bagian *hoist crane* ini dilengkapi dengan alur agar tali baja dapat digulung dengan teratur sehingga tali baja tidak mudah rusak.

3) Jembatan palang



Gambar 2. 3 Jembatan Palang

Jembatan palang yaitu suatu lintasan yang dapat digunakan oleh *crane* untuk bisa bergerak ke kiri dan kanan.

4) Motor penggerak roda



Gambar 2. 4 Motor Penggerak Roda

Motor penggerak roda adalah komponen *Overhead crane* yang memiliki fungsi untuk menggerakkan roda yang ada pada lintasan (*runway rail*). Dengan begitu, *crane* dapat bergerak maju dan mundur.

5) Roda penggerak



Gambar 2. 5 Roda Penggerak

Roda penggerak merupakan roda dari palang *crane* yang bergerak maju-mundur (gerakan *long traveling*).

6) Motor penggerak naik/turun (*hoist*)



Gambar 2. 6 Motor Pengerak Naik/Turun (*Hoist*)

Mesin *hoist* adalah alat yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan beban atau benda yang ingin dipindahkan. Agar berfungsi sebagaimana mestinya mesin *hoist* ini dilengkapi dengan hook dan tali kawat baja yang bisa diulur dan digulung sehingga pekerja nantinya dapat meraih beban muatan dengan lebih mudah.

7) Tali baja



Gambar 2. 7 Tali Baja

Tali baja adalah tali yang digunakan sebagai perabot pengangkat pada *Overhead crane*.

8) Puli



Gambar 2. 8 Puli

Puli adalah alat yang digunakan untuk menuntun karena berfungsi sebagai pengubah arah peralatan. Alat ini dibuat dengan menggabungkan dari beberapa puli bebas dan puli tetap sehingga sistem ini yang akan mampu mengubah gaya yang terdapat pada sistem *crane*.

9) Pengait



Gambar 2. 9 Pengait

Di dalam peralatan *hoist crane system*, untuk mengangkat beban muatan dibutuhkan rantai tali baja yang dikaitkan pada komponen pengait ini. Ada dua jenis kait yang umumnya digunakan pada sistem *crane*, yaitu kait tunggal dan kait tanduk. (Eprocurement, 2021)

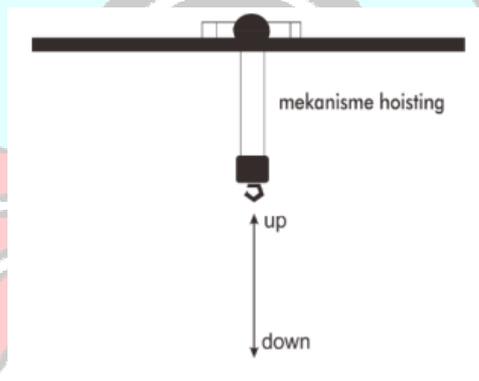
2.2.3 Prinsip Kerja *Overhead crane*

Prinsip kerja *Overhead crane* adalah untuk mengangkat menurunkan dan memindahkan beban muatan. Dalam pengoperasiannya, operator harus memastikan bahwa benda yang akan diangkat harus bebas dari hambatan agar ketika dipindahkan sesuai dengan posisi yang diinginkan.

Overhead crane umumnya memindahkan beban atau muatan berjarak antara 10 meter sampai dengan 100 meter.

Terdapat tiga jenis pergerakan *crane* pada *Overhead crane*, yaitu:

1) Gerakan *Hoisting/Lowering* (Naik/Turun)

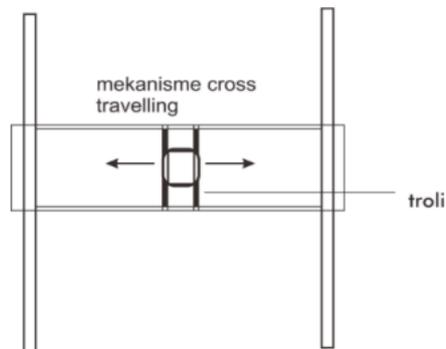


Gambar 2. 10 Mekanisme *Hoisting/Lowering*
Sumber: (Ishak & Aminudin, 2018)

Gerakan *Hoisting/Lowering* pada sistem *Overhead crane* adalah gerakan menaikkan atau menurunkan beban yang telah dipasang pada kait dengan bantuan drum.

Untuk menggerakkan drum dibutuhkan motor listrik. Sementara itu untuk menghentikan gerakan drum dapat dilakukan dengan cara pengereman sehingga beban tidak akan naik atau turun setelah posisi yang ditentukan sesuai dengan yang direncanakan.

2) Gerakan *Transfersal (cross travelling)*

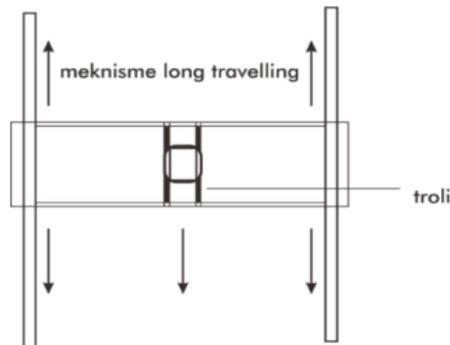


Gambar 2. 11 Mekanisme *cross travelling*
Sumber: (Ishak & Aminudin, 2018)

Gerakan *Transfersal (cross travelling)* pada sistem kerja *Overhead crane* adalah beban akan dipindahkan dengan arah melintang.

Untuk mendukung adanya gerakan *Transfersal (cross travelling)* tersebut diperlukan motor troli. Troli akan bergerak pada gelagar utama. Jarak pemindahan beban muatan dapat diatur sesuai yang diinginkan. Untuk mengontrol pergerakannya dibutuhkan rem pengontrol yang dipasang pada poros motor dan bekerja menurut prinsip elektromagnet.

3) Gerakan *Longitudinal* (*long travelling*)



Gambar 2. 12 Mekanisme *long travelling*
Sumber: (Ishak & Aminudin, 2018)

Gerakan *longitudinal* (*long travelling*) pada sistem kerja *overhead* cane adalah gerakan memanjang (*longitudinal*) disepanjang rel portal *crane* berada. Pengoperasian motor ke roda jalan dapat menimbulkan gerakan yang satu ini. (Ishak & Aminudin, 2018)

2.3 Penelitian Sebelumnya

Berikut ini merupakan rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan mengenai penelitian yang dilakukan.

2.3.1 Penelitian 1: Kontrol *Proporsional Integral Derivatif* (PID) Pada Kecepatan Sudut Motor DC Dengan Pemodelan Identifikasi Sistem Dan *Tuning*.

Penelitian ini menggunakan kontrol PID untuk mengatur kecepatan sudut motor DC. Dengan metode identifikasi sistem, model motor DC dibuat agar mendekati sistem asli, dan nilai PID diperoleh melalui tuning di Matlab. Uji performa menunjukkan kontrol PID efektif dengan rise time 9,4 detik, settling time 18,5 detik, dan overshoot 2%. Penelitian ini membuktikan bahwa tuning PID

di Matlab dapat meningkatkan efisiensi dan menghasilkan kontrol motor yang stabil sesuai set point.(MA'ARIF et al., 2021)

2.3.2 Penelitian 2: Rancang Bangun PID *Controller* Dengan *Tuning Ziegler Nichols* Untuk Pengendalian Posisi Sudut Motor DC.

Penelitian ini menggunakan kendali PID posisi sudut pada motor DC, sehingga motor DC dapat bergerak ke posisi sudut yang diberikan. Perancangan kontroler ini menggunakan *Software* Arduino Uno dan GUI (*Graphical User-Interface*)-nya menggunakan *Software Visual Studio*. Sensor Potensiometer berhasil terkalibrasi dengan menggunakan teknik regresi linier. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian PID pada sistem berhasil dilakukan, sistem dapat mencapai *setpoint* dengan kesalahan sebesar 0%. (Athoillah, 2021)

2.3.3 Penelitian 3: Pembuatan Sistem Pengaturan Putaran Motor DC Menggunakan Kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) dengan Memanfaatkan Sensor KMZ51.

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan desain rancang bangun sistem pengendalian otomatis yang digerakkan dengan dua motor DC sehingga mampu mempertahankan kelembaman pada arahnya. Sistem otomatis ini terdiri dari sensor KMZ51 sebagai komponen feedback dan dua motor DC sebagai komponen plant. Pengujian dari sistem otomatis dibagi menjadi tiga yaitu pengujian sensor KMZ51, pengujian PWM sebagai penggerak motor DC dan pengujian performansi kontrol PID. Hasil pengujian menunjukkan nilai ketelitian sensor 99.17%. Pada pengujian PWM diperoleh *error* pengukuran 1.07% dan pengujian performansi sistem didapatkan bahwa penerapan kontrol PID dapat

mengatur putaran motor DC sehingga model sistem mampu mempertahankan arahnya pada set point yang telah ditentukan dengan nilai overshoot maximum kurang dari 10%, risetime 2 detik dan settling time kurang dari 5% yang diperoleh pada $K_p= 27$, $K_i= 6$, dan $K_d= 40$ menggunakan metode *trial and error*. (L Khakim, 2012)

2.3.4 Penelitian 4: Pengaturan Posisi Motor Servo DC dengan Metode P, PI, Dan PID.

Penelitian ini membahas cara mengatur posisi motor servo DC dengan menggunakan kontroler P, PI, dan PID. Dalam penelitian ini dibuat aktuator motor DC servo sendiri. Motor DC akan dipasang mekanik sedemikian rupa dengan *gear* pembanding agar putarannya tidak berputar dengan cepat dan dapat diatur. Dan pada pemasangan motor DC juga dipasang potensiometer sebagai sensornya. *Output* respon sistem pada penelitian ini antara lain membandingkan penggunaan *plant* saat menggunakan kontroler P, PI, PID dan menggunakan PID yang sudah diberi pembebanan. Hasil penelitian ini sensor posisi potensiometer didapatkan nilai selisih terbesar pada sudut tertentu (sudut 0° dan 180°) dan pada *plant* ini penggunaan kontroler PI lebih bagus dibandingkan dengan yang lainnya. (Nanang Budi Hartono, 2014)

2.4 Sistem Kontrol

Sistem kendali (*control system*) adalah suatu komponen yang memiliki proses pengendalian untuk mengatur, mengendalikan atau mengubah suatu sistem berdasarkan masukan dan keluaran yang dihasilkan oleh sistem tertentu. Sistem kendali merupakan suatu sistem yang keluaran sistemnya dikendalikan pada suatu nilai tertentu atau untuk mengubah beberapa ketentuan yang telah ditetapkan oleh masukan sistem. (Amalia, 2021)

Sistem kontrol atau sistem kendali ada dua sistem yaitu sistem kontrol loop tertutup dan kontrol loop terbuka.

1) Sistem kontrol loop terbuka

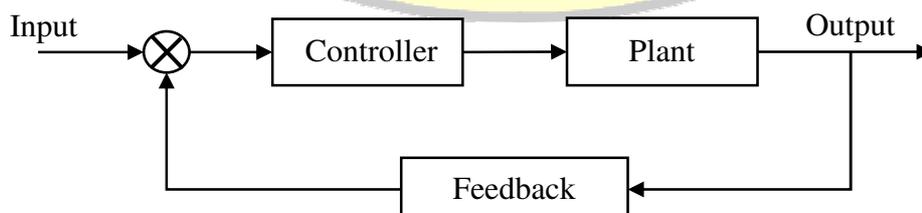
Sistem kendali loop terbuka adalah sebuah sistem control yang nilai keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 2. 13 Sistem kontrol loop terbuka

2) Sistem kontrol loop tertutup

Sistem Kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Sistem kontrol loop tertutup juga merupakan sistem kontrol berumpan balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran atau turunannya). Diumpangkan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati nilai yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah “loop tertutup” berarti menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem. (Parulian et al., 2021)



Gambar 2. 14 Sistem kontrol loop tertutup

Komponen Sistem Kontrol Loop Tertutup:

- 1) *Input* (masukan), merupakan rangsangan yang diberikan pada sistem kontrol, merupakan harga yang diinginkan bagi variabel yang dikontrol selama pengontrolan. Harga ini tidak tergantung pada keluaran sistem.
- 2) *Output* (keluaran, *respons*), merupakan tanggapan pada sistem kontrol, merupakan harga yang akan dipertahankan bagi variabel yang dikontrol, dan merupakan harga yang ditunjukkan oleh alat pencatat.
- 3) *Plant*, merupakan sistem fisis yang akan dikontrol (misalnya mekanis, listrik, hidraulik ataupun pneumatic).
- 4) *Controller*, merupakan peralatan/ rangkaian untuk mengontrol beban (sistem). Alat ini bisa digabung dengan penguat.
- 5) *Elemen Umpan Balik*, menunjukan/mengembalikan hasil pencatan ke detector sehingga bisa dibandingkan terhadap harga yang diinginkan (di stel).
- 6) *Error Detector* (alat deteksi kesalahan), merupakan alat pendeteksi kesalahan yang menunjukan selisih antara input (masukan) dan respons melalui umpan balik (*feedback path*).
- 7) Gangguan merupakan sinyal-sinyal tambahan yang tidak diinginkan. Gangguan ini cenderung mengakibatkan harga keluaran berbeda dengan harga masukanya, gangguan ini biasanya disebabkan oleh perubahan beban sistem, misalnya adanya perubahan kondisi lingkungan, getaran ataupun yang lain.

Dari uraian diatas adapun sistem kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem kontrol loop tertutup atau umpan balik.

2.5 *Proportional Integral Derivative (PID)*

Sistem Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative controller*) merupakan kontroler yang digunakan untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), I (*Integral*) dan D (*Derivative*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan. (Nur Amalia et al., 2023)

1) Kontrol *Proporsional* (P)

Keluaran pengontrol proporsional merupakan perkalian antara konstanta *proporsional* dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan *output* sinyal sebesar konstanta pengalinya. Berfungsi sebagai penguat sinyal *error* penggerak sehingga dapat mempercepat *output* sistem untuk mencapai setpoint nya.

Hubungan antara *output* $u(t)$ dan sinyal *error* $e(t)$ kontroler adalah :

$$u(t) = k_p \cdot e(t) \quad (2.1)$$

Ciri-ciri pengontrol *proporsional* harus diperhatikan ketika pengontrol tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna pengontrol *proporsional* harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini:

- a. Kalau nilai K_p kecil, pengontrol *proporsional* hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
- b. Kalau nilai K_p dinaikan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai setpoint dan keadaan stabil.
- c. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.

2) Kontrol *Integral* (I)

Berfungsi untuk menghilangkan kesalahan atau *error* dari keadaan *offset* yang biasanya dihasilkan kontrol *proporsional*. Hubungan antara $u(t)$ dan $e(t)$ adalah:

$$u(t) = k_i \int e(t).dt \quad (2.2)$$

Ketika digunakan, pengontrol *integral* mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

- a. Keluaran pengontrol membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol *integral* cenderung memperlambat respon.
- b. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- c. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .

- d. Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

3) Kontrol *Derivatif* (D)

Kontrol *derivatif* disebut sebagai pengendali laju karena sinyal *output* sebanding dengan laju perubahan sinyal *error* $e(t)$. Hubungan antara $u(t)$ dan $e(t)$ adalah:

$$u(t) = k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Karakteristik pengontrol *derivative* adalah sebagai berikut:

- Pengontrol ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
- Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai t_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
- Pengontrol *derivative* mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol *derivative* dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Berdasarkan karakteristik pengontrol tersebut, pengontrol *derivative* umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan stabilnya. Kerja pengontrol *derivative* hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan.

Oleh sebab itu pengontrol *derivative* tidak pernah digunakan tanpa ada pengontrol lain sebuah sistem.(Rahman, 2018)

Gabungan dari ketiga kontroler tersebut menjadi kontrol PID. Sehingga persamaan untuk kontrol PID adalah:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.4)$$

Dengan:

$u(t)$ = Sinyal *output* pengendali PID

k_p = Konstanta proporsional

k_i = Konstanta integral

k_d = Konstanta derivatif

$e(t)$ = Sinyal *error*

de = Perubahan nilai kesalahan

dt = Perubahan waktu

2.6 *Pulse Width Modulation* (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect* dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED dan lain sebagainya. (Lubis et al., 2022)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan signal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut.

Modulasi lebar pulsa (PWM) dicapai/diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut.

2.7 Arduino Mega 2560

Board Arduino Mega 2560 adalah sebuah board Arduino yang menggunakan IC Mikrokontroler Atmega 2560. Board ini memiliki 54 digital *input/output* (15 buah di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 16 buah analog input, 4 UARTs (*Universal Asynchronous receiver/transmitter*), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, soket ICSP (*In-Circuit System Programming*) dan tombol reset.(Norviari, 2019)



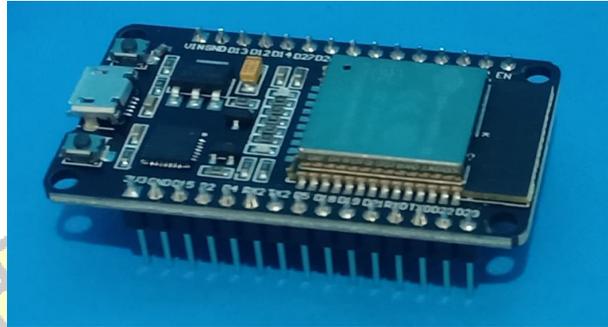
Gambar 2. 15 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan komputer, board Arduino lain, dan mikrokontroler lainnya. ATmega 2560 memiliki 4 buah UART untuk komunikasi serial TTL. Pin 0 dan 1 terhubung langsung dengan IC ATmega 16U2 USB to TTL serial chip. IC tersebut merupakan IC konverter USB ke serial. TTL LED RX dan TX pada board akan menyala saat ada data yang dikirimkan melalui ATmega 16U2 dan koneksi ke komputer melalui USB. (Norviari, 2019)

2.8 NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 adalah board development kecil yang dirancang untuk mendukung Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler, sebagai penerus dari ESP8266 yang populer. ESP32 merupakan System on Chip (SoC) yang memiliki kemampuan unggul dalam WiFi dan Bluetooth, dilengkapi dengan banyak General Purpose Input/Output (GPIO) dan menawarkan keunggulan dalam desain modul IoT yang sangat mudah diakses. Dengan kombinasi WiFi dan Bluetooth pada frekuensi 2,4 GHz, ESP32 dirancang dengan konsumsi daya yang sangat rendah menggunakan teknologi TSMC 40nm. Teknologi ini dirancang

untuk mencapai kinerja daya yang optimal, dengan ketahanan, fleksibilitas, dan efisiensi tinggi dalam berbagai aplikasi.(Rosandi, 2022)



Gambar 2. 16 NodeMCU ESP32

Spesifikasi ESP32 Devkit v1 memiliki jumlah pin sebanyak 32 pin GPIO terdiri dari 16 pin ADC, 3 *universal asynchronous receiver-transmitter* (UART) *Interface*, 3 *serial peripheral interface* (SPI), 2 *inter-integrated circuit* (I2C) *Interface*, 16 pin *pulse width modulation* (PWM), 2 pin *digital analog converter* (DAC)(Rosandi, 2022)

2.9 *Variable Frequency Drive* (VFD) Inverter

Variabel Frequency Drive (VFD) merupakan gabungan dari *rectifier* dan VFD Inverter, di mana *rectifier* berfungsi sebagai pengubah tegangan AC dengan frekuensi tetap menjadi tegangan DC dan VFD Inverter berfungsi sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC dengan frekuensi variabel yang dapat diatur. VFD melakukan konversi dari tegangan AC frekuensi tetap menjadi AC frekuensi variabel dengan cara mengubah menjadi tegangan DC terlebih dahulu melewati *rectifier* kemudian menjadikannya variabel frekuensi melalui VFD Inverter. Fungsi dari VFD adalah untuk mengontrol energi dari *supply* utama ke proses

melalui shaft motor listrik, dengan cara mengontrol dua besaran, yaitu *torque* dan kecepatan.(Ichsan, 2023)



Gambar 2. 17 Variable Frequency Drive (VFD)

2.9.1 Bagian-Bagian VFD

Pada VFD terdapat kontrol panel, terminal utama, dan terminal DC.

Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing bagian:



Function Indicator Light
 FWD= CW indicator-----light on when it is rotating clockwise
 REV= CCW indicator-----light on when it is rotating counterclockwise
 r/min=speed indicator-----light on when it displays speed
 H=frequency indicator-----light on when it displays frequency
 V=voltage indicator-----light on when it displays voltage
 A=current indicator-----light on when it displays current

Gambar 2. 18 Kontrol Panel VFD

Untuk lebih jelasnya berikut merupakan kegunaan dari setiap ikon panel

VFD dapat dilihat pada tabel 2.1.

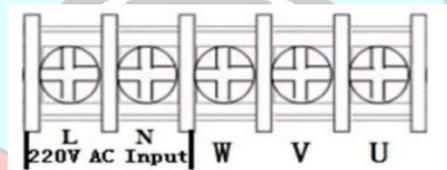
Tabel 2. 1 Bagian-Bagian Kontrol Panel VFD

No.	Ikon	Keterangan
1.	 (Programming)	Untuk memilih mode atau mode Pemrograman (tersedia tidak untuk VFD Inverter <i>start</i> atau <i>stop</i>), tekan tombol ini untuk mengubah parameter
2.	 (Function/Save)	Tombol pengaturan data fungsi. Mode normal: tekan tombol ini untuk menampilkan informasi VFD Inverter, seperti frekuensi target, frekuensi keluaran dan arus, suhu;
3.	 (Jumlah Parameter atau Nilai Parameter Meningkat)	Tekan sebentar tombol ini, maka nilai numerik akan berubah secara bertahap. Tekan lama tombol ini, maka nilai numerik akan berubah dengan cepat
4.	 (Jumlah parameter atau nilai parameter menurun)	Tekan sebentar tombol ini, maka nilai numerik akan berubah secara bertahap. Tekan lama tombol ini, maka nilai numerik akan berubah dengan cepat
5.	 (SHIFT Key)	Bergeser dalam mode pemrograman, joging dalam mode normal
6.	 (Forward/Reverse)	Tombol perubahan arah putaran motor
7.	 (Start)	Tombol untuk menjalankan VFD Inverter

-
8.  (Stop/Reset) Tombol untuk mematikan / mereset VFD Inverter
-

9.  (Potensio VFD) Berfungsi untuk mengatur set point frekuensi yang diinginkan
-

Selain bagian-bagian yang ada pada panel VFD, terdapat 2 terminal yang ada pada VFD yaitu terminal utama dan terminal DC terdapat pada Gambar 2.19 dan Gambar 2.20.



Gambar 2. 19 Terminal Utama VFD

Tabel 2. 2 Klasifikasi Terminal Utama

Terminal Label	Keterangan
L, N	Terminal 1 fasa 220 V (<i>input</i> Terminal)
U, V, W	<i>Output</i> Terminal konek ke motor AC 3 fasa (220 V)
GND	Terminal <i>Grounding</i>

Terminal utama untuk rangkaian konversi dari fase tunggal ke tiga fase (*single-phase to three-phase*).

Berikut penjelasan mengenai terminal-terminal yang ada pada diagram tersebut:

- 1) L, N (*Single-phase AC 220V input terminal*):

Terminal ini adalah tempat untuk menyambungkan sumber daya AC 220V dari fase tunggal (*single-phase*). "L" adalah kabel fase (*Line*), dan "N" adalah

kabel netral (*Neutral*). Ini adalah sumber daya yang masuk ke perangkat untuk dikonversi menjadi tiga fase.

2) U, V, W (*Output terminal*):

Terminal ini adalah keluaran dari perangkat, yang mengubah sumber daya fase tunggal menjadi tiga fase. Tiga terminal ini (U, V, W) akan disambungkan ke motor AC tiga fase.



Gambar 2. 20 Terminal DC VFD

Berikut ini merupakan deskripsi terminal DC VFD:

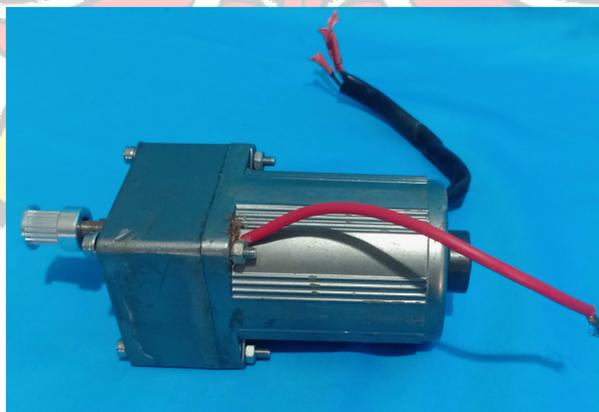
Tabel 2. 3 Klasifikasi Terminal DC VFD

Port	Keterangan	Instruksi
15V/24V	Keluaran Daya 15V/24V	220mA 15V/24V <i>Output</i>
X6	<i>Input Port 6 (Reversing Switch)</i>	<i>Short Port X6 dan COM, Input Signal Effective</i>
X5	<i>Input Port 5 (Reverse Rotation Control Switch)</i>	<i>Short Port X5 dan COM, Input Signal Effective</i>
X4	<i>Input Port 4 (Forward Rotation Control Switch)</i>	<i>Short Port X4 dan COM, Input Signal Effective</i>
X3	<i>Input Port 3 (Section Speed 3)</i>	<i>Short Port X3 dan COM, Input Signal Effective</i>
X2	<i>Input Port 2 (Section Speed 2)</i>	<i>Short Port X2 dan COM, Input Signal Effective</i>
X1	<i>Input Port 1 (Section Speed 1)</i>	<i>Short Port X1 dan COM, Input Signal Effective</i>
485+/485-	485 <i>Communication Port</i>	

COM	GND	
VL1	Masukan Tegangan Analog Eksternal	Masukan Tegangan Analog 0-5V/10V
CI	<i>External Current Signal Input</i>	<i>4-20mA current input</i>
5V/10V	Keluaran Daya 5V/10V	<i>Supply 5V/10V 20mA Power Output</i>
SP1	<i>Open-Collector Output 1</i>	
SP2	<i>Open-Collector Output 2</i>	
TC	Relay output C	250 VAC 5A/30VDC 3A TA , TB Normal Close, TA dan TC Normal Open
TB	Relay output B	
TA	Relay output A	

2.10 Dinamo motor AC

Secara umum dinamo motor AC atau bisa dikenal dengan motor induksi merupakan suatu jenis motor listrik arus bolak-balik (AC) yang mengoperasikan prinsip kerjanya berdasarkan arus induksi. Perlu dicatat bahwa putaran rotor pada motor induksi tidak selaras dengan putaran medan putar pada stator. Hal ini yang menyebabkan adanya slip atau perbedaan putaran antara rotor dan medan putar pada stator.



Gambar 2. 21 Dinamo motor AC 220V T.W.T 6W

Dalam penelitian ini, digunakan motor AC 220V T.W.T 6W dengan rasio 1:10 adalah jenis motor listrik yang dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan torsi tinggi pada kecepatan rendah. Motor ini beroperasi pada tegangan 200/220V dengan frekuensi 50/60Hz, yang merupakan standar umum dalam berbagai sistem listrik. Dengan daya output sebesar 6 watt, motor ini cocok digunakan dalam mekanisme ringan yang memerlukan tenaga yang stabil dan efisien.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Dinamo motor AC 220V T.W.T 6W

Daya Power	6 Watt
Voltage	200/220V-50/60Hz-0.10A
Ratio	1:10
Speed Output	150 rpm

2.11 Sensor *Rotary encoder*

Rotary encoder merupakan perangkat elektromekanik yang berfungsi untuk memantau pergerakan dan posisi. Umumnya, *rotary encoder* menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serangkaian pulsa yang dapat diartikan sebagai informasi mengenai gerakan, posisi, dan arah. Dengan cara ini, data mengenai sudut posisi suatu poros yang berputar diubah menjadi kode digital oleh *rotary encoder*. Informasi tersebut selanjutnya dapat diteruskan melalui rangkaian kendali. Penggunaan *rotary encoder* sangat umum dalam berbagai aplikasi, seperti pada sistem pengendalian robot, penggerak motor, dan bidang lainnya. (Alam & Ronaldi, 2019)



Gambar 2. 22 Rotary encoder

Tabel 2. 5 Spesifikasi Rotary encoder Autonis E38S6G5-600B-G24N

Sumber Daya	DC5-24V
Konsumsi Arus	20 mA DC (Maksimal)
Resolusi	600 p/r (<i>Pulse per Rotation</i>)
Output phase	A,B
Kontrol Output (Output Type)	NPN Open Collector Output
Kontrol Output (Load Current)	Amax.

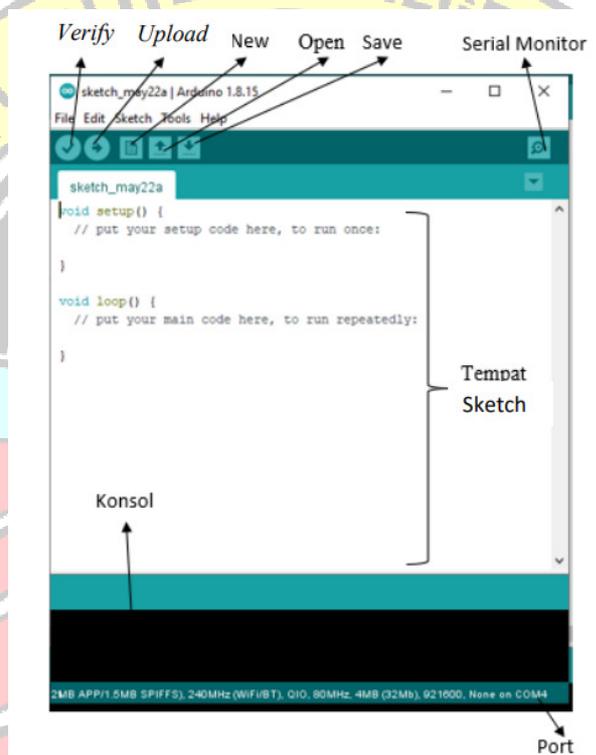
2.12 Software Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan kontroler mikro berbasis papan tunggal yang bersifat *open source* dan berasal dari *platform wiring*. Perancangannya bertujuan untuk mempermudah pemanfaatan teknologi elektronik di berbagai bidang. *Hardware*-nya menggunakan bahasa pemrograman C++ yang mudah dipahami, dilengkapi dengan fungsi-fungsi yang komprehensif. Oleh karena itu, Arduino menjadi solusi pembelajaran yang mudah bagi pemula.

Software IDE Arduino terdiri dari 3 (tiga) bagian yaitu:

- 1) *Editor* program, untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*. *Listing* program pada Arduino disebut dengan *sketch*.

- 2) *Compiler*, modul yang berfungsi untuk mengubah bahasa *processing* (kode program) ke dalam kode biner karena kode biner adalah satu-satunya bahasa program yang dipahami oleh mikrokontroler.
- 3) *Uploader*, modul yang berfungsi untuk memasukkan kode biner kedalam mikrokontroler.(Rosandi, 2022)



Gambar 2. 23 Software Arduino IDE
 Sumber: (Rosandi, 2022)

Gambar diatas menunjukkan tampilan dari Arduino IDE, pada tampilan tersebut berisi menú bar (*file*, *edit*, *sketch*, *tools*, *help*). *Toolbar* berisi *verify*, *upload*, *new*, *Verify Upload Sketch* *open*, *save* dan *serial monitor*. Kemudian konsol untuk menunjukkan pesan dari jalannya program, dan *port* menunjukkan terhubung ke komputer pada *port* berapa.

2.13 *Limitswitch*

Limitswitch adalah perangkat yang berfungsi untuk mengatur aliran listrik dalam suatu rangkaian melalui mekanisme fisik. Perangkat ini memiliki tiga terminal utama: terminal tengah, terminal normally closed (NC), dan terminal normally open (NO). Ketiga terminal ini dapat digunakan untuk mengontrol aliran listrik, baik untuk menghentikan maupun mengaktifkan sirkuit. *Limitswitch* termasuk dalam kategori saklar yang dilengkapi dengan katup yang berperan sebagai pengganti tombol. (Norviari, 2019)



Gambar 2. 24 *Limitswitch*

Limitswitch beroperasi dengan cara yang mirip dengan saklar Push ON, di mana arus listrik hanya mengalir ketika katup ditekan hingga mencapai batas tertentu, dan akan terputus ketika katup dilepaskan. Alat ini tergolong dalam jenis sensor mekanik, yang merespons perubahan mekanik dengan menghasilkan sinyal elektrik. Umumnya, *Limitswitch* digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi posisi suatu objek yang bergerak. (Norviari, 2019)

2.14 Kabel Jumper

Jumper pada komputer sebenarnya adalah konektor yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan sirkuit listrik dalam suatu rangkaian. Jumper juga digunakan untuk melakukan pengaturan pada papan elektronik seperti motherboard komputer. Kabel jumper adalah kabel yang umumnya digunakan untuk menghubungkan Arduino Uno dengan board atau sensor yang akan digunakan. Kabel jumper mentransmisikan listrik atau sinyal melalui logam konduktor di dalamnya. Terdapat tiga jenis kabel jumper yang dibedakan berdasarkan ujung-ujungnya, yaitu: Male-Male, Male-Female, Female-Female. (Norviari, 2019)



Gambar 2. 25 Kabel Jumper

2.15 Pulley dan belt

Pulley adalah mekanisme yang terdiri dari roda yang dipasang pada poros atau batang dengan alur di antara kedua pinggirnya. Sebuah tali, kabel, atau belt biasanya dipasang pada alur pulley untuk mentransmisikan daya. Pulley digunakan untuk mengubah arah gaya, mentransfer torsi, atau memindahkan beban berat. Sistem pulley dengan belt terdiri dari dua atau lebih pulley yang

terhubung oleh belt. Sistem ini memungkinkan untuk mentransmisikan daya, torsi, dan kecepatan, serta mampu memindahkan beban berat dengan variasi diameter yang berbeda. (Norviari, 2019)



Gambar 2. 26 Pulley dan belt

2.16 Module Relay

Relay adalah saklar (Switch) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen Elektromechanical (elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni electromagnet (Coil) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/switch). Relay menggunakan prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (low power) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. (Novriadi, 2019)



Gambar 2. 27 Module Relay

Kontak Poin (Contact Point) Relay terdiri dari 2 jenis yaitu: Normally Close (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi Close (tertutup) dan Normally Open (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi Open (terbuka).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Robotika dan Kontrol jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2024 sampai dengan Agustus 2024.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam melaksanakan penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan sebagai penunjang pembuatan tugas akhir agar sesuai dengan apa yang diharapkan.

3.2.1 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini seperti:

Tabel 3. 1 Alat yang Digunakan

No.	Nama Alat
1.	Laptop
2.	Multimeter
3.	Avometer
4.	Obeng Tespen
5.	Tang
6.	Obeng +-
7.	Solder
8.	Stop Kontak
9.	Tachometer
10.	Obeng Set

3.2.2 Bahan yang digunakan

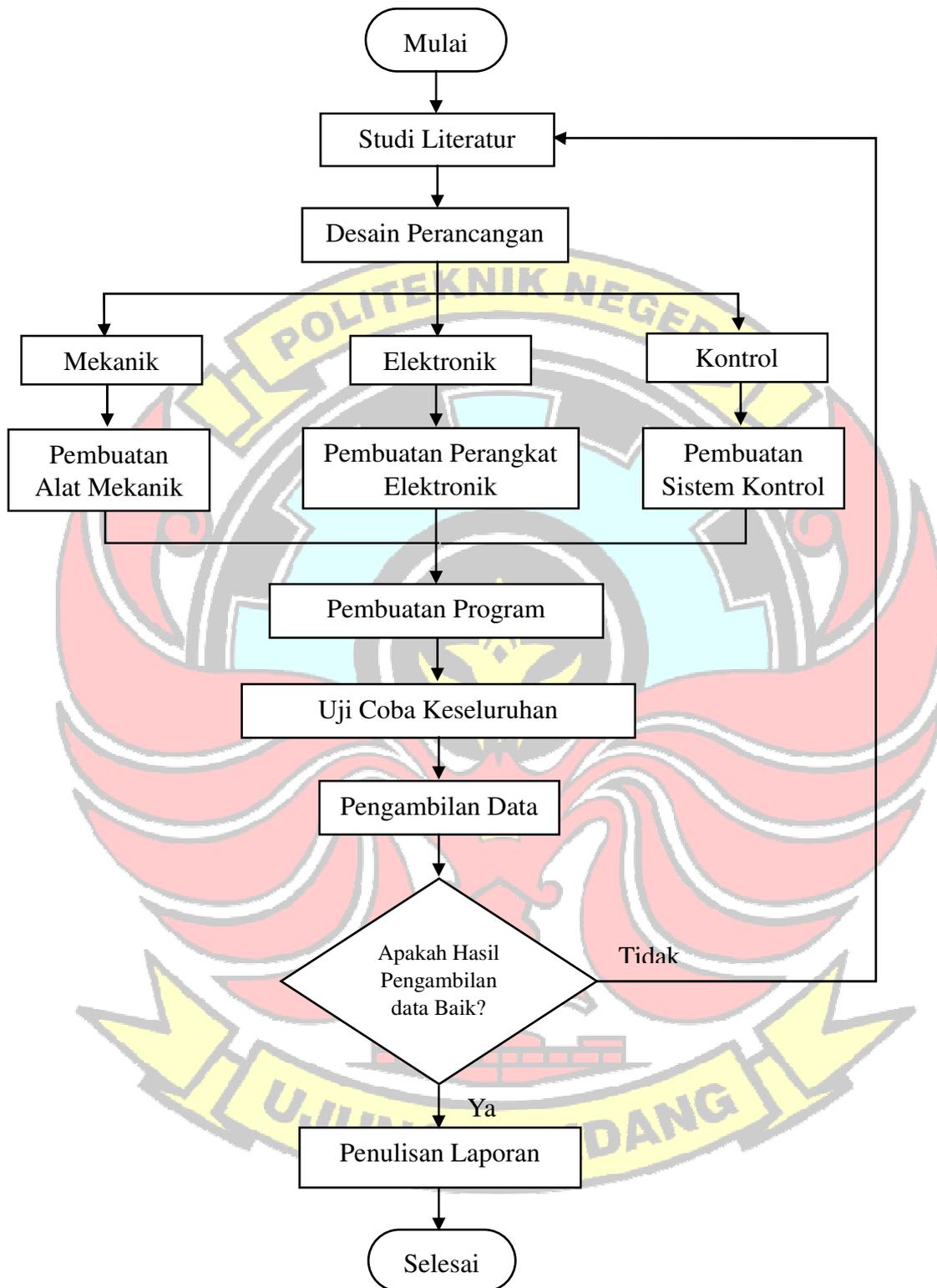
Bahan-bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini seperti:

Tabel 3. 2 Bahan yang Digunakan

No.	Nama Bahan	Jumlah
1.	NodeMCU ESP32	1 Buah
2.	Arduino Mega 2560	1 Buah
3.	Dinamo motor AC	3 Buah
4.	VFD Inverter	3 Buah
5.	Sensor <i>Rotary encoder</i>	3 Buah
6.	Pulley dan belt	3 Set
7.	<i>Limitswitch</i>	3 Buah
8.	<i>Module Relay 6 Channel</i>	1 Buah
9.	Kabel Jumper <i>Male to Female</i>	Secukupnya
10.	Kabel Jumper <i>Male to Male</i>	Secukupnya
11.	Isolasi Kabel	1 Buah
12.	Timah	1 Buah

3.3 Prosedur/Langkah Kerja

Pada proses pengerjaan tugas akhir diperlukan langkah-langkah yang dilakukan. Yang penulis lakukan untuk menyelesaikan tugas akhir adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Flowchart Metode Perancangan

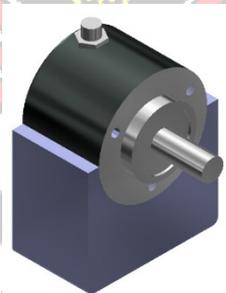
3.3.1 Studi Literatur

Tahapan mempelajari prinsip dan sistem kerja dari *Overhead crane* serta Mikrokontroler. Yang menjadi acuan yakni buku-buku, jurnal, serta informasi internet, berupa artikel, weblog, video, serta ensiklopedia umum.

3.3.2 Desain Rancangan

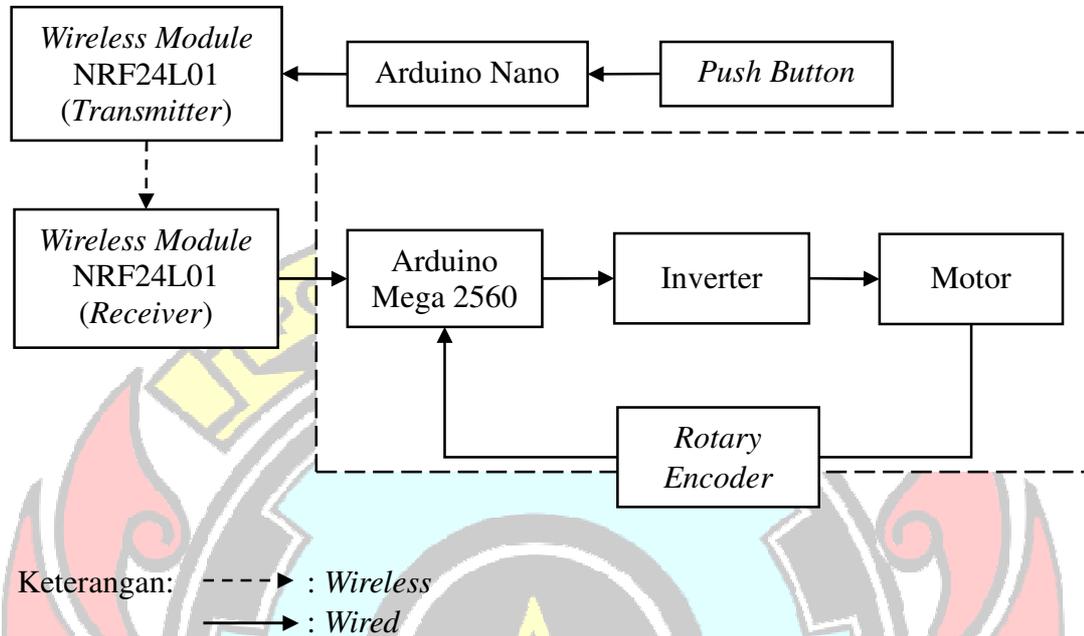
Mendesain rancangan suatu sistem yang dibuat sesuai dengan apa yang telah dipahami dari studi literatur. Pembuatan desain ini baik itu mekanik, elektronik, dan sistem kontrol ditujukan agar dalam pengerjaan dan pembuatan nantinya sudah mendapat gambaran, komponen-komponen yang digunakan, dan konsep dari apa yang dibuat.

1) Perancangan Mekanik



Gambar 3. 2 Desain Mekanik

2) Perancangan Elektronik



Gambar 3. 3 Skematik Diagram Perancangan Elektronik

3) Perancangan Sistem Kontrol

Mencoba beberapa cara dengan simulasi untuk pergerakan motor hingga didapatkan persamaan yang cocok untuk pengaplikasian penentuan posisi hoist *crane*. Mensimulasikan cara yang telah dibuat dengan sistem *close loop/feedback*.

3.3.3 Pembuatan dan Pengerjaan Alat

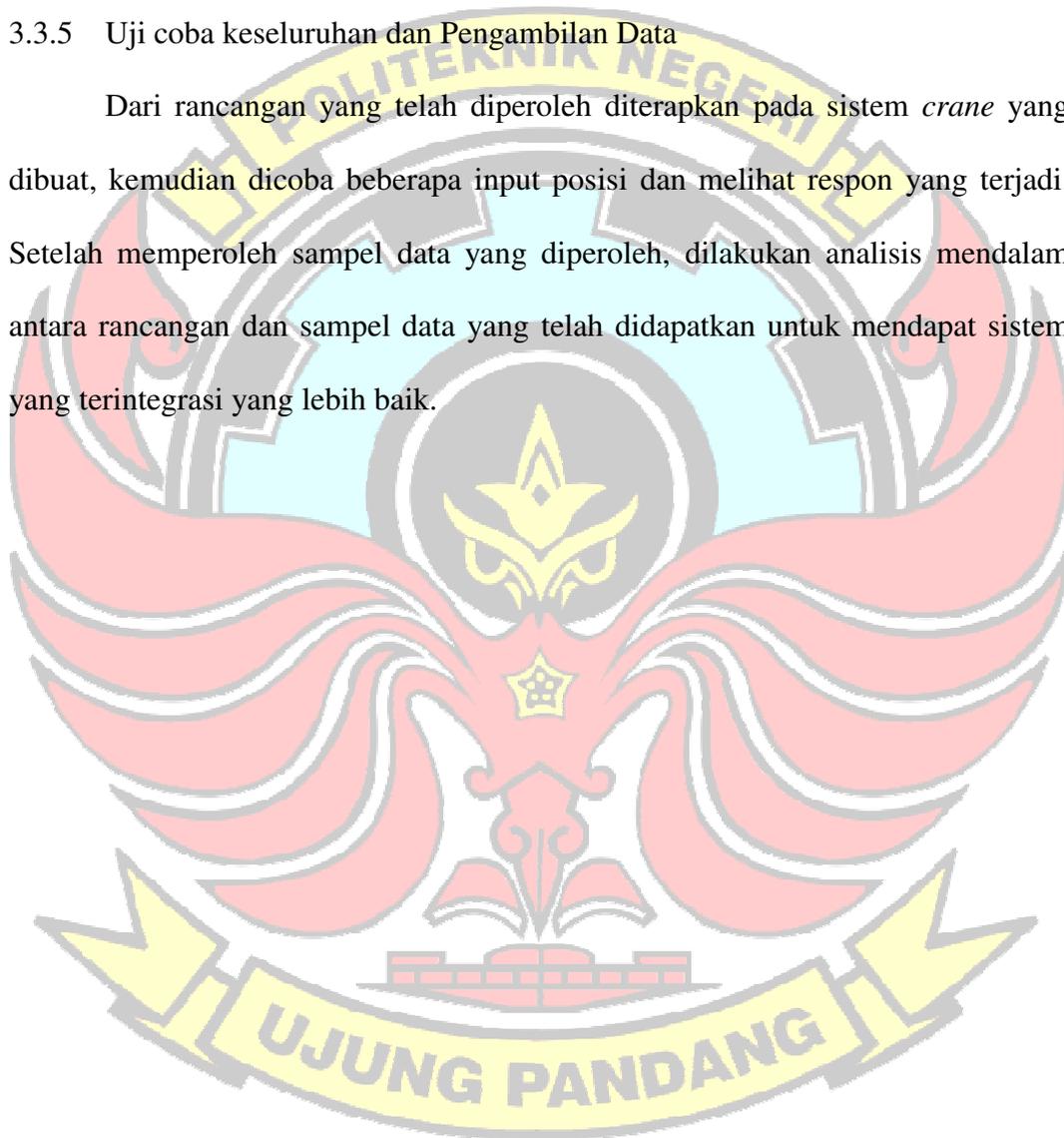
Setelah melakukan perancangan, langkah selanjutnya yang dilakukan pada tahap ini yaitu pembuatan rangka alat dan pembuatan rangkaian elektronik. Setelah alat dan rangkaian elektronik telah dibuat, selanjutnya pemasangan komponen-komponen. Kemudian, melakukan analisis terhadap hubungan antara tegangan, dan arus terhadap kecepatan putaran dan torsi pada motor listrik.

3.3.4 Pembuatan Program

Pembuatan program sesuai dengan perintah yang diberikan ke mikrokontroler melalui *software* Arduino IDE.

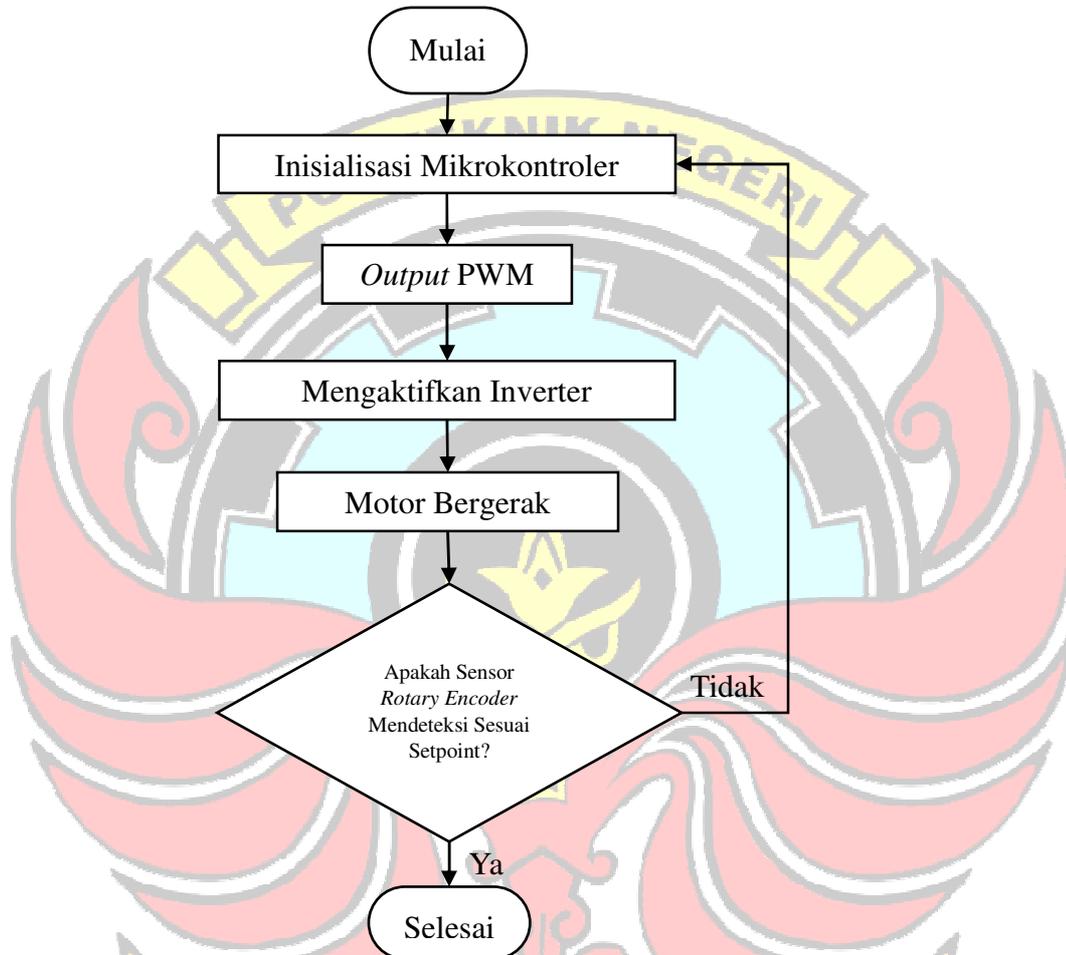
3.3.5 Uji coba keseluruhan dan Pengambilan Data

Dari rancangan yang telah diperoleh diterapkan pada sistem *crane* yang dibuat, kemudian dicoba beberapa input posisi dan melihat respon yang terjadi. Setelah memperoleh sampel data yang diperoleh, dilakukan analisis mendalam antara rancangan dan sampel data yang telah didapatkan untuk mendapat sistem yang terintegrasi yang lebih baik.



3.4 Langkah-Langkah Pengujian

Berikut langkah-langkah pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini:



Gambar 3. 4 Flowchart Langkah Pengujian

3.5 Teknik Analisis Data

Dalam melakukan proses analisis data, penulis melakukan pengujian dan evaluasi terhadap sistem kontrol umpan balik *overhead crane* dengan melakukan *trial and error*. Dan melakukan analisa dan pengujian posisi yang diukur melalui *Rotary encoder*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

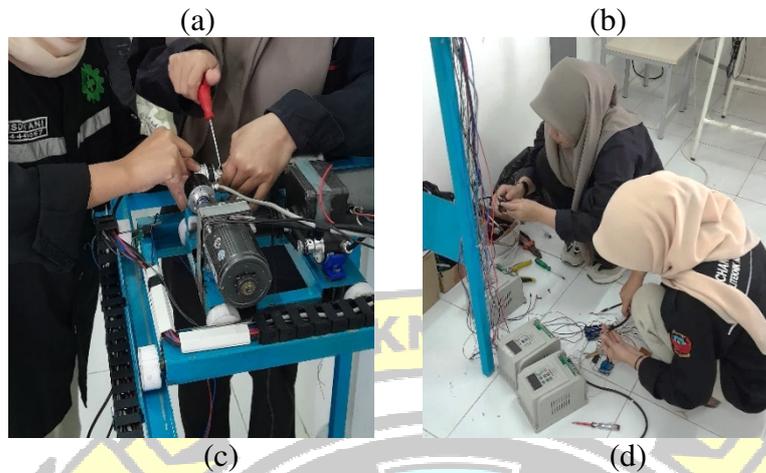
Bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan dari sistem yang telah dibuat untuk penelitian ini. Penjelasan terbagi ke dalam beberapa bagian, yaitu: perancangan mekanik, perancangan elektronik, perancangan sistem kontrol, serta hasil pengujian dan pembahasan dari sistem kontrol posisi menggunakan *feedback control* pada *overhead crane*.

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Rancangan Mekanik

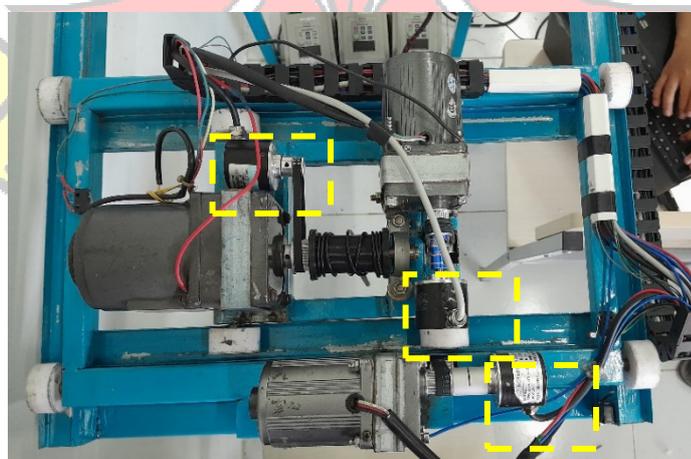
Hasil rancangan mekanik dipasang tiga buah dinamo motor AC sebagai actuator dimana motor tersebut telah dilengkapi dengan *gearbox* set, tiga buah sensor *rotary encoder*, dan tiga buah VFD Inverter. Penempatan motor dan sensor ditempatkan pada bagian lintasan crane (gerak maju-mundur) dapat disebut dengan sumbu x, jembatan palang (gerak kanan-kiri) dapat disebut dengan sumbu y, dan drum penggulung (gerak naik-turun) dapat disebut dengan sumbu z ini bertujuan agar saat dilakukan proses pengaturan posisi pada *overhead crane*, sistem dapat bekerja secara keseluruhan dan akurat.





Gambar 4. 1 Proses Pengerjaan Mekanik
 (a) Rancangan mekanik secara keseluruhan (b) Pemasangan Motor
 (c) Pemasangan Sensor *Rotary Encoder* (d) Pemasangan VFD Inverter

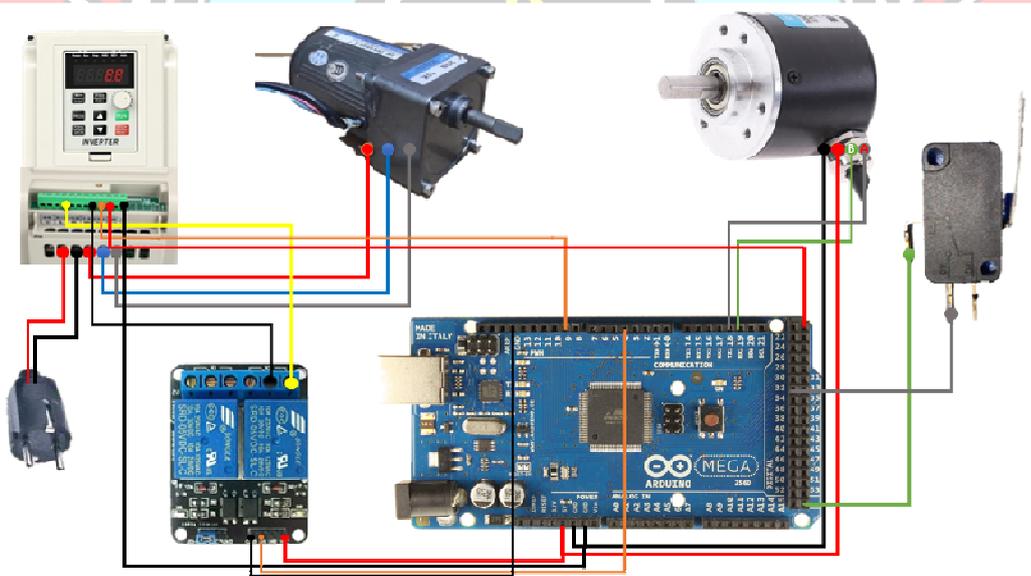
Dinamo motor AC dihubungkan pada poros motor dengan sensor *rotary encoder* menggunakan kopling agar sensor dapat membaca pergerakan motor secara akurat. VFD inverter, relay dan arduino mega 2560 ditempatkan disamping prototipe *crane*. *Limitswitch* dipasang pada ujung jalur pergerakan *crane* sebagai penahan tambahan, ini berfungsi untuk memutuskan sinyal ke VFD inverter ketika *crane* mencapai batas pergerakan yang telah ditentukan. Relay sebagai swithcing yang digunakan untuk mengontrol pergerakan arah motor.



Gambar 4. 2 Hasil Rangkaian Mekanik Pada Prototipe Overhead Crane.

4.1.2 Hasil Rancangan Elektronik

Hasil perancangan elektronik sistem kontrol posisi *overhead crane* yang menggunakan *feedback control*, komponen utama yang digunakan meliputi arduino mega 2560, sensor *rotary encoder*, dinamo motor AC, VFD Inverter, *limitswitch*, dan modul relay. Komponen elektronik berada pada bagian samping dari prototipe *crane* dan dibuatkan jalur perkabelan. Selanjutnya, melakukan perakitan komponen elektronik dan melakukan penyambungan pengkabelan antar komponen elektronik. Kemudian melakukan pengujian sistem elektronik dengan cara mengaktifkan seluruh sistem elektronik yang telah dirakit untuk memastikan sistem sudah benar dan aman.

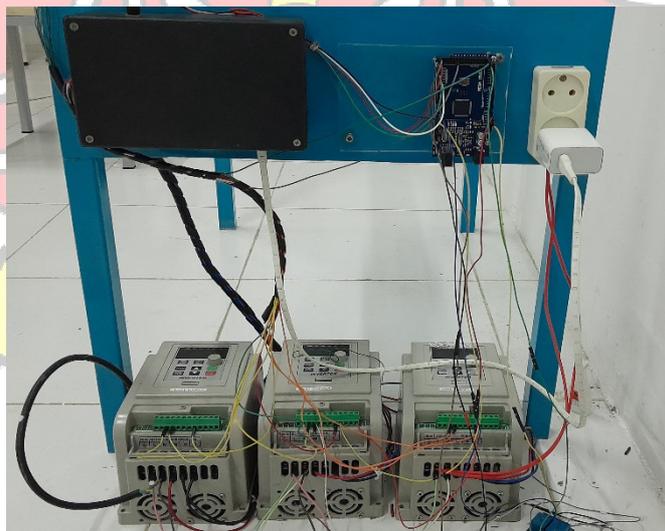


Gambar 4. 3 Ekperimental Setup/Wiring Sistem Kontrol.

Berikut ini adalah tabel pengkabelan pin I/O Arduino dan VFD inverter:

Tabel 4. 1 Pengkabelan Pin I/O Arduino dan VFD Inverter

No.	Komponen	Arduino Mega 2560	VFD Inverter
1.	Sumber Listrik 220V Fase Tunggal	(+)	L
		(-)	N
2.	Dinamo Motor AC	Merah	W
		Biru	V
		Hitam	U
		NO	X4
3.	Relay	GND	COM
		VCC	5V
		GND	GND
		IN1	4
4.	Rotary Encoder	A	18
		B	19
		VCC	5V
		GND	GND
5.	Limitswitch	NO	32
		GND	GND
		COM	GND
6.	VFD Inverter	5V	5V
		Vi1	9
			Input PWM



Gambar 4. 4 Hasil Rangkaian Elektronik Pada Prototipe Overhead Crane.

4.1.3 Hasil Rancangan Sistem Kontrol

Pada penelitian ini, sistem kontrol posisi *overhead crane* dirancang dengan menggunakan *feedback control* yang secara otomatis mengatur posisi gerak *trolley crane* berdasarkan pembacaan data dari sensor *rotary encoder* dan kontroler P yang dijalankan pada Arduino Mega 2560 akan mengirimkan sinyal kepada VFD inverter. Data posisi diolah untuk memastikan gerakan *trolley crane* yang presisi. Arduino Mega 2560 berfungsi sebagai pengendali utama dalam sistem ini. Adapun program yang dibuat dengan menggunakan Arduino Mega 2560 antara lain:

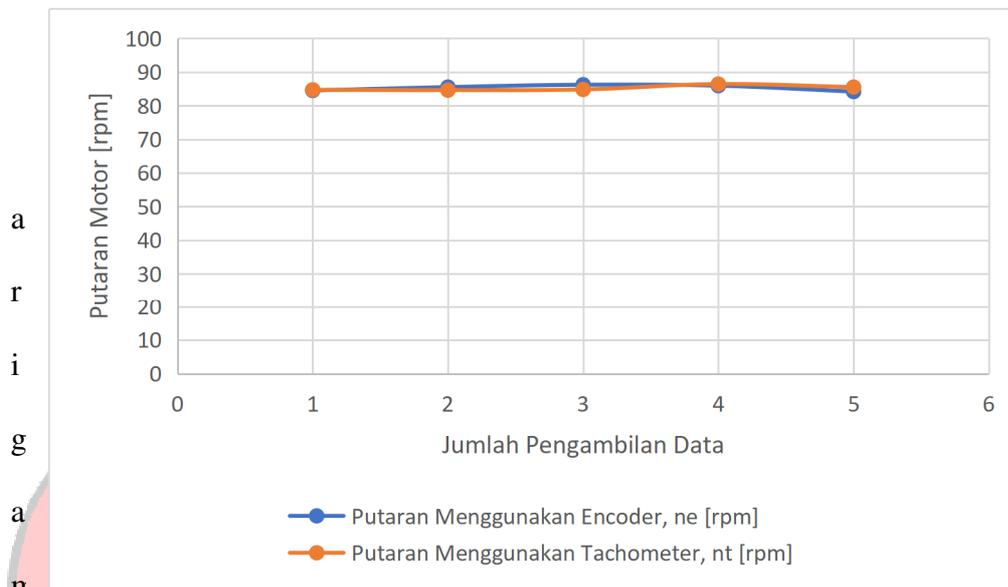
- 1) Program untuk membaca data posisi dari sensor *rotary encoder*.
- 2) Program untuk mengendalikan VFD Inverter dalam mengatur kecepatan dinamo motor AC.
- 3) Program untuk menjalankan kontroler P untuk mengontrol posisi gerak *trolley* sesuai setpoint yang di inginkan.

4.1.4 Hasil Pengujian Alat

Hasil pengujian pada prototipe *overhead crane* adalah dengan menguji kinerja prototipe ditinjau dari pengujian putaran sensor dan motor, sistem kontrol, dan step respon.

- 1) Pengujian Sensor dan Motor

Percobaan pertama dilakukan untuk menguji pembacaan putaran motor menggunakan sensor encoder dan tachometer dengan pengaturan PWM 75% dalam waktu putaran selama 10 detik.



Gambar 4. 5 Perbandingan Pengukuran Putaran Motor Menggunakan Encoder dan Tachometer.

ar 4.5 terlihat bahwa hasil pengukuran putaran motor menggunakan encoder dan tachometer memberikan hasil yang hampir sama, mengindikasikan bahwa encoder memberikan data yang akurat dan berfungsi dengan baik untuk analisis motor.

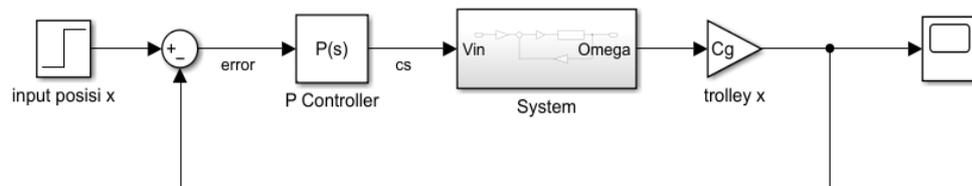
2) Skema Sistem Kontrol

Percobaan kedua dilakukan untuk menguji sistem kontrol pada gerak *trolley* sumbu x dalam mencapai setpoint posisi yang telah ditentukan. Pertama-tama ditetapkan nilai input posisi x yang merupakan nilai setpoint atau posisi target yang ingin dicapai oleh *trolley*, dengan setpoint sebesar 350 mm. *System* kemudian menghitung *error* (e) sebagai selisih antara posisi target tersebut dengan posisi aktual *trolley*. Error ini selanjutnya diproses oleh pengendali proporsional (*P Controller*), di mana sinyal kontrol (cs) dihasilkan dengan mengalikan *error* dengan konstanta proporsional (K_p). Sinyal

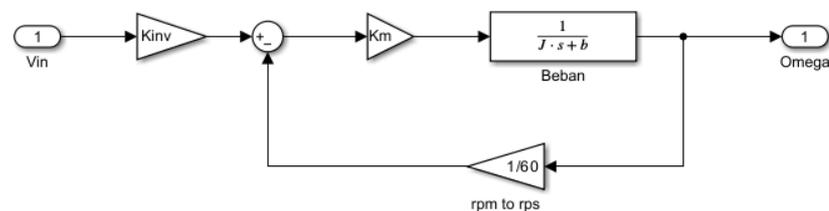
kontrol ini kemudian dikirim ke *system* yang bertugas untuk menggerakkan *trolley* mendekati posisi yang diinginkan. *System* menerima sinyal kontrol dan menggerakkan *trolley* ke posisi yang seharusnya. Posisi aktual *trolley* x yang dihasilkan dari pergerakan ini kemudian diukur kembali untuk mengetahui seberapa dekat *trolley* berada dengan posisi yang diinginkan.

Untuk memastikan bahwa *output* dari *system* sesuai dengan skala yang diperlukan untuk kontrol yang akurat, digunakan konversi gain (C_g). Konversi gain ini berfungsi untuk menyesuaikan sinyal *output* dari *system* agar sesuai dengan skala pengukuran, sehingga *system* dapat mempertahankan kontrol yang tepat terhadap posisi *trolley*.

Posisi aktual *trolley* kemudian dikembalikan sebagai *feedback* ke dalam *loop* kontrol untuk perhitungan *error* selanjutnya. Dengan *loop feedback* ini, sistem terus mengoreksi posisinya hingga mencapai setpoint yang diinginkan.



Gambar 4. 6 Skema Sistem Kontrol.



Gambar 4. 7 Tampilan System

```

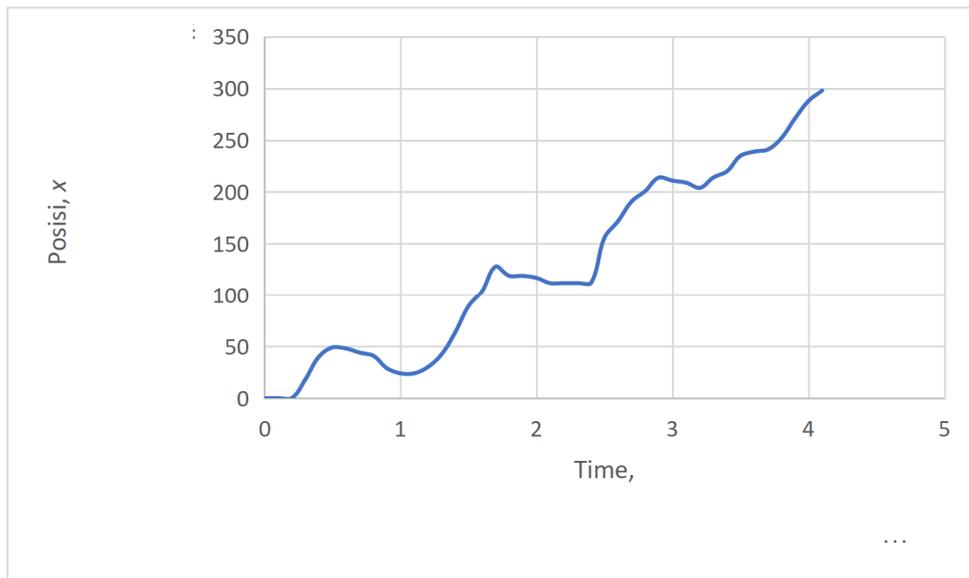
D:\SMT 8\Tugas Akhir\ScriptPemodelanSimulinkMotor.m
EDITOR PUBLISH VIEW
New Open Save Compare Print Go To Find Refactor Profiler SECT
Bookmark Analyze
FILE NAVIGATE CODE ANALYZE
1 % INVERTER PARAMETERS
2 fmax = 400;
3 fmin = 0;
4 Vmax = 220;
5 Vmin = 0;
6 Kinv = (fmax-fmin)/(Vmax-Vmin)
7
8 % ASYNCHRONOUS MOTOR PARAMETERS
9 Tmn = 273;
10 fn = 50;
11 nn = 150;
12 Km = Tmn/(fn-(nn/60))
13 Jm = 0.37;
14 bm = 1e-5;
15
16 % LOAD PARAMETERS
17 Jl = 3.17;
18 bl = 0.1;
19
20 % TOTAL MOMENT OF INERTIA AND DAMPING
21 J = Jm+Jl
22 b = bm+bl
23
24 % CONVERSION GAIN (Cg) [mm]
25 Xmax = 530;
26 Emax = 7000;
27 Cg = Xmax/Emax
2 usages of "Jl" found Zoom: 100% UTF-8 CRLF script

```

Gambar 4. 8 Script Sistem Kontrol

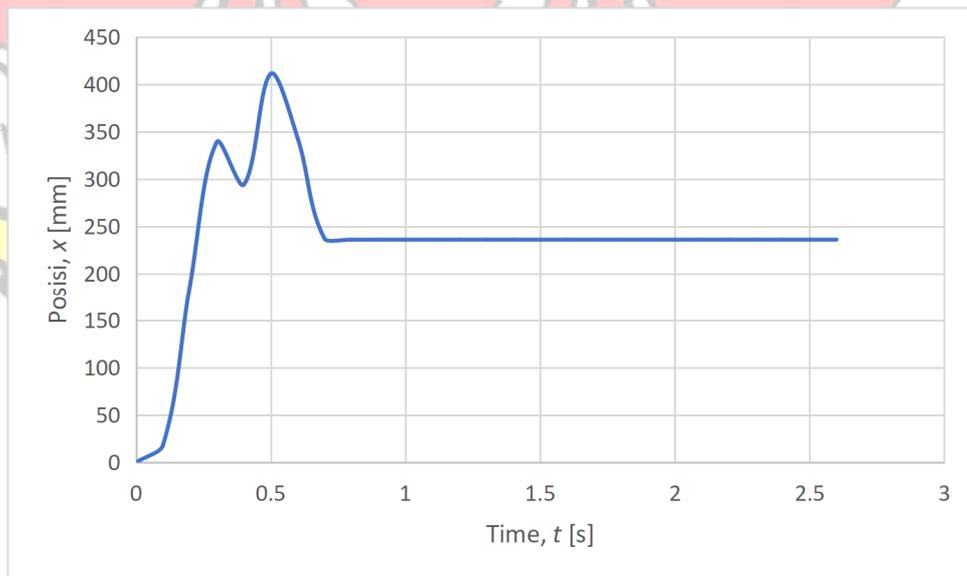
3) Step Respon

Dalam analisis step respon sistem menggunakan kontroler P, dilakukan dengan cara memasukkan nilai Kp dengan metode *trial and error*. Pengujian ini dilakukan dengan 4 kali percobaan dengan nilai Kp yang berbeda memberikan perubahan terhadap respon sistem.



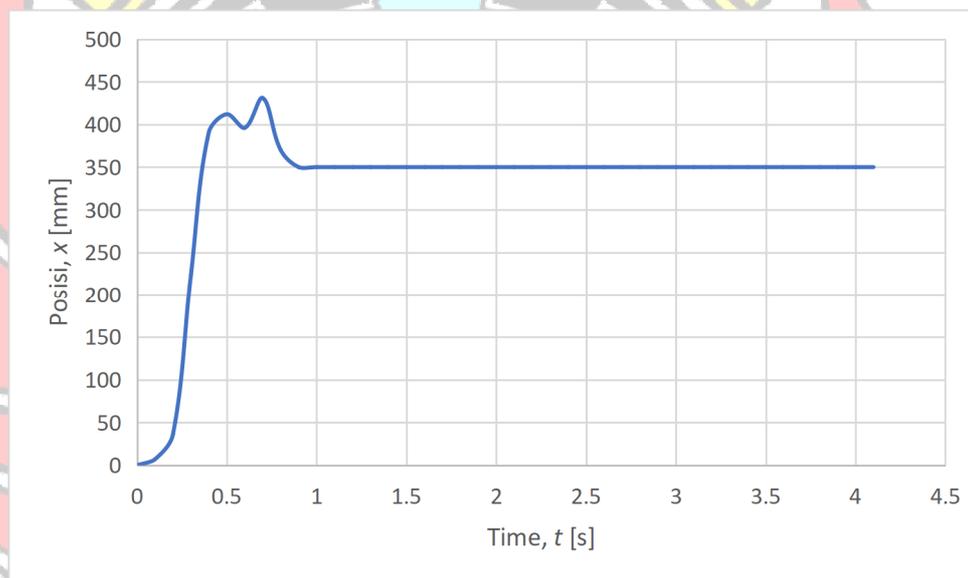
Gambar 4. 9 Pengujian Nilai $K_p = 1$

Pada kondisi *uncontrolled system* dengan nilai $K_p = 1$, di mana sistem mengalami *overshoot* dan osilasi yang berlebihan, serta memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai posisi stabil. Sehingga sistem tidak mencapai setpoint yang telah di tentukan.



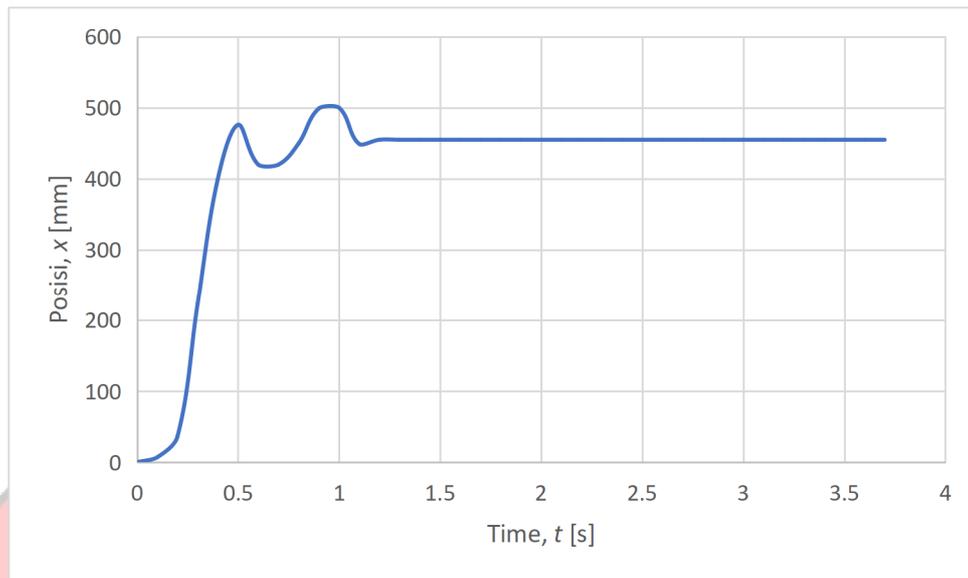
Gambar 4. 10 Pengujian Nilai $K_p = 2$

Dengan nilai $K_p = 2$, respons sistem menjadi lebih cepat dibandingkan dengan $K_p = 1$, namun masih kurang memadai untuk mencapai setpoint sepenuhnya. Sistem mungkin mulai mendekati setpoint, tetapi karena sinyal kontrol yang dihasilkan masih belum cukup besar, sistem akhirnya menetap di bawah nilai setpoint. Hal ini menunjukkan bahwa kendali dengan $K_p = 2$ masih kurang kuat untuk mengatasi *error* yang ada.



Gambar 4. 11 Pengujian Nilai $K_p = 3$

Pada nilai $K_p = 3$, sistem menunjukkan peningkatan signifikan dalam kecepatan dan efektivitas kontrol. Sistem mampu mencapai setpoint dengan cepat, meski masih terdapat *overshoot* ini menunjukkan bahwa kontrol dengan $K_p = 3$ sudah cukup efektif.

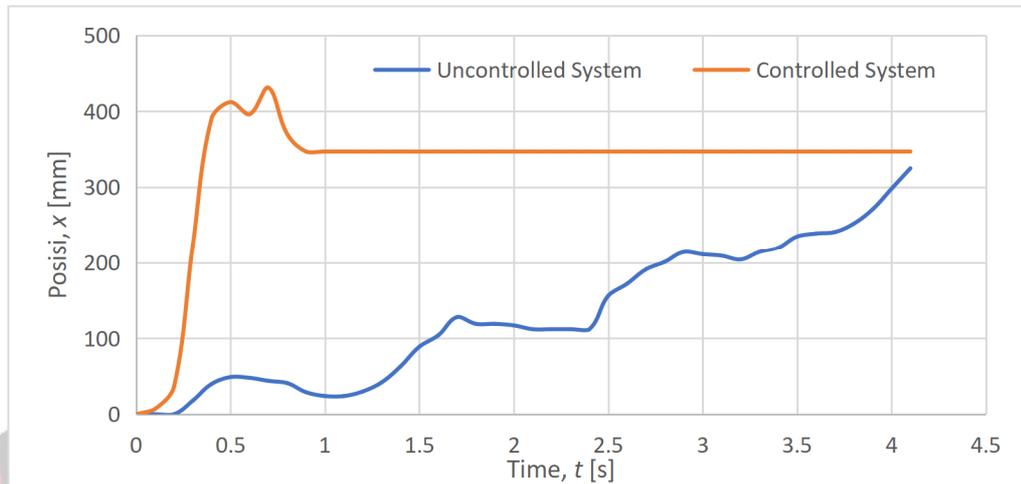


Gambar 4. 12 Pengujian Nilai $K_p = 4$

Ketika K_p ditingkatkan menjadi 4, sistem menjadi jauh lebih agresif dalam merespons *error*. Sistem dengan cepat mencapai setpoint, namun karena tingginya nilai K_p , sinyal kontrol yang dihasilkan menjadi terlalu besar, menyebabkan sistem melampaui setpoint secara signifikan dengan *overshoot* yang besar. Setelah melewati setpoint, sistem mungkin memerlukan waktu lebih lama untuk stabil. Hal ini menunjukkan bahwa K_p yang terlalu tinggi dapat menyebabkan instabilitas dan kinerja yang tidak optimal.

Dari analisis ini, terlihat bahwa nilai K_p yang tepat adalah kunci untuk mencapai keseimbangan antara kecepatan respon dan stabilitas sistem. Dengan nilai K_p yang terlalu rendah, sistem tidak mencapai setpoint, dengan nilai K_p yang terlalu tinggi, sistem melampaui setpoint secara signifikan dan menjadi tidak stabil.

Nilai K_p yang optimal adalah $K_p = 3$ karena sistem mencapai pada setpoint dengan *overshoot* minimal dan waktu settling yang cepat.



Gambar 4. 13 Step Respon Overhead Crane untuk *Uncontrolled* dan *Controlled System* pada Gerakan Trolley Sumbu X

Gambar 4.9 menunjukkan respons tangga (step response) dari sistem kontrol posisi *overhead crane* yang dibandingkan antara kondisi "*Controlled*" (terkendali) dan "*Uncontrolled*" (tidak terkendali). Pada kondisi terkendali, terlihat bahwa sistem mencapai posisi yang diinginkan dengan cepat dan tanpa *overshoot* yang signifikan. Sebaliknya, pada kondisi tidak terkendali, sistem mengalami *overshoot* dan osilasi yang berlebihan, serta memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai posisi stabil. Hal ini menegaskan bahwa implementasi kontrol Proportional (P) pada algoritma PID berhasil meningkatkan performa sistem dalam menjaga kestabilan dan akurasi posisi crane.

4.2 Pembahasan

Kontrol posisi pada prototipe *overhead crane* sangat penting untuk memastikan bahwa crane dapat beroperasi dengan presisi dan akurasi yang tinggi. *Overhead crane* sering digunakan untuk mengangkat dan memindahkan beban

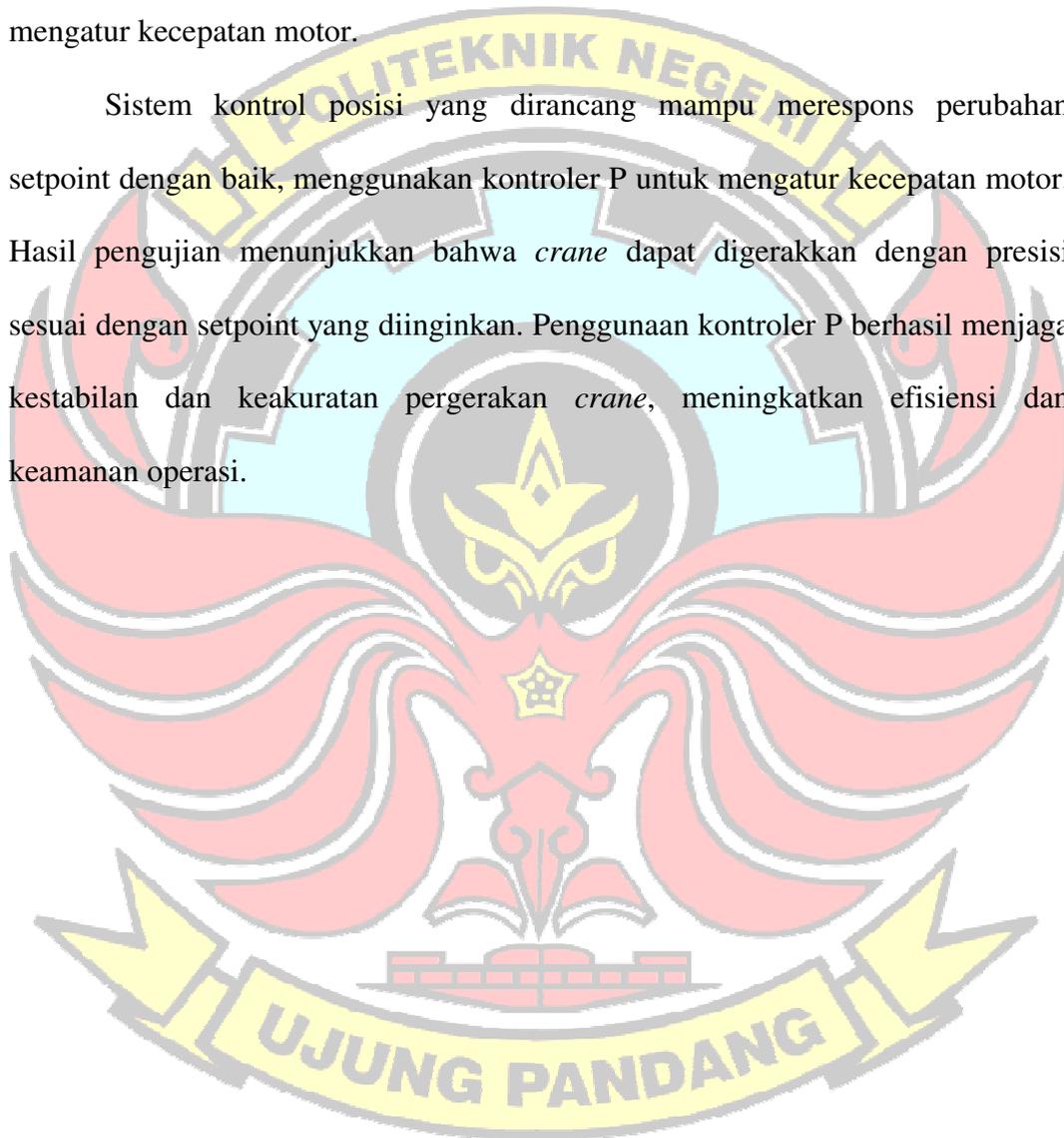
berat di lingkungan industri, dan setiap kesalahan dalam posisi dapat menyebabkan potensi risiko keselamatan, kerusakan material, atau ketidakefisienan operasional. Dengan implementasi kontrol posisi, *crane* dapat dipastikan untuk memindahkan beban ke lokasi yang tepat, sesuai dengan titik tujuan yang diinginkan, tanpa *overshoot* atau *undershoot* yang signifikan. Selain itu, kontrol posisi membantu dalam mengurangi osilasi yang dapat terjadi saat beban dipindahkan, sehingga meningkatkan stabilitas dan keamanan operasi. Kontrol posisi juga berperan dalam meningkatkan efisiensi energi, karena *crane* tidak perlu melakukan koreksi posisi yang berulang-ulang, yang dapat memboroskan energi. Dengan demikian, kontrol posisi pada prototipe *overhead crane* tidak hanya memastikan kinerja yang optimal dan aman, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan keandalan dalam operasi sehari-hari.

Berdasarkan hasil olah data dari pengujian yang telah dilakukan, sistem kontrol posisi *overhead crane* yang dirancang menggunakan Arduino Mega 2560, sensor *rotary encoder*, VFD Inverter, dan dinamo motor AC terbukti bekerja secara optimal. Pada sistem ini menggunakan komponen Proporsional (P) untuk pengendalian kecepatan motor. Arduino Mega 2560, sebagai pengendali utama, mengolah data posisi dari sensor *rotary encoder* dan mengatur kecepatan motor sesuai dengan nilai P yang telah ditetapkan, tanpa mengatur arah putaran motor.

Grafik hasil simulasi menunjukkan respons sistem kontrol posisi dengan kontroler P yang lebih cepat mencapai kondisi stabil dibandingkan sistem tanpa kontrol (*uncontrolled*). Nilai K_p yang optimal adalah $K_p = 3$ karena sistem mencapai pada setpoint dengan *overshoot* minimal dan waktu settling yang cepat.

Sensor *rotary encoder* yang digunakan untuk mengukur posisi aktual *crane* bekerja sesuai dengan fungsinya, dan pembacaan data posisi terus menerus dilakukan selama sistem aktif. Semua data tersebut diproses oleh Arduino Mega 2560, yang kemudian mengirimkan sinyal kontrol ke VFD Inverter untuk mengatur kecepatan motor.

Sistem kontrol posisi yang dirancang mampu merespons perubahan setpoint dengan baik, menggunakan kontroler P untuk mengatur kecepatan motor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *crane* dapat digerakkan dengan presisi sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Penggunaan kontroler P berhasil menjaga kestabilan dan keakuratan pergerakan *crane*, meningkatkan efisiensi dan keamanan operasi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, sistem kontrol posisi *overhead crane* yang dirancang menggunakan Arduino Mega 2560, sensor *rotary encoder*, VFD Inverter, dan dinamo motor AC telah berhasil diimplementasikan dengan baik. Sistem ini terbukti efektif dalam mengontrol posisi *crane* menggunakan kontrol Proportional (P) pada algoritma PID. Dengan nilai K_p yang optimal adalah $K_p = 3$ karena sistem mencapai pada setpoint dengan *overshoot* minimal dan waktu *settling* yang cepat.
2. Pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol posisi yang dirancang mampu merespons perubahan setpoint dengan baik dan mengatur posisi *crane* sesuai dengan input yang diberikan. Arduino Mega 2560 memproses data dari sensor *rotary encoder* dan mengirimkan sinyal kontrol ke VFD Inverter untuk mengatur kecepatan dinamo motor AC. Hasilnya, *crane* dapat bergerak dengan presisi tinggi menuju posisi yang diinginkan, menjaga kestabilan dan akurasi selama operasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam sistem kontrol posisi menggunakan *feedback control* pada

overhead crane ini. Oleh karena itu, agar sistem mampu beroperasi lebih baik lagi, penulis memberikan beberapa saran lain:

1. Meskipun sistem kontrol posisi overhead crane menggunakan kontrol Proportional (P) telah terbukti efektif, ada baiknya untuk mempertimbangkan pengembangan lebih lanjut dengan menerapkan algoritma PID secara penuh (Proportional-Integral-Derivative). Penambahan komponen Integral (I) dan Derivative (D) pada sistem kontrol dapat meningkatkan stabilitas dan respons sistem terhadap perubahan setpoint yang lebih kompleks, sehingga mengurangi kesalahan steady-state dan overshoot yang mungkin terjadi.
2. Untuk memastikan keandalan dan fleksibilitas sistem kontrol yang dirancang, disarankan untuk melakukan pengujian lebih lanjut pada berbagai kondisi beban dan lingkungan kerja. Uji coba dengan variasi beban dan gangguan eksternal dapat memberikan wawasan lebih mendalam tentang kinerja sistem, serta membantu dalam penyempurnaan dan penyesuaian parameter kontrol agar lebih adaptif terhadap situasi operasional yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S., & Ronaldi. (2019). Rancang Bangun Pendeteksi Kecepatan Motor Indusksi Dengan Menggunakan Rotary Encoder Dan Mikrokontroller. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Amalia, A. (2021). SISTEM KONTROL. Universitas Tidar.
- Athoillah, M. N. (2021). Rancang Bangun PID Controller Dengan Tuning Ziegler Nichols Untuk Pengendalian Posisi Sudut Motor DC. 537–545.
- Eprocurement. (2021, July). Apa itu Overhead Crane? Ini Jenis, Komponen, dan Prinsip Kerjanya. Eprocurement.
- Ichsan, M. Y. (2023). PENGATURAN KECEPATAN PERAHU DENGAN MOTOR AC 3 PHASE MENGGUNAKAN METODE PID (OPEN LOOP) DIWISATA RELIGI SAYUNG.
- Ishak, L. F., & Aminudin, T. (2018). PERANCANGAN SISTEM GANTRY CRANE DENGAN WIRELESS CONTROL BERBASIS ARDUINO. 15(1), 9–14.
- Kamil, B. (2021). Pebandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai Wapu Sebagai Agrenat Halus Dengan Variasi Bahan Tambah Sica Fume Pada Peredaman Air Tawar Dan Air Laut.
- L Khakim, S. S. (2012). Pembuatan Sistem Pengaturan Putaran Motor DC Menggunakan Kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) dengan Memanfaatkan Sensor KMZ51.
- Lubis, F. B., Yanie, A., Elektro, T., Listrik, K. E., Teknik, F., & Komputer, D. (2022). Implementasi Pulse Width Modulation (PWM) Pada Penyaluran Limbah Cair Pupuk Kelapa Sawit Berbasis Arduino. In Cetak) Journal of Electrical Technology (Vol. 7, Issue 2).
- MA'ARIF, A., ISTIARNO, R., & SUNARDI, S. (2021). Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Kecepatan Sudut Motor DC dengan Pemodelan Identifikasi Sistem dan Tuning. ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik

Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 9(2), 374.
<https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.374>

Nanang Budi Hartono, K. B. S. A. W. (2014). Pengaturan Posisi Motor Servo DC dengan Metode P, PI, Dan PID.

Norviari, A. (2019). perancangan pengontrolan overhead crane menggunakan kabel dan nirkabel berbasis arduino.

Novriadi, A. (2019). Perancangan Pengontrolan Overhead Crane Menggunakan Kabel dan Nirkabel Berbasis Arduino sangat banyak ditemukan di berbagai dunia bekerja mengangkut bahan material Agar terhindarnya dari kecelakaan penggunaan yang digunakan adalah Joystick PlayStation3 Ar. Jurnal Teknologi Terpadu, 7(2), 76–84.

Nur Amalia, R., Kusuma, W., & Alfian, F. (2023). Desain Simulasi dan Analisa Closed Loop Boost Converter Terintegrasi Solar PV Berbasis PID. ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan, 10(1).

Parulian, I. S., Pangaribuan, T., & Simamora, A. (2021). Implementasi Kontrol Lup Tertutup Multi Point Pada Pengatur Temperatur Oven Panggang Roti. In Telecommunications & Control System-ELPOTECs Jurnal ELPOTECs | (Vol. 4, Issue 1).

Rahman. (2018). REVERENSI PID.

Rosandi, D. (2022). SISTEM MONITORING KUALITAS AIR BUDIDAYA IKAN KOI (*Cyprinus carpio*) MENGGUNAKAN NODEMCU ESP32 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) DENGAN APLIKASI BLYNK. Universitas Bandar Lampung.

WIKABETON. (2019). Perusahaan WIKABETON. <https://wikabeton.co.id/page/Sekilas-Info-Perusahaan/ind>



LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses Pengoperasian Sistem Kontrol Posisi Overhead Crane

1. Menyambungkan Arduino Mega 2560 ke Sumber Daya

Hubungkan Arduino Mega 2560 ke sumber daya menggunakan kabel USB atau adaptor 5V.

2. Menghubungkan Komponen-Komponen Sistem

Hubungkan dinamo motor AC, VFD Inverter, sensor rotary encoder, relay, dan saklar limit sesuai dengan diagram wiring yang telah disusun.

3. Menghubungkan Arduino Mega 2560 ke Laptop/Komputer

Sambungkan Arduino Mega 2560 ke laptop atau komputer menggunakan kabel USB untuk melakukan pemrograman dan pemantauan sistem.

4. Membuka Software Arduino IDE

Jalankan software Arduino IDE pada komputer dan pilih port yang sesuai dengan Arduino Mega 2560.

5. Meng-upload Program ke Arduino

Buka program kontrol yang telah dikembangkan dan upload ke Arduino Mega 2560. Program ini akan mengaktifkan sistem kontrol posisi crane yang melibatkan pengolahan data dari sensor rotary encoder dan mengirimkan sinyal ke VFD Inverter untuk mengatur kecepatan motor.

6. Menghubungkan VFD Inverter ke Dinamo motor AC

Pastikan VFD Inverter terhubung dengan dinamo motor AC. VFD Inverter ini akan menerima sinyal kontrol dari Arduino dan mengatur kecepatan motor sesuai dengan instruksi yang diterima.

7. Menyalakan Sistem Kontrol

Hidupkan sistem dengan menyalakan sumber daya utama dan memastikan semua komponen terhubung dengan benar.

8. Memantau Operasi Melalui Arduino IDE atau Serial Monitor

Gunakan fitur serial monitor pada Arduino IDE untuk memantau data posisi yang dikirimkan oleh sensor rotary encoder dan respon sistem terhadap perubahan setpoint.

9. Mengatur Setpoint Posisi Crane

Tentukan setpoint posisi yang diinginkan melalui program yang telah di-upload ke Arduino. Sistem akan otomatis mengatur kecepatan motor untuk mencapai setpoint tersebut dengan akurasi tinggi.

10. Mengamati Pergerakan Crane dan Respon Sistem

Amati pergerakan crane sesuai dengan setpoint yang telah diatur. Pastikan bahwa crane bergerak dengan presisi menuju posisi yang diinginkan dan berhenti dengan stabil tanpa overshoot atau undershoot yang signifikan.

11. Menggunakan Saklar Limit Sebagai Pengaman

Jika crane mencapai batas pergerakan yang telah ditentukan, saklar limit akan memutus sinyal ke VFD Inverter dan menghentikan motor untuk mencegah kerusakan sistem.

12. Evaluasi dan Penyempurnaan Sistem

Lakukan evaluasi terhadap performa sistem kontrol. Jika diperlukan, lakukan penyesuaian pada parameter kontrol Proportional (P) atau komponen lainnya untuk mencapai hasil yang lebih optimal.



Lampiran 2 Script Program Arduino Pengukuran Putaran Motor

```
// Definisi pin
#define PWM_PIN 9 // Output PWM ke VFD Inverter
#define ENCODER_PIN_A 2 // Output A dari encoder
#define ENCODER_PIN_B 3 // Output B dari encoder

// Variabel untuk melacak posisi encoder
volatile long encoderPosition = 0;
volatile bool lastA = LOW;
volatile bool lastB = LOW;

unsigned long startTime; // Waktu mulai program
const unsigned long runTime = 10000; // Durasi operasi dalam milidetik (10 detik)

void setup() {
  // Inisialisasi komunikasi serial untuk debugging
  Serial.begin(115200);

  // Setel pin PWM sebagai output
  pinMode(PWM_PIN, OUTPUT);

  // Setup pin encoder
  pinMode(ENCODER_PIN_A, INPUT);
  pinMode(ENCODER_PIN_B, INPUT);

  // Pasang interrupt untuk encoder
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENCODER_PIN_A), updateEncoder, CHANGE);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENCODER_PIN_B), updateEncoder, CHANGE);

  // Catat waktu mulai
  startTime = millis();
}

void loop() {
  // Periksa apakah 10 detik telah berlalu
  if (millis() - startTime < runTime) {
    // Contoh kontrol PWM (mengatur kecepatan motor)
    int pwmValue = 191; // Nilai PWM tetap untuk demonstrasi
    analogWrite(PWM_PIN, pwmValue);

    Serial.print("Nilai PWM: ");
    Serial.println(pwmValue);

    // Output posisi encoder saat ini
    Serial.print("Posisi Encoder: ");
    Serial.println(encoderPosition);

    delay(100);
  } else {
    // Setelah 10 detik, hentikan output PWM dan tampilkan pesan selesai
  }
}
```

```

    analogWrite(PWM_PIN, 0); // Matikan PWM
    Serial.println("Program selesai, PWM dimatikan.");
    while (true); // Hentikan loop
}
}

// Fungsi untuk memperbarui posisi encoder
void updateEncoder() {
    bool currentA = digitalRead(ENCODER_PIN_A);
    bool currentB = digitalRead(ENCODER_PIN_B);

    if (currentA != lastA || currentB != lastB) {
        if (currentA == currentB) {
            encoderPosition++;
        } else {
            encoderPosition--;
        }
    }

    lastA = currentA;
    lastB = currentB;
}

```



Lampiran 3 Script Program Arduino Keseluruhan

```
#include <Encoder.h>

#define relay_trolley 4
#define pwm_trolley 9
#define encoder_A 19
#define encoder_B 18
const int limitSwitchPin = 32; // Pin untuk limit switch

// Deklarasi pin untuk encoder,dan inialisasi variabel counter
int counter = 0;
long enc_position = 0;
int kec_trolley;

// PID kontrol
const float kp = 1;//20
const float ki = 0;//120
const float kd = 0;//1.5
float last_error;
float Error;
float time_samp = 1; //in milisecond
float mv;
int setpoint_trolley = 300;

void setup() {
  // Inialisasi pin sebagai input
  pinMode(encoder_A, INPUT_PULLUP);
  pinMode(encoder_B, INPUT_PULLUP);
  pinMode(relay_trolley,OUTPUT);
  pinMode(limitSwitchPin, INPUT_PULLUP); // Inialisasi pin limit switch sebagai input
  Serial.begin(115200);
  // Attach interrupts
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(18), ai0, RISING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(19), ai1, RISING);
}

void loop() {
  conver_encoder();
  kontrol_motor();
  pid();

  Serial.println(enc_position);
  delay(100); // Delay untuk mengurangi kecepatan pembacaan
```

```

}
void kontrol_motor(){
if (enc_position<setpoint_trolley)
{digitalWrite(relay_trolley,LOW);kec_trolley=mv;}
if (enc_position>setpoint_trolley)
{digitalWrite(relay_trolley,HIGH);kec_trolley=0;}

analogWrite(pwm_trolley,kec_trolley); //mengatur kecepatan pwm trolley dari data
kec_trolley
}
void pid(){
Error = (setpoint_trolley - enc_position);
mv = (kp * Error) + (ki * (Error + last_error) * time_samp / 1000.0) + (kd * (Error -
last_error) * time_samp / 1000.0);
if (mv > 255) {mv = 255;}
if (mv < -255) {mv = -255;}
last_error = Error;
}
void ai0() {
if (digitalRead(19) == LOW) {counter--;}
else { counter++; }
}

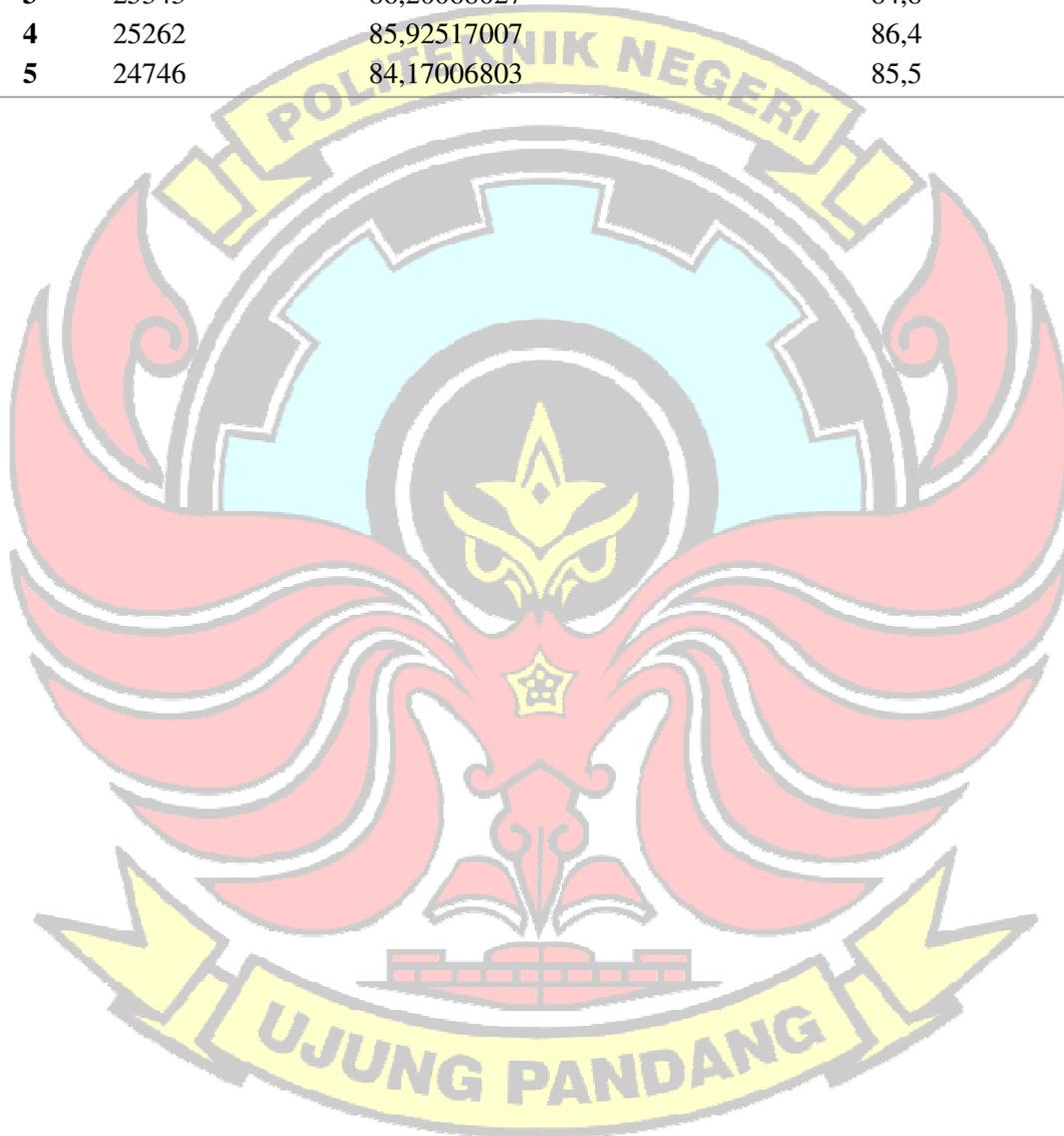
void ai1() {
if (digitalRead(18) == LOW) {counter++;}
else {counter--;}
}

void conver_encoder() {
// Cek apakah limit switch tertekan
if (digitalRead(limitSwitchPin) == LOW) {
counter = 0; // Reset nilai counter jika limit switch tertekan
}
// Memetakan nilai counter dari 0-6000 ke 0-530 milimeter
enc_position = map(counter, 0, 7000, 0, 530);
// Membatasi nilai enc_position dalam rentang 0-530 milimeter
if(enc_position > 530) {
enc_position = 530;}
if(enc_position < 0) {
enc_position = 0;}
}

```

Lampiran 4 Tabel Pengujian Sensor dan Motor

No.	Data Encoder	Putaran Menggunakan Encoder, ne [rpm]	Putaran Menggunakan Tachometer, nt [rpm]
1	24841	84,49319728	84,7
2	25137	85,5	84,6
3	25343	86,20068027	84,8
4	25262	85,92517007	86,4
5	24746	84,17006803	85,5



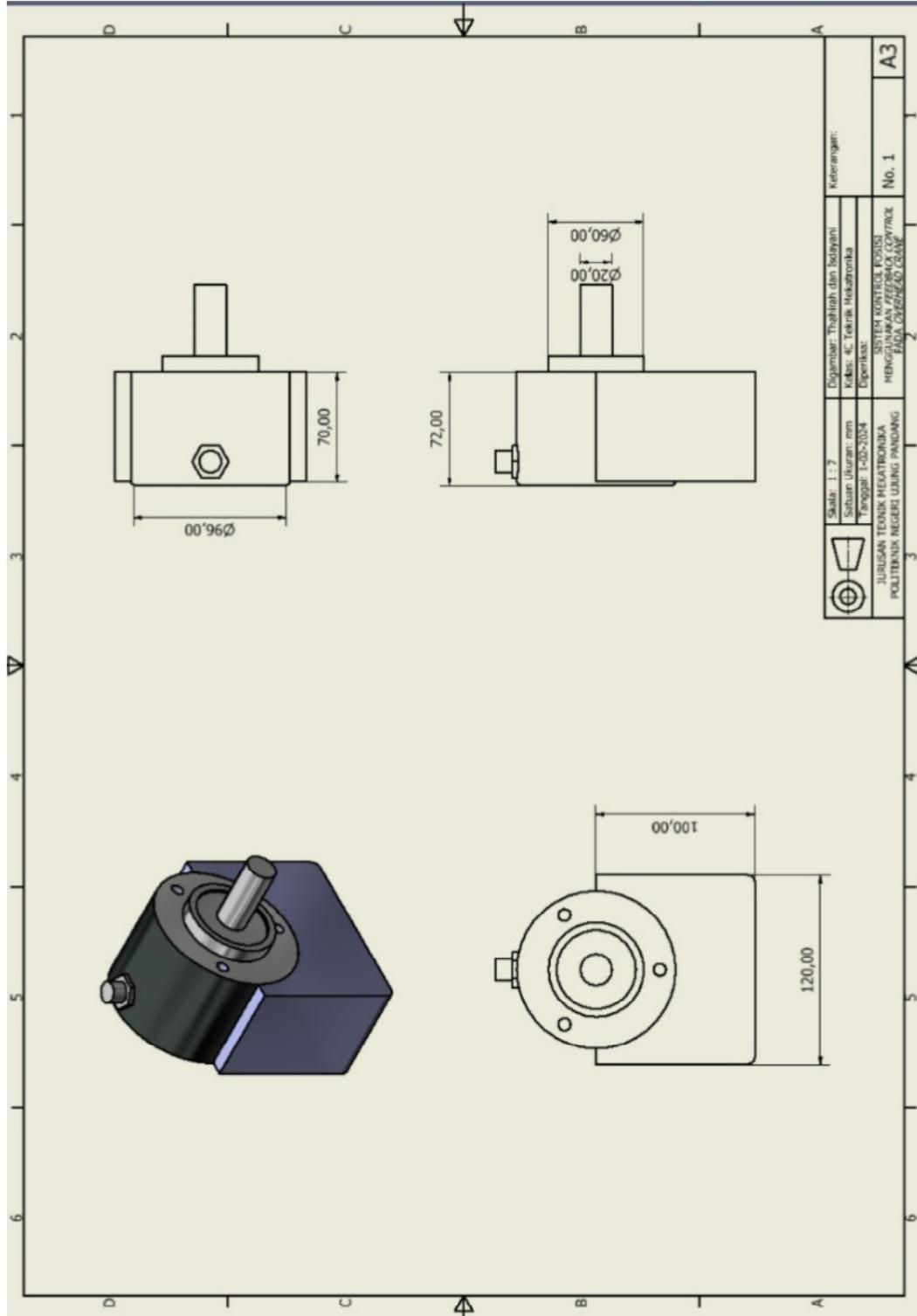
Lampiran 5 Tabel Pengujian *Controlled* dan *Uncontrolled System*

Time	Uncontrolled System	Controlled System	Kp2	Kp4
0	0	0	0	0
0,1	0	7	18	7
0,2	0	36	187	36
0,3	18	223	339	223
0,4	40	391	294	400
0,5	49	412	411	476
0,6	48	396	343	420
0,7	44	431	237	420
0,8	41	370	236	450
0,9	29	350	236	499
1	24	350	236	500
1,1	24	350	236	449
1,2	30	350	236	455
1,3	42	350	236	455
1,4	63	350	236	455
1,5	89	350	236	455
1,6	104	350	236	455
1,7	128	350	236	455
1,8	119	350	236	455
1,9	119	350	236	455
2	117	350	236	455
2,1	112	350	236	455
2,2	112	350	236	455
2,3	112	350	236	455
2,4	112	350	236	455
2,5	156	350	236	455
2,6	172	350	236	455
2,7	191	350		455
2,8	201	350		455
2,9	214	350		455
3	211	350		455
3,1	209	350		455
3,2	204	350		455
3,3	214	350		455
3,4	220	350		455

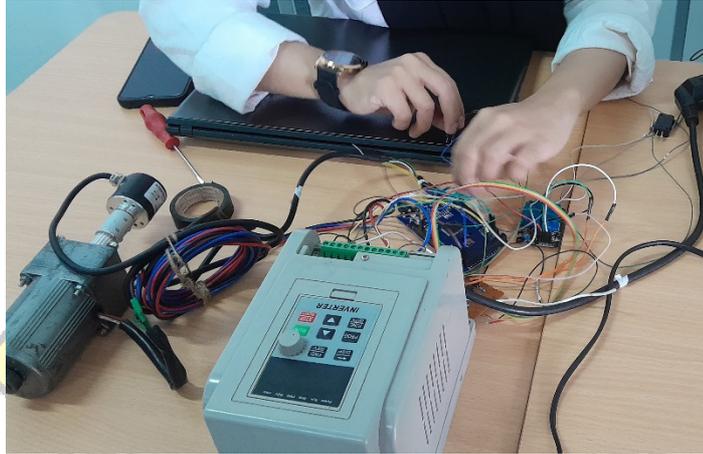
3,5	235	350	455
3,6	239	350	455
3,7	241	350	455
3,8	252	350	
3,9	271	350	
4	288	350	
4,1	298	350	



Lampiran 6 Gambar Teknik



Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian



Uji Coba Komponen Sebelum di Pasang Pada Prototipe Crane



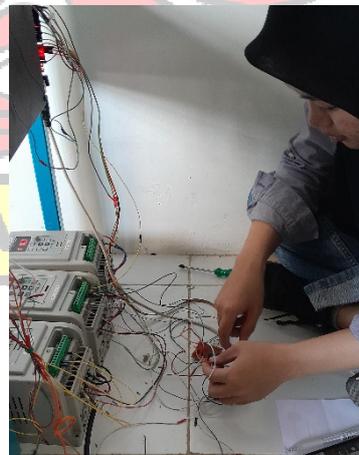
Pemasangan Rangkaian Elektronik

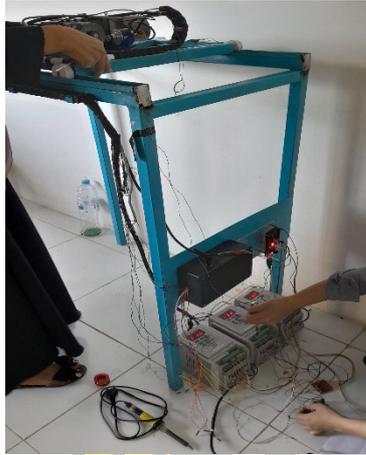


Pemasangan Motor AC Pada Prototipe



Pemasangan Keseluruhan Rangkaian Elektronik





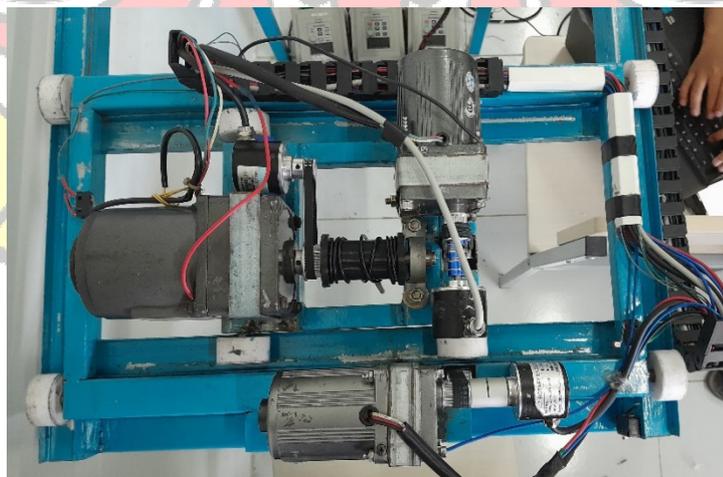
Uji Coba Komponen Setelahdi Pasang Pada Prototipe Crane



Pengujian Pembacaan Sensor Secara Manual



Pengujian Sistem Kontrol Posisi Pada *Trolley* Sumbu X



Penempatan Motor, *Rotary Encoder*, dan *Limitswitch* Pada Prototipe Crane



Penempatan VFD Inverter, Panel Box (Relay), dan Mikrokontroler



Hasil Akhir Prototipe Overhead Crane



Lampiran 8 Biodata Penulis



THAHIRAH LUTFIANI RUSLI, lahir di Pangkajene pada tanggal 22 Desember 2002. Anak kedua dari lima bersaudara dari pasangan Rusli Nur dengan Nurhikmah. Penulis menempu pendidikan taman kanak-kanak di 'Aisyiyah Bustanul Athfal dan tamat pada tahun 2008. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat dasar di SD Negeri 28 Tumampua II dan lulus pada tahun 2014. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP Negeri 1 Pangkep dan lulus pada tahun 2017. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 13 Pangkep dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2020 penulis diterima di Perguruan Tinggi Negeri Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mekatronika. Penulis pernah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di PT. WIKA BETON Tbk. Sulawesi Selatan, 2023.



ISDAYANI, lahir di Dante Koa pada tanggal 02 Oktober 2002. Anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Rahim dengan Parida. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat dasar di SD Negeri 82 Dante Koa dan lulus pada tahun 2014. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di MTs Guppi Dante Koa dan lulus pada tahun 2017. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di MAN Enrekang dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2020 penulis diterima di Perguruan Tinggi Negeri Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mekatronika. Penulis pernah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di Balai Teknik Perkeretaapian Kelas 1 Bandung. 2023.

LEMBAR REVISI JUDUL PROYEK / TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : THAHIRAH LUTFIANI RUSLI / ISDAYANI

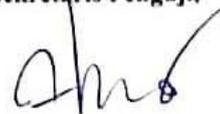
STANBUK : 444 20 059 / 444 20 057

Catatan Penguji:

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Mudhitr, S.Pd, M.Eng.	<ul style="list-style-type: none"> - Grafik hal 45, judul sb X dan Y. - blr 4.2 → 4.4 - perbedaan signifikan? - alasan pemilihan kontrol P? 	
2.	Akhmad Taufik	<ul style="list-style-type: none"> - bahas mengapa dilakukan kontrol posisi? - bahas input output dari inverter! - PID → P? - tampilkan grafik hasil pengujian dg $k_p=1$, $k_p=2$, dst kemudian dibandingkan! 	<p>21 SP 24</p> 
3.	Ir. Lewi, M.T.	<ul style="list-style-type: none"> - Masukkan karakteristik sistem yg menentukan jenis kontrol yg sesuai (P atau PI/ID atau PID) - hal 26. - jelaskan prinsip kerja inverter, masukkan AC 1Ø keluar AC 3Ø 	

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan

Makassar, 14/8/2024
Sekretaris Penguji,



Dr. Eng. Akhmad Taufik, S.T., M.T.
NIP. 19760413 200812 1 003

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.