



TUGAS AKHIR (AE43250)

SISTEM KONTROL KECEPATAN *PLUNGER* PADA ALAT PEMBANGKIT GELOMBANG AIR MENGGUNAKAN METODE PID

MUHAMMAD NUR IQBAL
0921040002

DOSEN PEMBIMBING
II MUNADHIF, S.ST., M.T.
Dr. Eng. MUHAMMAD ANIS MUSTAGHFIRIN, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA**



TUGAS AKHIR (AE43250)

SISTEM KONTROL KECEPATAN PLUNGER PADA ALAT PEMBANGKIT GELOMBANG AIR MENGGUNAKAN METODE PID

MUHAMMAD NUR IQBAL
0921040002

DOSEN PEMBIMBING
II MUNADHIF, S.ST.,M.T.
Dr. Eng. MUHAMMAD ANIS MUSTAGHFIRIN, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2025

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

SISTEM KONTROL KECEPATAN PLUNGER PADA ALAT PEMBANGKIT GELOMBANG AIR MENGGUNAKAN METODE PID

Disusun Oleh:
Muhammad Nur Iqbal
0921040002

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi Teknik Otomasi
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 22 Juli 2025
Periode Wisuda : Oktober 2025

Dosen Penguji

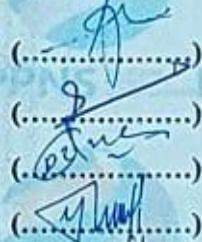
1. Dr. Eng. Imam Sutrisno, S.T., M.T.
2. Dr. Mat Sya'in, S.T., M.T., Ph.D.
3. Didik Sukoco, S.T., M.T.
4. Ii Munadhif, S.ST., M.T.

Menyetujui,

NUPTK

- (2448753654130092)
(5446755656130103)
(4537747648130130)
(7042769670130383)

Tanda Tangan



Dosen Pembimbing

1. Ii Munadhif, S.ST., M.T.
2. Dr. Eng. Muh. Anis Mustaghfirin, S.T., M.T.

NUPTK

- (7042769670130383)
(0137750651130173)

Tanda Tangan



Menyetujui Ketua Jurusan,

Isa Rachman, S.T., M.T.
NIP. 198008162008121001



Mengetahui Koordinator Program Studi,

Agus Khumaidi, S.ST., M.T.
NIP. 199308172020121004

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR BEBAS PLAGIAT

	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	--	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Nur Iqbal
NRP. : 0921040002
Jurusan/Prodi : Teknik Kelistrikan Kapal/D4 Teknik Otomasi

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

SISTEM KONTROL KECEPATAN PLUNGER PADA ALAT PEMBANGKIT GELOMBANG AIR MENGGUNAKAN METODE PID

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 16 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



(Muhammad Nur Iqbal)
NRP. 0921040002

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “SISTEM KONTROL KECEPATAN PLUNGER PADA ALAT PEMBANGKIT GELOMBANG AIR MENGGUNAKAN METODE PID” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Diploma 4 pada program Studi Teknik Otomasi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari peran berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan dari segi motivasi, moral, materi, serta semangat yang tiada hentinya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada.

1. Kedua orang tua saya, kedua saudara kandung saya, dan kedua bude saya yang tiada hentinya terus mendoakan, memberikan semangat dan motivasi untuk terus berusaha serta mendukung segala usaha yang telah dilakukan oleh penulis semasa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Agus Khumaidi, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Otomasi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Pak Rian Yudha Adhitya, S.ST.,M.T. selaku koordinator tugas akhir.
5. Bapak Ii Munadhif, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktunya untuk membimbing saya dengan sabar sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dr. Eng. Muhammad Anis Mustaghfirin, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah mengarahkan, memberi koreksi, memberi solusi serta dukungan penuh dalam penyusunan Tugas Akhir ini dengan baik.
7. Bapak Dr. Eng. Imam Sutrisno, ST., MT. , Bapak Dr. Mat Sya'in, S.T., M.T., Ph.D.,dan Bapak Didik Sukoco, S.T.,M.T. selaku Dosen penguji yang telah meluangkan waktu serta memberikan masukan, saran, dan kritik yang membantu saya untuk memperbaiki dan memahami materi dengan baik.

8. Seluruh Jajaran Dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya selama penulis menjalankan studi.
9. Seluruh teman-teman saya Teknik Otomasi 2021 atas 4 tahun yang sangat berkesan sehingga dapat dijadikan pengalaman berharga selama hidup.
10. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa depan. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua orang yang membacanya. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bisa menjadi amal jariyah yang bermanfaat bagi penulis dan bagi siapa pun yang membacanya.

Penulis

(Muhammad Nur Iqbal)

SISTEM KONTROL KECEPATAN *PLUNGER* PADA ALAT PEMBANGKIT GELOMBANG AIR MENGGUNAKAN METODE PID

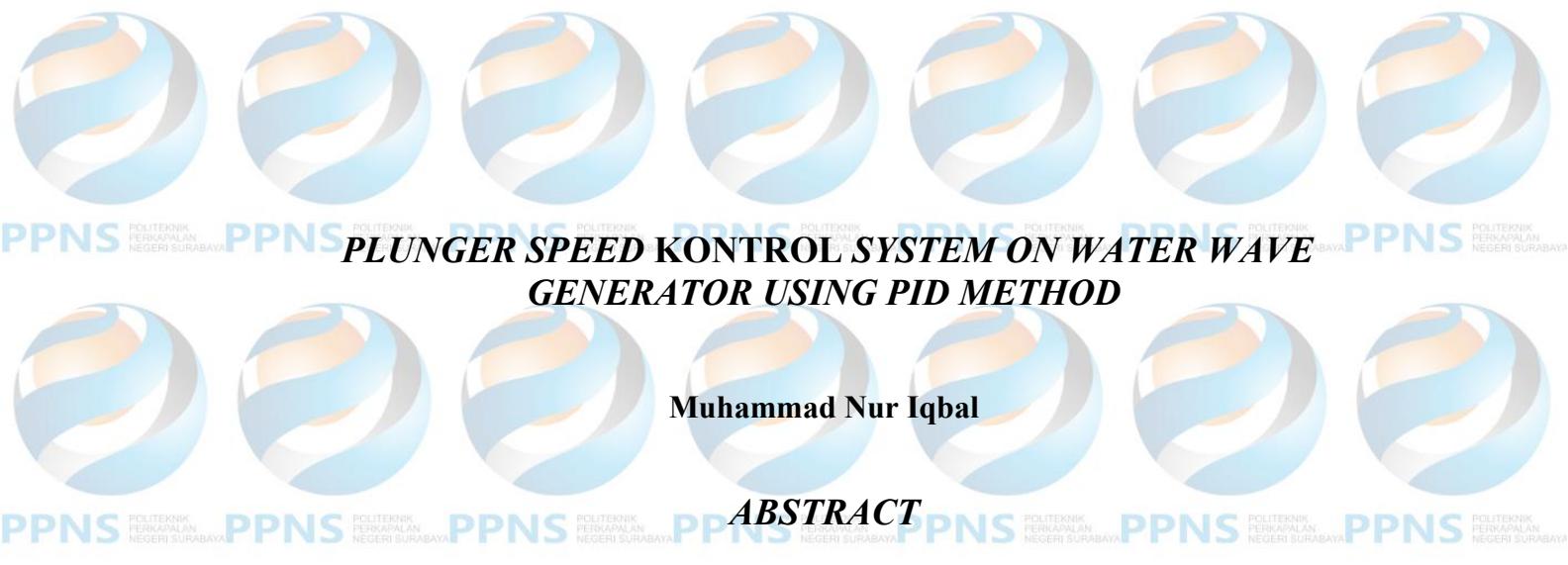
Muhammad Nur Iqbal

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi besar dalam memanfaatkan energi gelombang laut sebagai sumber energi bersih berkelanjutan. Untuk mendukung penelitian dan pengembangan teknologi konversi energi gelombang laut. Dibuatnya alat simulator gelombang laut ini menggunakan *wave maker* tipe *Plunger* yang digerakkan motor AC 3 fasa untuk menghasilkan gelombang. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem kontrol pada alat pembangkit gelombang air. Penggunaan PLC dan HMI GUI membantu dalam mengoptimalkan sistem kontrol alat pembangkit gelombang. Dalam mengontrol frekuensi gelombang air pada alat penghasil gelombang air menggunakan kontrol tertutup metode PID. Dengan nilai $KP = 0.512$, $Ti = 3.0s$ dan $Td = 2.1s$. berhasil menstabilkan frekuensi pada *set point* rendah (0.5-0.6 Hz), tetapi membutuhkan *settling time* yang sangat panjang untuk *set point* yang lebih tinggi (0.7-1.0 Hz). Selain itu, dengan rata-rata waktu 30 detik sistem kontrol PID terbukti mampu mengoreksi diri dari gangguan eksternal yang menyebabkan lonjakan frekuensi, namun gangguan yang berulang-ulang dapat secara signifikan memperpanjang waktu stabilisasi dan menghambat kinerja optimal sistem secara keseluruhan

Kata Kunci : PID, *Wave Maker*, Gelombang Air

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



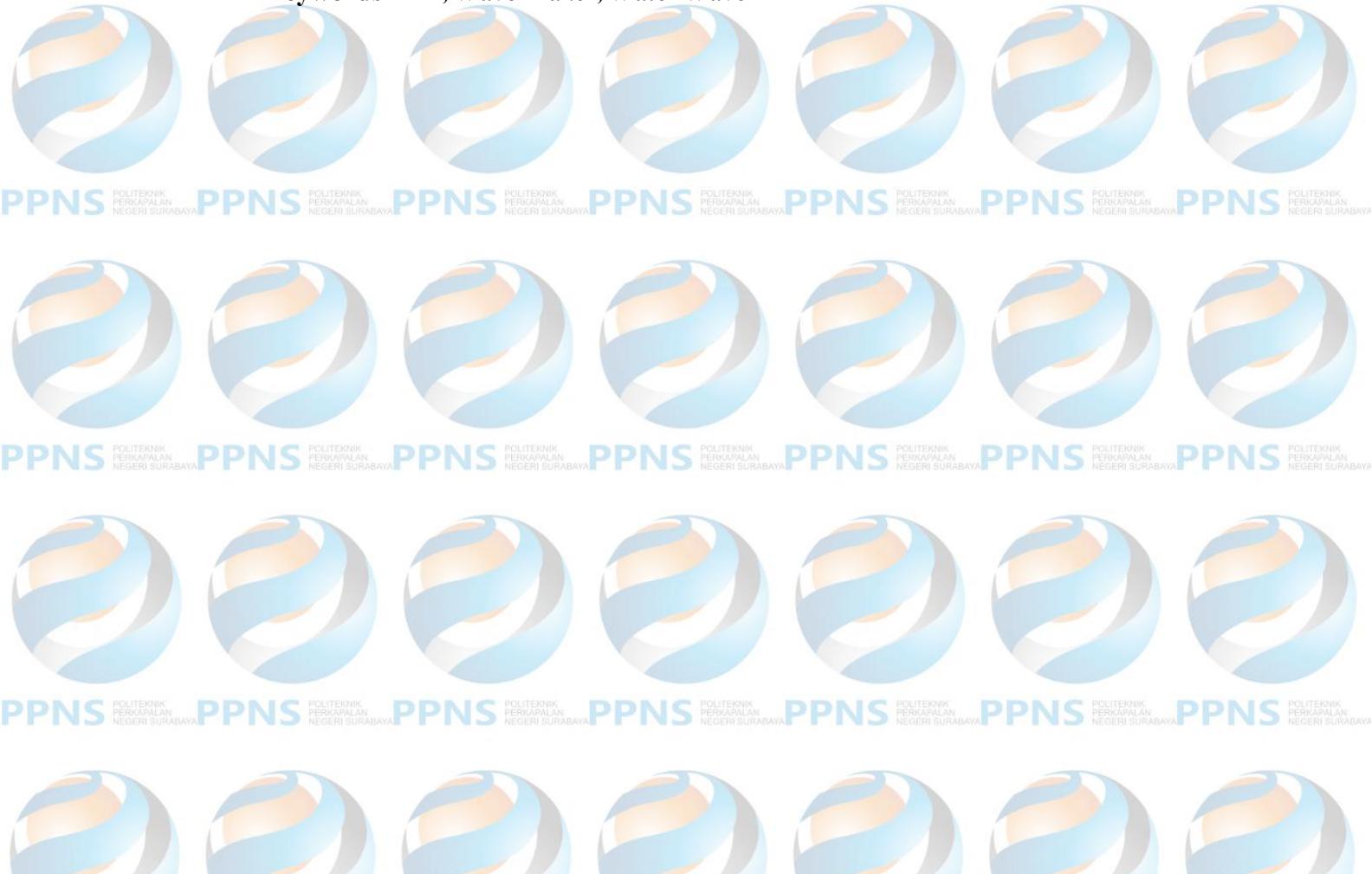
PLUNGER SPEED KONTROL SYSTEM ON WATER WAVE GENERATOR USING PID METHOD

Muhammad Nur Iqbal

ABSTRACT

Indonesia has great potential in utilizing ocean wave energy as a source of sustainable clean energy. To support research and development of ocean wave energy conversion technology. This ocean wave simulator tool was made using a Plunger type wave maker driven by a 3-phase AC motor to generate waves. This research focuses on the design and implementation of a control system on a water wave generator. The use of PLC and HMI GUI helps in optimizing the control system of the wave generator. In controlling the frequency of water waves on the water wave generator using a closed control PID method. With a value of $KP = 0.512$, $Ti = 3.0s$ and $Td = 2.1s$. successfully stabilized the frequency at a low set point (0.5-0.6 Hz), but requires a very long settling time for a higher set point (0.7-1.0 Hz). In addition, with an average time of 30 seconds the PID control system has been proven to be able to correct itself from external disturbances that cause frequency spikes, but repeated disturbances can significantly extend the stabilization time and hinder the optimal performance of the system as a whole..

Keywords: PID, Wave Maker, Water Wave



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR NOTASI.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu	5
2.2 Kajian Pustaka	8
2.3 Sistem Kontrol <i>Wave Maker</i>	8
2.4 <i>Wave Tank</i>	9
2.5 <i>Wave Maker Type Plunger</i>	9
2.6 Kontrol PID	10
2.7 <i>Personal Computer</i>	12
2.8 PLC Omron	13
2.9 <i>Variable Frequency Drive</i>	14
2.10 Motor 3 Phase.....	15
2.11 <i>Rotary Encoder</i>	17
2.12 <i>Push Button</i>	18
2.13 <i>MiniatureCircuit Breaker</i>	19
2.14 <i>Kontaktor</i>	20
2.15 <i>Pilot lamp</i>	20
2.16 <i>Relay</i>	21
2.17 Matlab.....	22
2.18 Visual Studio Code.....	23
2.19 Fusion	23

2.20	QT Gui	24
2.21	CX-Programmer.....	25
BAB 3	METODE PENELITIAN	27
3.1	Tahapan Penelitian.....	27
3.2	Konsep Penelitian	29
3.2.1	<i>State of The Art</i>	29
3.2.2	Diagram Blok Sistem	30
3.2.3	Flow Chart Alur Kerja Sistem.....	31
3.2.4	Prinsip Kerja Pembangkit Gelombang Tipe <i>Plunger</i>	32
3.2.5	Kontrol Kecepatan <i>Plunger</i> pada alat pembangkit gelombang	33
3.3	Analisa Kebutuhan Sistem.....	33
3.4	Perencanaan dan Desain Mekanik	34
3.5	Perencanaan dan Desain <i>Hardware</i>	35
3.6	Perancanaan dan Desain PID	37
3.7	Perancanaan dan Desain GUI HMI.....	39
3.8	Rencana Pengujian	40
3.8.1	Rencana Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	40
3.8.2	Rencana pengujian Motor 3 Fasa dan VFD.....	40
3.8.3	Rencana Pengujian Kontaktor	41
3.8.4	Rencana Pengujian <i>Pilot lamp</i>	41
3.8.5	Rencana Pengujian <i>Relay</i>	41
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Pembangunan Sistem Kontrol Alat Pembangkit Gelombang Air.....	43
4.1.1	Pengujian PLC Omron CP1E	43
4.1.2	Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	44
4.1.3	Pengujian <i>Push Button, Relay</i> , dan <i>Pilotlamp</i>	47
4.1.4	Pengujian Komunikasi Modbus	49
4.1.5	Pengujian Motor 3 Fasa dan <i>Variable Frequency Drive</i>	51
4.1.6	Pengujian Komunikasi FINS	54
4.1.7	Pengujian HMI GUI	55
4.1.8	Pengujian sistem kontrol	57
4.2	Implementasi Metode PID	58
4.2.1	Fungsi Transfer sistem	59
4.2.2	Analisis stabilitas sistem.....	61
4.2.3	<i>Tuning</i> PID	62
4.2.4	Implimentasi PID Pada PLC Omron CP1E-NA20DR	65
4.2.5	Pengujian Kontrol PID <i>Tuning</i> 1	65

4.2.6	Pengujian Kontrol PID <i>tuning</i> ke 2 pada <i>Set point</i> 0.5Hz.....	67
4.2.7	Pengujian Kontrol PID <i>tuning</i> ke 2 pada <i>Set point</i> 0.6Hz.....	68
4.2.8	Pengujian Kontrol PID <i>tuning</i> ke 2 pada <i>Set point</i> 0.7Hz.....	70
4.2.9	Pengujian Kontrol PID <i>tuning</i> ke 2 pada <i>Set point</i> 0.8Hz.....	72
4.2.10	Pengujian Kontrol PID pada <i>Set point</i> 0.9 Hz	74
4.2.11	Pengujian Kontrol PID pada <i>Set point</i> 1.0 Hz	76
4.3	Pengujian Sistem Kontrol PID Dengan Gangguan.....	78
4.3.1	Pengujian Kontrol PID pada <i>Set point</i> 0.7 Hz.....	78
4.3.2	Pengujian Kontrol PID pada <i>Set point</i> 0.8 Hz.....	79
4.3.3	Pengujian Kontrol PID pada <i>Set point</i> 0.9 Hz.....	81
4.3.4	Pengujian Kontrol PID pada <i>Set point</i> 1.0 Hz.....	82
4.4	Rekomendasi	84
4.4.1	Mekanisme alat Pembangkit Gelombang Air	84
4.4.2	Tangki simulasi gelombang air	85
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA	89
Lampiran	93
	Lampiran Program HMI GUI	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2. 2 Spesifikasi PLC.....	14
Tabel 2. 3 Spesifikasi VFD	15
Tabel 2. 4 Spesifikasi Motor 3P	16
Tabel 3. 1 Analisa Kebutuhan Sistem.....	33
Tabel 3. 2 Perancangan Hardware	36
Tabel 4. 1 Tabel <i>Wiring</i> Pengujian PLC	44
Tabel 4. 2 <i>Wiring</i> Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	45
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	46
Tabel 4. 4 <i>Wiring</i> Pengujian <i>Pushbutton, Relay, dan Pilot lamp</i>	48
Tabel 4. 5 Tabel Pengujian Komunikasi Data PLC dengan VFD	50
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian VFD dan Motor 3 Fasa	53
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Komunikasi PLC dengan Komputer	55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kontrol Proportional	10
Gambar 2. 2 Kontrol Integral	11
Gambar 2. 3 Kontrol Integral	11
Gambar 2. 4 Kontrol PID	12
Gambar 2. 5 PLC Omron CP1E NA20DR-A	14
Gambar 2. 6 <i>Variable Frequency Drive 3G3MX2-A4040-V1</i>	15
Gambar 2. 7 Motor Ac 3 Fasa HC112M-4	16
Gambar 2. 8 <i>Rotary Encoder E6B2-CWZ6C 360P/R 2M OMS</i>	18
Gambar 2. 9 <i>Push Button</i>	19
Gambar 2. 10 Kontaktor Tesys Deca Kontaktor	20
Gambar 2. 11 <i>Pilot lamp</i>	21
Gambar 2. 12 <i>Relay</i>	22
Gambar 3. 1 Diagram <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	27
Gambar 3. 2 Diagram Sistem Blok	30
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> perancangan sistem	31
Gambar 3. 4 <i>Wave Maker</i> tipe <i>Plunger</i>	32
Gambar 3. 5 Perencanaan Desain <i>Wave Generator</i>	34
Gambar 3. 6 Perencanaan dan Desain Elektrik	35
Gambar 3. 7 Desain PID	37
Gambar 3. 8 <i>System Identification Tool Matlab</i>	38
Gambar 3. 9 Simulink	39
Gambar 3. 10 Software CX-Programmer	39
Gambar 3. 11 Rencana Desain Gui-HMI	40
Gambar 4. 1 <i>Wiring Diagram Pengujian PLC</i>	43
Gambar 4. 2 Dokumentasi Pengujian PLC	44
Gambar 4. 3 <i>Wiring Diagram Pengujian Rotary Encoder</i>	45
Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	46
Gambar 4. 5 <i>Wiring Diagram Pengujian Pushbutton, Relay, dan Lampu</i>	47
Gambar 4. 6 Dokumentasi Pengujian <i>Push Button, Relay, dan Pilotlamp</i>	48
Gambar 4. 7 <i>Wiring Diagram Pengujian VFD dan Motor 3 Fasa</i>	52

Gambar 4. 8 Dokumentasi Pengujian Sensor Motor 3 Fasa.....	52
Gambar 4. 9 <i>Wiring Diagram HMI GUI.</i>	56
Gambar 4. 10 Dokumentasi Pengujian HMI GUI (<i>Coil</i>)	56
Gambar 4. 11 Dokumentasi Pengujian HMI GUI (<i>Memory Data</i>).....	57
Gambar 4. 12 Tampilan HMI GUI	57
Gambar 4. 13 Panel Kontrol Dan Tangki Simulator Gelombang Air	58
Gambar 4. 14 Grafik <i>Input - Output</i>	59
Gambar 4. 15 Grafik Hasil <i>Fitting System Identification</i>	60
Gambar 4. 16 Hasil <i>System Identification</i>	60
Gambar 4. 17 <i>Root locus</i>	61
Gambar 4. 18 Hasil <i>Tuning PID</i>	62
Gambar 4. 19 Simulink Perbandingan respon sistem dengan PID dan Tanpa PID.	63
Gambar 4. 20 Respon sistem Simulink	64
Gambar 4. 21 CX-Programmer PID	65
Gambar 4. 22 Grafik Percobaan PID <i>Tuning 1</i>	66
Gambar 4. 23 PID <i>Tuning 2 Set point 0.5 Hz</i>	67
Gambar 4. 24 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.5 Hz.....	68
Gambar 4. 25 PID <i>Tuning 2 Set point 0.6 Hz</i>	69
Gambar 4. 26 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.6 Hz.....	70
Gambar 4. 27 PID <i>Tuning 2 Set point 0.7 Hz</i>	71
Gambar 4. 28 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.7 Hz	72
Gambar 4. 29 Grafik Hasil Pengujian PID <i>Tuning 2</i> pada <i>set point 0.8 Hz</i>	73
Gambar 4. 30 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.8 Hz	74
Gambar 4. 31 Grafik Hasil Pengujian PID <i>Tuning 2</i> pada <i>set point 0.9 Hz</i>	75
Gambar 4. 32 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.9 Hz	76
Gambar 4. 33 Pengujian PID <i>Tuning 2 Set point 1.0 Hz</i>	77
Gambar 4. 34 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.1 Hz	78
Gambar 4. 35 Pengujian PID dengan gangguan dengan <i>set point 0.7</i>	79
Gambar 4. 36 Pengujian PID dengan gangguan dengan <i>set point 0.8</i>	80
Gambar 4. 37 PID <i>Set point 0.9 Hz</i> dengan gangguan	81
Gambar 4. 38 PID <i>Set point 1 Hz</i> dengan Gangguan	83

DAFTAR NOTASI

K _p	= <i>gain proportional</i>
K _i	= <i>gain integral</i>
K _d	= <i>gain derivatif</i>
U(t)	= sinyal <i>output pengendalian PID</i>
E	= <i>error</i>
u	= nilai keluaran realatif terhadap waktu
PID	= Proportional Integral <i>Derivative</i>
VFD	= Variable <i>Frequency Drive</i>
GUI	= Graphic User Interface
HMI	= Human Machine Interface
T _d	= <i>Time derivative</i>
T _i	= <i>Time Integral</i>
PLC	= <i>Programmable Logic Controller</i>
MCB	= <i>Miniature Circuit Breaker</i>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang laut menawarkan potensi besar sebagai sumber energi bersih yang berkelanjutan. Dengan teknologi seperti *Oscillating Water*, turbin, dan generator, gelombang laut dapat dikonversi menjadi listrik, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Sebagai negara kepulauan dengan sekitar wilayahnya berupa lautan, Indonesia memiliki keuntungan geografis yang signifikan untuk memanfaatkan energi dari gelombang laut. Ini merupakan peluang yang sangat menarik untuk dikembangkan lebih lanjut.(Sidik & Sinaga, 2023)

Energi terbarukan menjadi fokus utama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan meningkatnya kebutuhan energi global. Indonesia berkomitmen untuk mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060, dengan salah satu langkah utamanya adalah mengalihkan sumber energi dari fosil ke energi terbarukan. Saat ini, Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas untuk pembangkit listrik. Dengan memanfaatkan energi baru dan terbarukan, diharapkan dapat menghasilkan produk ramah lingkungan yang mendukung target *Net Zero Energy*(Hermawan & Prabhawati, 2024)

Dalam mendukung penelitian mengenai pemanfaatan energi gelombang laut PPNS membangun tangki uji arus gelombang atau sering disebut *Wave tank*. *Wave tank* merupakan salah satu alat yang dirancang untuk mensimulasikan gelombang air dalam skala laboratorium. Pada *Wave tank* terdapat alat untuk membangkitkan gelombang air yang dinamakan *wave maker* atau *wave generator* .(Murdianto et al., 2024)Terdapat beberapa jenis tipe dari alat ini, salah satunya dengan tipe *Plunger*. *Plunger* pada alat pembangkit gelombang air adalah sebuah aktuator mekanis berbentuk batang atau piston yang bergerak bolak-balik (gerak translasi) di dalam tangki air, dan digunakan untuk menghasilkan gelombang dengan cara mendorong dan menarik air secara periodik. Pada sistem ini, *Plunger* digerakkan oleh motor listrik 3 fasa, yang berfungsi sebagai sumber tenaga utama untuk mengontrol

gerakan maju-mundur *Plunger*. Gerakan motor yang berputar (rotasi) diubah menjadi gerak translasi melalui sistem konversi mekanik seperti *crank-slider* (Sun et al., 2021)

Pada perencanaan dari *wave tank* PPNS ini akan menerapkan gelombang linear yaitu gelombang yang diciptakan sama dalam seiring selama waktu pengoperasian alat. Gelombang Linear merupakan gelombang yang paling umum digunakan dalam *wave tank*. Perubahan *set point* dapat dilakukan ketika alat ini tengah bekerja ialah frekuensi gelombang yang ini hanya merubah kecepatan *Plunger*. Hal ini dikarenakan keterbatasan dari mekanik sehingga tidak dapat melakukan perubahan amplitudo stroke pada *Plunger*.

Pada alat pembangkit gelombang pada *wave tank* PPNS menggunakan motor AC 3 fasa sebagai penggerak utamanya. Hal ini belum ada dan dibutuhkan kontrol yang optimal untuk mengendalikan alat tersebut. Maka penelitian ini fokus utama adalah merancang dan membangun sistem kontrol kecepatan *Plunger* pada alat pembuat gelombang yang akan diterapkan pada tangki uji gelombang berskala laboratorium yang akan sedang dibangun di Kampus Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Dengan tujuan utama untuk mengembangkan teknologi pembuat gelombang. Melalui kontrol PID diharapkan alat pembangkit gelombang ini mampu bergerak dengan stabil sesuai dengan parameter spesifik dalam konteks penelitian skala laboratorium. Sistem kontrol ini dapat mengontrol kecepatan pergerakan *Plunger* sehingga dapat menciptakan gelombang sesuai kebutuhan dengan kendali oleh operator dengan mengatur parameter gelombang yang sudah disesuaikan dari *tanki* pengujian gelombang.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana optimalisasi sistem kontrol dengan menggunakan PLC dan HMI GUI pada alat pembangkit gelombang air ?
2. Bagaimana sistem kontrol PID yang optimal dalam mengendalikan frekuensi gelombang air pada alat pembangkit gelombang air ?
3. Bagaimana kontrol PID pada alat pembangkit gelombang air dalam mengatasi gangguan ?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya digunakan dalam skala lab penelitian
2. Berfokus pada pengendalian kecepatan pergerakan *Plunger* dalam mengatur frekuensi gelombang
3. Pengujian dilakukan didalam kolam buatan dengan menggunakan *Plunger*, PLC, sensor *encoder*, motor 3 fasa , dan VFD

1.4 Tujuan

1. Mengoptimalkan sistem kontrol pada alat pembangkit gelombang air menggunakan PLC dan HMI GUI.
2. Mendapatkan parameter PID yang optimal dalam mengendalikan frekuensi gelombang air pada alat pembangkit gelombang air.
3. Menganalisis kontrol PID dalam mengatasi gangguan pada sistem kontrol kecepatan *Plunger* pada alat pembangkit gelombang air.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

1. Bagi Peneliti
 - a) Pengembangan Keterampilan: Penulis dapat mengembangkan keterampilan dalam menerapkan metode PID dalam suatu rangkaian atau suatu sistem untuk mengoptimalkan dan meningkatkan efisiensi sistem tersebut.
 - b) Pengalaman Penelitian: Pengalaman penelitian dapat meningkatkan pemahaman penulis terhadap metodologi penelitian, pengumpulan dan analisis data, serta penyusunan laporan penelitian. Menambah pengetahuan dalam bidang kontrol adaptif, dinamika fluida, dan teknologi kelautan.
2. Bagi Perguruan Tinggi
 - a) peningkatkan kemampuan laboratorium dan fasilitas penelitian dalam bidang pemanfaatan energi gelombang laut.
 - b) Menambah bahan ajar dan penelitian untuk mahasiswa, terutama dalam aplikasi dinamika fluida dan konversi energi gelombang laut.
3. Bagi Masyarakat
 - a) Hasil penelitian dapat mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan pembangkit listrik tenaga gelombang laut

- b) Peningkatan Keamanan dan Lingkungan : hasil dari penelitian dapat mengoptimalkan energi gelombang air laut sebagai pengganti bahan bakar fosil yang dapat mencemarkan lingkungan dan beresiko tinggi dalam mengoperasikannya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Di bawah ini merupakan kajian penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh beberapa penelitian yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini :

1. Pada Jurnal yang pertama yang dikaji dengan judul “*A simplified method and numerical simulation for wedge-shaped Plunger wavemaker*” penulis dari jurnal ini Bin Sun, Cheng Li , Shaolin Yang , Haija Zhang dan taun terbit jurnal 2021. Kajian Pustaka ini meneliti mengenai mtode dan simulasi numerik dari pembangkit gelombang dengan tipe *Plunger*. Temua utamanya ialah menyoroti teori bagaimana pergerakan *Plunger* untuk membuat gelombang air yang berbentuk sinusoidal. Keunggulannya ialah dari temuan teori persamaan tersebut seseorang dapat mendesain alat pembentuk gelombang berskala laboratorium dengan tipe *Plunger* yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Namun pada penelitian ini dilakukan pada simulasi pada perangkat lunak. Dibutuhkan penelitian secara praktikum secara langsung pada perangkat keras agar bisa divalidasi lebih lanjut untuk memastikan kebenaran teori dan hal-hal yang dapat mempengaruhi teori tersebut pada implimentasi pada alat sebenarnya (Sun et al., 2021)
2. Pada Jurnal yang kedua yang dikaji dengan judul “*Wave Tank Skala Laboratorium dengan Pembuat Gelombang Model Flap*” penulis dari jurnal ini ialah Deny Murdianto, Ahmad Nur Fadilah, Hadi Santoso, Marhadi Budi Waluyo dan taun terbit jurnal 2024. Kajian Pustaka ini meneliti *wave tank* skala laboratorium dengan jenis pembangkit gelombang bertipe *flap*. Temuan utama dari penelitian tersebut ialah performa dari pembangkit gelombang bertipe flap pada tangki berukuran 150 cm x 35 cm x 35 cm dapat menghasilkan gelombang dengan ketinggian 4 cm dan Panjang 36 cm. namun pada penelitian ini tidak menggunakan metode kontrol untuk memaksimalkan power dari motor, yang dapat memungkinkan gelombang yang dihasilkan dari alat tersebut bisa lebih tinggi dan lebih pendek (lebih banyak) (Murdianto et al., 2024)

3. Pada Jurnal Ketiga yang dikaji dengan judul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem *Oscillating Water Column*” penulis dari jurnal ini ialah Siti Rohmaniatul Adafiah, Ardhita Fajar Pratiwi, Saepul Rahmat dan tahun terbit jurnal 2021. Kajian Pustaka ini membahas tentang pembuatan *wave tank* yang digunakan untuk penelitian performa PLTGL dengan sistem *Oscillating Water Column*. Temuan utama pada jurnal ini ialah performa dari pembangkit Listrik yang di simulasikan pada *wave tank* yang dipengaruhi oleh tinggi gelombang air. Gelombang air tersebut di pengaruhi oleh pergerakan lengan dari pembangkit gelombang yang telah dibuat. Namun pada penelitian ini kurang maksimal diakibatkan ketika level air di angka 17 cm motor panas dan tidak bisa dilanjutkan penelitian dengan level air yang lebih tinggi mengenai performa pembangkit Listrik yang telah dibuat.(Rohmaniatul et al., 2021)
4. Pada Jurnal Keempat yang dikaji dengan judul “*Design and Application of PLC-based Speed Kontrol for DC Motor Using PID with Identification System and Matlab Tuner*” penulis dari jurnal ini ialah Dodi Saputra a, Alfian Ma’arif ,Hari Maghfiroh , Phichitphon Chotikunnan dan Safinta Nurindra Rahmadhia dan tahun terbit jurnal 2023. Kajian Pustaka ini membahas mengenai desain dan implimentasi kontrol kecepatan motor DC menggunakan PLC menggunakan metode kontrol PID. *tuning* pada kontrol PID menggunakan Matlab *tuner*. Temuan utama ini membandingkan dua metode *tuning* PID yaitu metode trial-error dan Matlab PID tuner. Hasil dari pengujian bahwa Matlab PID *tuner* memberikan respone yang cepat tanpa *steady-state*. (Saputra et al., 2023)

Tabel 2. 1 Kajian Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul	Tahun	Metode	Temuan Utama	Kelebihan
1.	Bin Sun, Cheng Li , Shaolin Yang , Haija Zhang	A simplified method and numerical simulation for wedge-shaped <i>Plunger wavemaker</i>	2021	Metode dan simulasi numerik	Menghasilkan temuan persamaan untuk metode dalam pembangkit gelombang	Jurnal ini memberikan banyak penjelasan teori mengenai <i>wave maker</i> tipe <i>Plunger</i>

					dengan tipe <i>Plunger</i> menggunakan simulasi	dapat menghasilkan gelombang
2.	Deny Murdianto, Ahmad Nur Fadilah, Hadi Santoso, Marhadi Budi Waluyo	<i>Wave Tank Skala Laboratorium dengan Pembuat Gelombang Model Flap</i>	2024	Flap <i>Wave</i>	Temuan performa dari pembangkit gelombang bertipe flap pada tangki berukuran 150 cm x 35 cm x 35 cm dapat menghasilkan gelombang dengan ketinggian 4 cm dan Panjang 36 cm.	Pada alat yang telah dibuat telah melebihi target performa <i>wave tank</i> dengan minimal gelombang yang dihasilkan yaitu tinggi gelombang 2 cm dan Panjang 15 cm
3.	Siti Rohmani atul Adafiah, Ardhita Fajar Pratiwi, Saepul Rahmat	Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem Oscillating Water Column	2021	Pembangkit Listrik tenaga gelombang laut	Temuan utama pada jurnal ini ialah performa dari pembangkit Listrik yang di simulasi pada <i>wave tank</i> yang dipengaruhi oleh tinggi gelombang air	Jurnal ini mengembangkan ide mengenai potensi pemanfaatan gelombang laut sebagai energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik
4.	Dodi Saputra a, Alfian Ma'arif ,Hari Maghfiroh , Phichitphon Chotikunnan dan Safinta Nurindra Rahmadha	Design and Application of PLC-based Speed Kontrol for DC Motor Using PID with <i>Identification System</i> and Matlab Tune	2023	Matlab <i>auto-tuning</i> PID	Temuan utama ini membandingkan dua metode <i>tuning</i> PID yaitu metode trial-error dan Matlab PID tuner pada kontrol kecepatan motor DC.	Jurnal ini memberikan penjelasan untuk penggunaan Matlab <i>auto-tuning</i> PID

Pada penelitian kali ini, setelah merujuk pada berbagai jurnal terkait, terbentuklah judul. Dengan berlandaskan pada referensi jurnal di atas, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol kecepatan *Plunger* dengan fokus utama penelitian ini adalah mengoptimalkan pembangkit gelombang melalui pemanfaatan metode PID pada kontrol kecepatan alat penghasil gelombang, dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi operasional secara signifikan.

2.2 Kajian Pustaka

Dalam sebuah tugas akhir, kajian pustaka berfungsi sebagai landasan konseptual serta prinsip utama yang mendasari pengembangan penelitian. Kajian ini mencakup tinjauan terhadap literatur dan konsep-konsep penting yang mendukung pemahaman topik penelitian. Dasar teori menyediakan wawasan mendalam mengenai konteks penelitian, membantu dalam merumuskan hipotesis, serta menjadi pijakan untuk analisis data. Dengan kata lain, dasar teori berperan sebagai fondasi intelektual bagi kerangka penelitian dan memberikan pemahaman yang diperlukan untuk menjelaskan fenomena yang dikaji..

2.3 Sistem Kontrol *Wave Maker*

Sistem pembuat gelombang air dengan tipe *Plunger* merupakan suatu mekanisme yang dirancang untuk menghasilkan gelombang pada media air, biasanya di dalam tangki berbentuk balok. *Plunger* pada sistem ini bergerak naik turun atau berosilasi, sehingga menciptakan gelombang dengan pola tertentu. Frekuensi osilasi *Plunger* dapat diatur sehingga gelombang yang dihasilkan menjadi stabil dan sesuai kebutuhan. Pengaturan ini biasanya dilakukan melalui tampilan kontrol pada perangkat, yang memungkinkan operator memantau sekaligus mengendalikan jalannya proses secara langsung..(Murdianto et al., 2024)

Manfaat utama dari alat pembuat gelombang air tipe *Plunger* adalah kemampuannya dalam mensimulasikan kondisi gelombang sesuai spesifikasi yang diinginkan. Gelombang yang dihasilkan dapat memiliki frekuensi dan amplitudo tertentu yang bisa disesuaikan dengan kebutuhan pengujian. Hal ini menjadikan alat ini sangat berguna dalam penelitian dan eksperimen, khususnya dalam mempelajari karakteristik interaksi antara gelombang dan benda yang berada di atas permukaan air. Dengan demikian, operator dapat melakukan simulasi secara terkendali dan lebih akurat. (Rohmaniatul et al., 2021)

2.4 Wave Tank

Tangki Gelombang merupakan tangka air dengan skala laboratorium yang berfungsi untuk meneliti gelombang yang berada di laut. Penelitian tersebut dimanfaatkan untuk penelitian potensi dari energi gelombang laut yang merupakan salah satu pemanfaatan energi gelombang sebagai pembangkit Listrik. Pada tangki gelombang terdapat alat pembuat gelombang yang berfungsi untuk menghasilkan gelombang air.(Sun et al., 2021) (Murdianto et al., 2024)

2.5 Wave Maker Type Plunger

Wave Maker tipe *Plunger* *Wave maker* tipe *Plunger* merupakan salah satu dari tiga jenis *wave maker* yang digunakan dalam menghasilkan gelombang buatan pada media air. Berbeda dengan tipe piston maupun *flap*, mekanisme pada tipe *Plunger* bekerja dengan cara menggerakkan *Plunger* secara vertikal (naik-turun) di dalam fluida. Gerakan ini menimbulkan variasi tekanan yang kemudian memicu terbentuknya gelombang di permukaan air. Karakteristik gelombang yang dihasilkan, seperti tinggi dan panjang gelombang, sangat dipengaruhi oleh frekuensi serta amplitudo osilasi dari *Plunger*. Oleh karena itu, perangkat ini banyak dimanfaatkan dalam studi eksperimental yang berfokus pada dinamika gelombang, interaksi gelombang dengan struktur, serta fenomena propagasi gelombang.

Pada umumnya, *wave maker* tipe *Plunger* digunakan untuk menghasilkan gelombang linear dengan parameter tertentu. Faktor-faktor utama yang memengaruhi performanya antara lain kecepatan osilasi *Plunger*, bentuk dan ukuran *Plunger* (geometri), serta kedalaman air pada tangki uji. Dengan mengatur frekuensi operasi, alat ini mampu meniru berbagai kondisi gelombang laut, mulai dari gelombang dengan frekuensi rendah hingga gelombang dengan frekuensi yang lebih tinggi. Fleksibilitas inilah yang menjadikan *wave maker* tipe *Plunger* sangat efektif sebagai alat simulasi dalam skala laboratorium.

Pemanfaatan *wave maker* tipe *Plunger* memiliki peran penting dalam bidang penelitian maritim dan teknik sipil. Alat ini digunakan untuk mendukung eksperimen dalam desain struktur pantai, pelabuhan, serta studi rekayasa pesisir yang memerlukan data terkait respon struktur terhadap gelombang. Selain itu, *wave maker* tipe *Plunger* juga sangat berguna dalam pengembangan teknologi energi

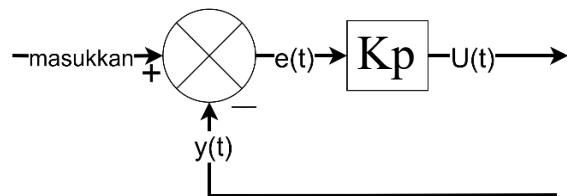
terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). Dengan menghasilkan gelombang yang terkontrol, peneliti dapat mengevaluasi performa prototipe secara lebih akurat sehingga mendukung inovasi dan efisiensi dalam bidang energi berkelanjutan..

2.6 Kontrol PID

PID merupakan metode dalam sistem kontrol otomatis dengan menggabungkan tiga elemen *Proporsional, integral* dan *derivative*. Masing-masing elemen pada PID dapat bekerja sendiri ataupun secara bersamaan. Pemilihan kombinasi elemen menyesuaikan kebutuhan dan respon dari sistem tersebut. (Ma’arif et al., 2021)

Kemajuan Penelitian dalam penelitian metode kontrol PID masih banyak digunakan hingga saat ini dan banyak digunakan oleh sistem kontrol salah satunya akan di jelaskan di karya tulis ini. (Ma’arif et al., 2021)

Pada model Paralel: ialah kontrol *proportional* P, integral I, atau turunan D terjadi pada persamaan yang terpisah ,namun pengaruh dari hasil diperoleh dari gabungan dari persamaan tersebut. (Ma’arif et al., 2021)



Gambar 2. 1 Kontrol Proporsional
(Ma’arif et al., 2021)

Pengendali proporsional, juga disebut sebagai gain, berfungsi sebagai penguat yang mengubah *output* sistem secara proporsional tanpa mengubah kinerja pengendali secara dinamis. seperti yang ditunjukkan pada, respons pengendali proporsional dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan 2.1 berikut: (Ma’arif et al., 2021)

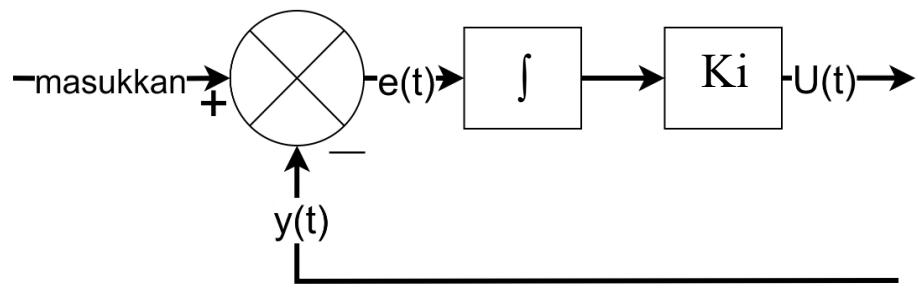
$$U(t) = K_p e(t)$$

Keterangan

$$K_p = \text{Gain Proporsional} \quad (1)$$

$$e = \text{Error} \quad (2)$$

$$U = \text{nilai keluaran realatif terhadap waktu (t)} \quad (3)$$



Gambar 2. 2 Kontrol Integral
(Ma'arif et al., 2021)

Kontrol Integral atau reset merupakan perbaikan dari respon tunak atau kondisi *steady state* dari sistem , sehingga problem sistem dapat berkurang, seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. (Ma'arif et al., 2021) Respons pengendali integral dapat dijelaskan dalam persamaan 2.2 berikut:

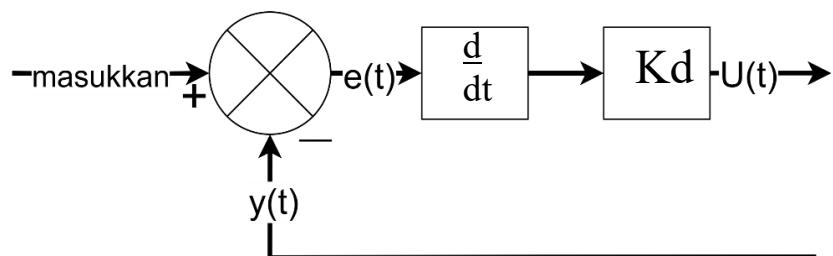
$$u(t) = Ki \int_0^t e(t) dt$$

Keterangan

$$Ki = \text{Gain Integral} \quad (4)$$

$$e = \text{error} \quad (2)$$

$$u = \text{nilai keluaran relative terhadap waktu (t)} \quad (3)$$



Gambar 2. 3 Kontrol Integral
(Ma'arif et al., 2021)

Kontrol *derivative* merupakan kontrol yang memiliki nilai output seperti operasi diferensial pada umumnya. Respon dari kontrol tersebut dipengaruhi oleh *error* dari laju perubahan sinyal, sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.5 dan respon dari kontrol tersebut dijelaskan pada persamaan 2.3

$$u(t) = Kd \frac{de(t)}{dt}$$

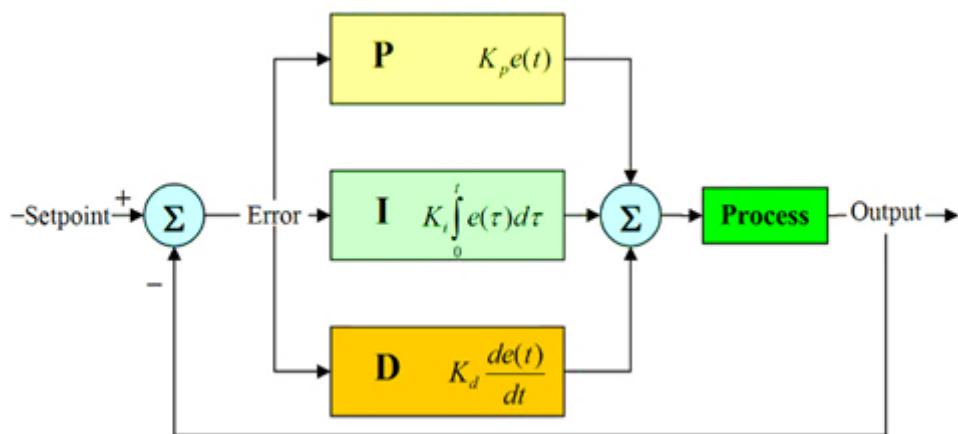
Keterangan :

$$Kd = \text{gain derivative} \quad (5)$$

$$e = \text{error} \quad (2)$$

$$u = \text{nilai keluaran} \quad (3)$$

Kontrol PID ialah *output* dari kolaborasi dari ketiga elemen yaitu *proportional*, integral dan *derivative* dari penjelasan dari masing masing elemen kontrol PID dapat diambil persamaan dari hasil gabungan persamaan kontrol *proportional*, integral, dan *derivative* pada persamaan 2.2



Gambar 2. 4 Kontrol PID
(Ma'arif et al., 2021)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$U(t) = \text{sinyal output pengendali PID} \quad (3)$$

$$K_p = \text{Konstanta proporsional} \quad (1)$$

$$K_i = \text{Konstanta integral} \quad (4)$$

$$K_d = \text{Konstanta derivative} \quad (5)$$

$$e(t) = \text{sinyal error} \quad (2)$$

2.7 Personal Computer

PC (*personal computer*) merupakan perangkat elektronik yang terdiri dari prosesor,memori, dan perangkat *input/output*. Perangkat ini memiliki banyak kegunaan dalam kehidupan salah satunya di bidang otomatisasi, PC sering digunakan pada sistem kendali otomatisasi yang berfungsi mengintegrasikan sistem kontrol dengan operator. Dalam hal ini PC digunakan untuk operator bisa mengendalikan sistem melalui tampilan di monitor. Dengan kemajuan dari pemrograman *computer*, programmer handal berlomba menciptakan pustaka untuk

digunakan pada bidang otomatisasi dan lebih terjangkau namun tetap sehandal dan seaman yang telah diciptakan oleh pabrikan *software engineering*. (Mahmood & Ali, 2022)

2.8 PLC Omron

Programmable Logic Controller (PLC) adalah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai otak atau pusat kendali pada sistem otomasi industri. PLC dirancang untuk menggantikan kontrol *relay* konvensional dalam mengontrol mesin dan proses produksi. Perangkat ini menerima *input* dari berbagai sensor dan perangkat masukan lainnya, melakukan pemrosesan berdasarkan program yang telah diprogram sebelumnya, dan menghasilkan *output* untuk mengendalikan perangkat keluaran, seperti motor, katup, dan peralatan lainnya. (Mahmood & Ali, 2022)

Penelitian ini menggambarkan penerapan *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai pusat pengendalian yang umumnya digunakan dalam berbagai industri.(Yudha Hartawan & Galina, 2022) .PLC terdiri dari komponen utama, termasuk unit pemrosesan pusat (CPU), memori, dan modul *Input/Output* (I/O). Keunggulan PLC terletak pada kemampuannya untuk mengatur waktu dan mengelola urutan kerja tertentu. Dari segi skala, sistem PLC dapat berskala besar untuk mengatur otomasi pabrik secara keseluruhan, sementara PLC dengan skala kecil mampu mengontrol pemesinan pada skala menengah. (Murdianto et al., 2024)

PLC memiliki beberapa fungsi utama, salah satunya adalah menerima dan memproses sinyal *input* dari berbagai perangkat sensor, seperti sakelar, proximity sensor, atau *encoder*. *Input* tersebut kemudian diolah sesuai dengan program yang telah diprogram oleh pengguna, yang mencakup logika kontrol, perhitungan matematika, dan fungsi-fungsi lainnya. Selain itu, PLC juga dapat berkomunikasi dengan perangkat eksternal lainnya, seperti komputer, *Human-Machine Interface* (HMI), atau perangkat lain dalam jaringan industri.(Mahmood & Ali, 2022)

Kelebihan utama PLC adalah fleksibilitasnya dalam pemrograman ulang sesuai kebutuhan, sehingga memungkinkan perubahan atau penyesuaian dalam proses otomasi tanpa mengganti perangkat keras secara keseluruhan. Dengan demikian, PLC menjadi inti dari sistem otomasi industri modern, memungkinkan kontrol yang handal dalam berbagai aplikasi industri.(Murdianto et al., 2024)



Gambar 2. 5 PLC Omron CP1E NA20DR-A
octopart.com

Tabel 2. 2 Spesifikasi PLC

Spesifikasi	
Model	CP1E-NA20DR-A
Jenis	PLC Omron
Tegangan Operasi	100-240V
<i>Input</i>	10 DI + 2 AI
<i>Output</i>	7 DO + 1 AO
Komunikasi	Modbus
Pemrograman	Ladder

2.9 Variable Frequency Drive

Variable Frequency Drive (VFD) adalah perangkat elektronik yang dirancang untuk mengatur kecepatan dan arus listrik pada motor elektrik dengan mengubah frekuensi dan tegangan daya yang disuplai. Dengan kemampuan ini, VFD memungkinkan pengendalian kecepatan motor secara akurat sesuai kebutuhan aplikasi, seperti pada pompa, kipas, atau *conveyor* di industri. Penggunaan VFD tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga memperpanjang masa pakai motor serta memberikan fleksibilitas operasional. Selain itu, VFD dapat digunakan dalam aplikasi khusus, seperti pemanasan induksi atau sebagai sumber daya cadangan dengan pengaturan frekuensi dan tegangan yang sesuai.(Özbay, 2023)

Kemajuan teknologi VFD menawarkan manfaat tambahan, seperti pengendalian proses yang lebih fleksibel dan pengoperasian motor yang lebih halus, sehingga penggunaannya semakin luas di sektor industri. Namun, kinerja

motor induksi yang dioperasikan dengan VFD dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk variasi frekuensi *output*, harmonisa yang dihasilkan, serta metode kontrol yang diterapkan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan diagnosis dini terhadap potensi masalah pada motor induksi agar gangguan dapat diminimalkan, waktu henti berkurang, dan kerusakan peralatan dapat dicegah. Dengan keunggulannya, VFD menjadi solusi yang andal untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam berbagai aplikasi industri. (Özbay, 2023)



Gambar 2. 6 *Variable Frequency Drive* 3G3MX2-A4040-V1
indiamart.com

Tabel 2. 3 Spesifikasi VFD

Spesifikasi	
Model	3G3MX2-A4040-V1
Jenis	Omron VFD
Tegangan Operasi	380V
<i>Input</i>	50Hz ,10-13 A
<i>Output</i>	0 – 60 Hz ,10A
Kontrol VFD	Analog ,Modbus
Penggunaan	Motor Ac 3P max 4KW

2.10 Motor 3 Phase

Motor AC adalah perangkat elektromekanis yang menggunakan arus bolak-balik (AC) untuk menghasilkan gerakan mekanis. Prinsip kerjanya melibatkan medan magnet yang berubah arah secara periodik pada stator, menciptakan gaya magnetik yang mendorong rotor untuk berputar. Motor AC terdiri dari dua komponen utama, yaitu stator sebagai bagian statis dan rotor sebagai bagian berputar. Kecepatan putar medan magnet bergantung pada jumlah kutub stator dan frekuensi sumber daya. Motor AC umum digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai

dari peralatan rumah tangga hingga sistem industri, berkat kemampuannya menghasilkan torsi awal yang tinggi, keandalan, serta kompatibilitas dengan pasokan listrik standar. (Huda et al., 2023)

Keunggulan motor AC meliputi konstruksi yang sederhana, umur pakai yang panjang, serta kemudahan pemeliharaan. Motor ini juga memiliki torsi awal yang tinggi dan mampu beradaptasi dengan berbagai jenis sumber daya listrik, menjadikannya pilihan yang efisien dan andal. Dengan fleksibilitas dan performa yang unggul, motor AC menjadi solusi penggerak mekanis yang sangat dibutuhkan dalam berbagai kebutuhan, baik untuk rumah tangga maupun industri. (Huda et al., 2023)



Gambar 2. 7 Motor Ac 3 Fasa HC112M-4

Hanco.com

Tabel 2. 4 Spesifikasi Motor 3P

Spesifikasi	
Model	HC112M-4
Jenis	Hanco Motor 3P
Tegangan Operasi	380V
Rated Torque	26.5 Nm
Rated Speed	1440 rpm
Rated Output	4kw / 5.5 HP

2.11 *Rotary Encoder*

Rotary encoder digunakan secara luas dalam sistem mekanis yang memerlukan pemantauan dan/atau pengendalian bagian yang bergerak. Dalam beberapa bidang, seperti dalam robotika dan industri, *rotary encoder* menjadi elemen kunci dalam menyediakan informasi akurat tentang posisi dan perubahan sudut, memungkinkan sistem untuk merespons dengan cepat terhadap pergerakan atau perubahan yang terjadi. Keakuratan dan responsivitas *rotary encoder* membuatnya menjadi komponen vital dalam meningkatkan kinerja sistem kontrol, seperti dalam kendali servo mekanisme, mesin CNC, dan peralatan otomasi industri lainnya.

Cara kerja *Encoder* sendiri adalah menggunakan berbagai jenis teknologi untuk menghasilkan sinyal. Termasuk : mekanik, magnetik, resistif dan optik (ini yang paling umum). Dalam pengindraan optik, *Encoder* memberikan umpan balik berdasarkan gangguan cahaya. *Rotary encoder* punya keunggulan bagus untuk banyak aplikasi. Pertama, *encoder* ini bisa kasih info posisi yang akurat, terutama yang jenisnya *absolute encoder* yang punya nilai unik buat setiap posisi pada rotasi poros. Keakuratan ini penting buat sistem yang butuh pantau posisi yang tepat, kayak di industri otomasi dan robotika. *Rotary encoder* juga tahan lama dan tidak perlu banyak perawatan, jadi bisa diandalkan lama. *Encoder* ini juga bisa ukur perubahan sudut atau rotasi dengan cepat dan tanggap, cocok buat aplikasi yang butuh *feedback* waktu nyata, misalnya di sistem kendali servo. Jadi, dengan akurasi, ketahanan, dan kemampuan tanggapnya, *rotary encoder* bantu banget buat menambah performa dan keandalan berbagai sistem teknologi dan industri.

Tabel 2.5 Spesifikasi *Rotary Encoder*

Spesifikasi	
Model	E6B2-CWZ6C
Jenis	Omron <i>Rotary Encoder</i>
Tegangan Operasi	5 -24 VDC
Resolusi	360 P/R
<i>Output</i> Phase	A, B ,dan Z
<i>Output</i> type	NPN
Max rotation	6000 putaran/menit



Gambar 2. 8 *Rotary Encoder E6B2-CWZ6C 360P/R 2M OMS*
Congmuaban.vn

2.12 *Push Button*

Push button switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat/saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci) (Yudha Hartawan & Galina, 2022)

Push button dapat *normally open* memiliki dua jenis utama, yaitu (NO) dan *normally closed* (NC), yang berperan sesuai dengan keadaan istirahatnya. Fungsinya sangat bervariasi, mulai dari mengaktifkan atau menonaktifkan suatu perangkat elektronik hingga menjadi pencetus untuk memulai atau menghentikan suatu proses atau fungsi tertentu. Keberadaannya sangat umum dalam elektronika konsumen, seperti *remote* kontrol dan peralatan rumah tangga, serta di industri, terutama dalam panel kontrol untuk mengoperasikan dan mengontrol mesin-mesin. Meskipun sederhana, *push button* memainkan peran kunci dalam memberikan kontrol manual dan interaksi pengguna yang efektif dalam berbagai aplikasi. (Yudha Hartawan & Galina, 2022)

Sebagai *device* penghubung atau pemutus, *push button switch* hanya memiliki 2 kondisi, yaitu *On* dan *Off* (1 dan 0). Istilah *On* dan *Off* ini menjadi sangat penting karena semua perangkat listrik yang memerlukan sumber energi listrik pasti membutuhkan kondisi *On* dan *Off*.



Gambar 2. 9 Push Button
Tokopedia.com

2.13 *Miniature Circuit Breaker*

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah perangkat perlindungan listrik otomatis yang dirancang untuk memutus aliran listrik saat terjadi korsleting atau kelebihan arus. Alat ini melindungi kabel dan peralatan listrik dengan menggunakan mekanisme pemutus sirkuit yang terdiri dari komponen seperti pemicu arus pendek dan pemutus kelebihan arus. MCB beroperasi dengan mendeteksi arus yang melewatiannya, menggunakan dua mekanisme utama: unit trip termal yang sensitif terhadap suhu dan unit trip magnetik yang responsif terhadap perubahan arus. Kedua unit ini bekerja secara independen untuk membuka kontak MCB saat diperlukan. Dalam instalasi listrik, MCB dipasang dengan koordinasi selektif untuk memastikan hanya bagian sistem yang bermasalah yang terputus, sementara bagian lainnya tetap berfungsi normal.(Assegaf et al., 2019)



Gambar 2.6 MCB 3 Fasa TeSys Deca – frame 2
se.com

MCB banyak digunakan pada sistem listrik satu fasa dan tiga fasa karena berbagai keunggulan, seperti kemampuan memutus aliran pada ketiga fasa meskipun hanya satu fasa yang bermasalah, respons cepat terhadap korsleting atau

kelebihan beban, serta dapat digunakan kembali setelah perbaikan. Dengan kemampuan otomatisasinya, MCB menjadi solusi andal dan efisien untuk melindungi sistem listrik dari risiko kerusakan, menjadikannya pilihan utama dalam berbagai aplikasi instalasi listrik.(Ummah et al., 2022)

2.14 Kontaktor

Kontaktor adalah perangkat saklar listrik yang dioperasikan secara elektromagnetik, dirancang khusus untuk mengontrol sirkuit listrik berdaya besar, seperti motor listrik, pemanas, atau beban induktif lainnya. *Kontaktor* bekerja dengan prinsip elektromagnetisme, mirip dengan *relay*, tetapi memiliki kapasitas arus dan tegangan yang jauh lebih tinggi. (Khaldan Nurshofa et al., n.d.)



Gambar 2. 10 Kontaktor Tesys Deca Kontaktor
se.com

2.15 Pilot lamp

Lampu *pilot* adalah komponen penting dalam banyak perangkat dan sistem yang bertugas memberikan indikasi visual tentang status atau kondisi tertentu. Umumnya berukuran kecil, lampu ini ditempatkan dekat atau di sekitar kontrol utama suatu perangkat. Salah satu fungsi utama lampu *pilot* adalah sebagai indikator daya. Ketika perangkat atau sistem dinyalakan, lampu *pilot* akan menyala, memberikan sinyal jelas kepada pengguna atau operator bahwa perangkat tersebut aktif dan beroperasi. *Pilot lamp* berguna untuk mengetahui jalannya proses koneksi yang terjadi. Melalui rangkaian kontrol *pilot lamp* digunakan untuk indikator dari sistem tersebut (Yudha Hartawan & Galina, 2022)

Kelebihan utama lampu *pilot* adalah memberikan indikasi visual yang jelas terkait dengan status atau kondisi suatu sistem. Dengan adanya lampu *pilot*, pengguna atau operator dapat dengan mudah mengetahui apakah suatu perangkat atau mesin sedang aktif atau tidak aktif. Selain itu, lampu *pilot* juga dapat digunakan sebagai penanda untuk menunjukkan adanya masalah atau gangguan dalam operasi sistem. Keberadaan lampu *pilot* memberikan kejelasan dan kemudahan pemantauan, terutama dalam lingkungan di mana informasi visual langsung diperlukan. Kelebihan lainnya adalah daya konsumsi yang rendah, ukuran yang kompak, dan pemasangan yang mudah. Lampu *pilot* juga sering digunakan sebagai indikator keamanan, memberikan peringatan jika suatu sistem berada dalam keadaan bahaya atau memerlukan perhatian khusus. Dengan demikian, lampu *pilot* memiliki peran penting dalam meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan pemahaman pengguna terhadap berbagai sistem dan peralatan.(Yudha Hartawan & Galina, 2022)



Gambar 2. 11 *Pilot lamp*

Indotrading.com

2.16 *Relay*

Relay adalah sebuah perangkat elektro mekanis yang digunakan untuk mengontrol sirkuit listrik secara tidak langsung, dengan memanfaatkan prinsip elektromagnetisme untuk menggerakkan saklar internalnya. *Relay* memungkinkan satu sirkuit (sirkuit kontrol) untuk mengontrol sirkuit lain yang terpisah secara

listrik, sering kali dengan tegangan atau arus yang lebih tinggi. Tegangan kerja pada koil terdapat 2 macam jenis koil yaitu dengan tegangan AC dan DC . sedangkan untuk kontak bantu pada *relay* bermacam-macam jenis tergantung dengan banyak *input output*-nya.(Yudha Hartawan & Galina, 2022)



Gambar 2. 12 *Relay*
Flamestop.com

2.17 Matlab

MATLAB adalah perangkat lunak yang sangat efektif untuk simulasi kontrol dalam otomatisasi. Dengan berbagai fitur canggih, seperti Simulink dan *toolbox* terkait kontrol, MATLAB memungkinkan pengguna untuk memodelkan, melakukan simulasi, dan mengoptimalkan sistem otomatisasi. Dalam proses simulasi, MATLAB dapat digunakan untuk membuat representasi sistem fisik menggunakan diagram blok atau persamaan matematika yang kompleks. Selain itu, MATLAB menyediakan berbagai algoritma kendali, seperti PID, kendali adaptif, dan kendali berbasis kecerdasan buatan, yang dapat diimplementasikan untuk berbagai kebutuhan otomatisasi.(Saputra et al., 2023)

Dalam pengaturan sistem otomatisasi, MATLAB membantu memvisualisasikan respons dinamis dari sistem, seperti respons waktu atau frekuensi, yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja kendali. Misalnya, dalam sistem produksi otomatis, MATLAB dapat melakukan simulasi bagaimana robot bergerak dan merespons perintah secara *real-time*. *Toolbox* kontrolnya memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan parameter sistem, sehingga efisiensi dan stabilitas otomatisasi dapat dicapai. Dengan integrasi ke perangkat keras seperti PLC atau mikrokontroler, MATLAB juga mendukung pengujian

prototipe dan implementasi kontrol di lingkungan industri nyata..(Akbar et al., 2019)

2.18 Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) adalah editor kode sumber yang banyak digunakan untuk pengembangan perangkat lunak, termasuk dalam pengembangan backend untuk sistem kontrol, seperti yang diterapkan pada PLC (*Programmable Logic Controller*). VS Code mendukung berbagai bahasa pemrograman seperti Python, C++, dan JavaScript yang sering digunakan dalam membangun komunikasi antara antarmuka pengguna (UI) dan sistem *backend*. Dalam konteks kontrol PLC, VS Code memungkinkan pengembang untuk menulis skrip yang memfasilitasi interaksi antara antarmuka grafis dan sistem kontrol, serta melakukan pengujian dan *debugging* secara efisien. Ekstensi dan *plugin* yang tersedia di VS Code juga membantu menyederhanakan alur pengembangan dan memudahkan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak.

Di sisi *backend*, VS Code digunakan untuk menulis kode yang mengelola komunikasi antara sistem kontrol PLC dan antarmuka pengguna. Dengan menggunakan bahasa pemrograman seperti Python atau C++, pengembang dapat membangun skrip yang memungkinkan interaksi dua arah antara antarmuka grafis dan perangkat keras, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol proses industri atau aplikasi otomatisasi secara langsung. Keunggulan VS Code terletak pada kemampuannya mengelola berbagai *framework* dan alat pengembangan yang diperlukan untuk menciptakan sistem *backend* yang efisien dan andal, mendukung operasional PLC dalam pengaturan kontrol yang kompleks.

2.19 Fusion

Software Fusion 360 adalah perangkat lunak (*software*) desain 3D yang dikembangkan oleh Autodesk. Fusion 360 adalah solusi terpadu yang menyediakan berbagai fitur dan alat untuk merancang, memodelkan, dan merakit komponen dan produk dalam lingkungan 3D. Fusion 360 adalah perangkat lunak yang populer dalam industri desain dan manufaktur. Dengan kombinasi fitur desain, simulasi, kolaborasi, dan manufaktur yang kuat, Fusion 360 memberikan solusi terpadu yang memungkinkan pengguna untuk merancang, menganalisis, dan menghasilkan

produk berkualitas tinggi dalam satu lingkungan yang komprehensif. Berikut adalah beberapa kelebihan utama dari Fusion 360: (M et al., 2021)

Fusion 360 menyediakan alat desain terpadu yang mencakup berbagai fitur seperti pemodelan 3D, perakitan komponen, simulasi, animasi, dan pemodelan generatif. Ini memungkinkan pengguna untuk melakukan seluruh proses desain dan pengembangan produk dalam satu platform yang terintegrasi. (M et al., 2021)

Fusion 360 memiliki kemampuan simulasi yang kuat, termasuk analisis kekuatan, simulasi termal, dan simulasi aliran fluida. Ini memungkinkan pengguna untuk memprediksi kinerja produk sebelum pembuatan fisik, mengidentifikasi kelemahan dan membuat perbaikan yang diperlukan. (M et al., 2021)

Fitur pemodelan generatif dalam Fusion 360 memungkinkan pengguna untuk menghasilkan desain alternatif yang dioptimalkan berdasarkan kriteria tertentu seperti berat, kekuatan,. efisiensi. Ini dapat menghemat waktu dalam proses desain dan menghasilkan solusi yang lebih efisien.(M et al., 2021)

2.20 QT Gui

Qt adalah kerangka kerja lintas platform yang dirancang untuk mengembangkan aplikasi perangkat lunak dan antarmuka pengguna grafis (GUI). Dikembangkan oleh Qt Company, kerangka ini memungkinkan pengembangan aplikasi untuk berbagai platform seperti Windows, macOS, Linux, Android, dan iOS dengan satu basis kode. Dalam konteks otomatisasi sistem, Qt menawarkan pustaka dan alat yang mendukung pengembangan perangkat lunak yang terintegrasi dengan perangkat keras. Modul seperti Qt Serial Port memungkinkan komunikasi langsung dengan perangkat melalui *port serial*, sementara Qt Network menyediakan kemampuan komunikasi berbasis protokol jaringan seperti TCP/IP. Fitur ini menjadikan Qt sangat cocok untuk membangun solusi otomatisasi yang melibatkan interaksi antara perangkat lunak dan perangkat keras. (Nabijonovich & Najmuddin, 2024)

Dalam aplikasi otomatisasi, Qt mempermudah pengembangan sistem kendali dengan menyediakan pustaka untuk berbagai protokol industri, termasuk OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*), yang digunakan untuk pertukaran data antara sensor, aktuator, dan perangkat lunak. Selain itu, modul seperti Qt Quick dan Qt Widgets memungkinkan pembuatan antarmuka

pengguna yang responsif dan intuitif untuk memantau serta mengendalikan sistem secara *real-time*. Dengan kompatibilitas lintas platform, Qt memungkinkan solusi otomatisasi diterapkan pada berbagai perangkat, mulai dari komputer industri hingga perangkat bergerak, sehingga menjadi alat yang andal dalam proyek otomatisasi sistem seperti pengelolaan fasilitas industri, pengendalian robotika, atau sistem rumah pintar.(Amin et al., 2020)

2.21 CX-Programmer

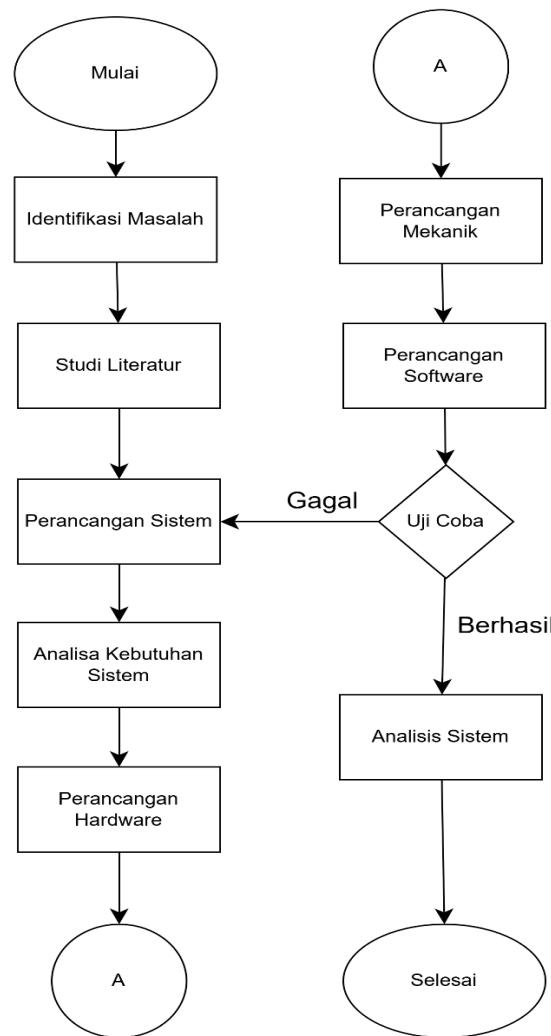
Pengembangan Program PLC : CX – Programmer memungkinkan pengguna untuk membuat program-program PLC Omron menggunakan berbagai bahasa pemrograman, termasuk *ladder logic, structured text, function block diagram*, dan *instruction list*. Pengguna dapat dengan mudah membuat logika kontrol dan aturan operasi untuk sistem otomatisasi industri. Simulasi : Perangkat lunak ini menyediakan fasilitas simulasi yang memungkinkan pengguna untuk menguji program-program PLC sebelum diimplementasikan secara langsung ke peralatan fisik. Ini membantu dalam mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan program tanpa risiko pada peralatan nyata. Kelebihan CX-Programmer adalah kemampuannya yang sangat fleksibel dalam pengembangan program PLC dengan berbagai bahasa pemrograman dan menyediakan fasilitas simulasi yang membantu dalam pengujian program tanpa risiko pada peralatan nyata. Namun, kekurangan CX-Programmer adalah antarmuka pengguna yang kompleks dan memerlukan waktu belajar yang cukup bagi pengguna baru untuk menguasainya. (Yudha Hartawan & Galina, 2022)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Pada sub bab ini terdapat alur penelitian yang dipresentasikan dalam *flowchart* dibawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram *Flowchart* Tahapan Penelitian

Dokumen Pribadi

Diagram alur di atas mencerminkan langkah-langkah yang diambil dalam

menjalankan penelitian ini. Langkah awal mengidentifikasi masalah dari kebutuhan otomatisasi pada suatu sistem atau alat hal tersebut telah dijelaskan pada **BAB 1** dan pencarian literatur terkait secara sistematis pada **BAB 2**, yang kemudian melakukan perancangan sistem dan melakukan analisa kebutuhan sistem. Proses berlanjut dengan melakuakan perancangan perangkat keras dari kebutuhan sistem. Kemudian melakukan perancangan mekanik untuk dilakukan penelitian kebutuhan perancangan *software* untuk mesimulasikan agar mendapat pemrogaman yang tepat untuk mendapat formula yang tepat untuk diterapkan pada sistem. Proses berlanjut dengan pengimplementasian dan pengujian untuk memastikan keberhasilan sistem. Hasil uji coba ini akan dianalisis secara mendalam dan kemudian disampaikan dalam laporan tugas Akhir.

1. Identifikasi Masalah pada penelitian ini muncul ketika dibutuhkan sistem kontrol kecepatan *Plunger* pada alat pembangkit gelombang. Aktuator utama yang digunakan untuk menggerakkan alat tersebut ialah motor AC 3 fasa. Kesesuaian dan kestabilan pada putaran motor dibutuhkan pada alat tersebut untuk menciptakan gelombang yang stabil. Pada point ini metode kontrol PID sangat cocok dengan kebutuhan sistem untuk mengontrol motor tersebut.
2. Studi literatur pada penelitian ini berfokus kepada kajian terhadap penelitian alat pembangkit gelombang, komponen yang akan digunakan sistem sistem kontrol , dan metode PID untuk kontrol motor 3 fasa melalui VFD dan PLC.
3. Perancangan sistem pada penelitian ini diperoleh melalui analisa kebutuhan dari masalah dan akan menjadi solusi yang akan menjadi sebuah pondasi dari penelitian ini yang telah dijelasakan
4. Analisa kebutuhan sistem pada penelitian ini digunakan untuk perencanaan dalam menentukan komponen yang sesuai dari kebutuhan dari perancangan sistem.
5. Perancangan *Hardware* digunakan untuk perencanaan perakitan terhadap komponen yang telah ditentukan pada analisa kebutuhan sistem.
6. Perancangan Mekanik pada penelitian ini untuk perencanaan untuk mencari fungsi *transfer* dari mekanik dari alat yang akan dipasangkan dengan motor 3 fasa.
7. Perancangan *software* pada penelitian ini merupakan penjelasan perencanaan

- untuk melakukan desain kontroler PID, implementasi program pada PLC , dan perencanaan desain *interface* operator dengan sistem.
8. Uji coba dilakukan untuk melakukan pengujian kesesuaian sistem yang telah diimplementasikan terhadap perancangan sistem yang telah dibuat.
 9. Analisis sistem dilaksakan untuk menganalisa sistem terhadap tujuan dari penelitian ini untuk memberikan solusi pada permasalahan yang dibawa.

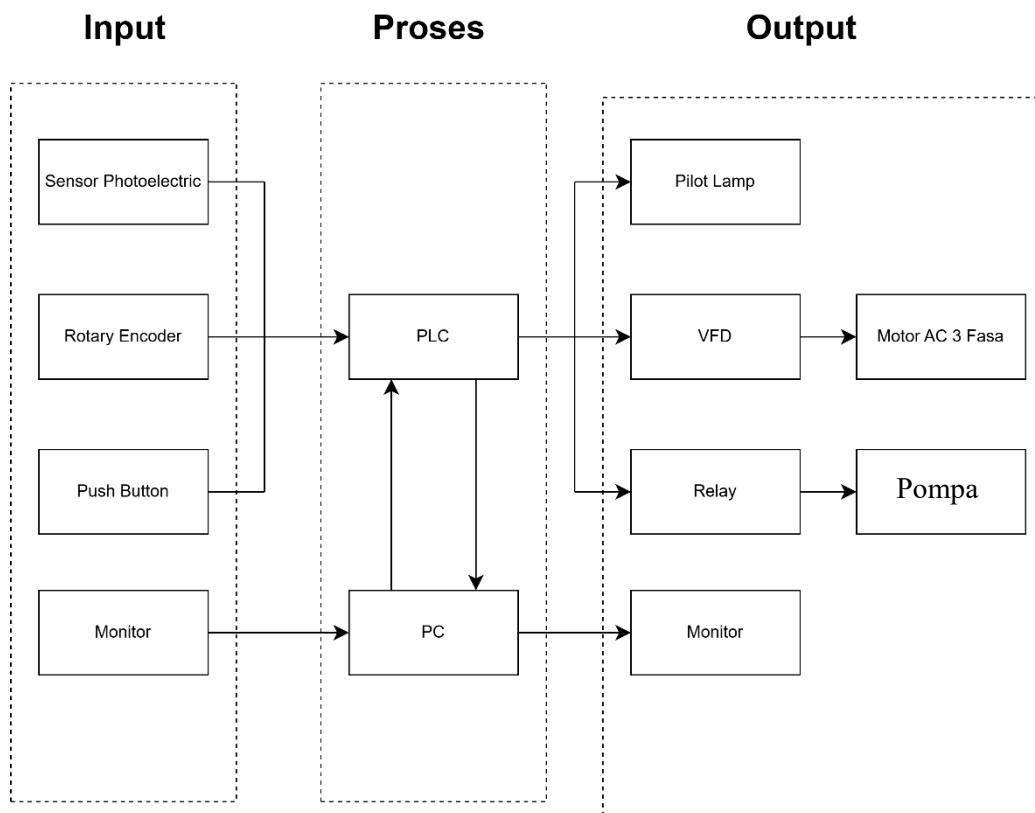
3.2 Konsep Penelitian

Pada penelitian ini, peneliti merancang dan membangun sistem kontrol PLC untuk mengendalikan alat pembangkit gelombang dalam menciptakan gelombang buatan yang linear sesuai nilai *input* berupa frekuensi gelombang air. Terdapat perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem tersebut agar dapat berjalan sesuai apa yang diharapkan. Terdapat kebutuhan sensor untuk mendeteksi frekuensi gelombang *real-time* ,memonitori kecepatan *Plunger* secara *real-time*, dan mengaktifkan atau mematikan sistem. Dan kemudian aktuator dalam sistem untuk menjalankan fungsi dalam menggerakkan *Plunger* dalam membangkitkan gelombang. Kemudian terdapat perangkat lunak untuk menjembatani antara manusia dengan sistem dam untuk menganalisis sistem guna mendapatkan formula yang tepat untuk mengendalikan sistem. Dengan perancangan dan membangun sistem tersebut untuk mencapai tujuan penelitian ini.

3.2.1 State of The Art

Penelitian ini menghadirkan keterbaruan dalam pengendalian kecepatan *Plunger* pada alat pembangkit gelombang dengan menerapkan metode kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*). Berbeda dari pendekatan konvensional yang sering mengandalkan sistem kontrol berbasis on-off atau kontrol manual, metode PID memungkinkan pengaturan kecepatan *Plunger* yang lebih presisi dan adaptif terhadap perubahan kondisi operasional. Dengan menyesuaikan parameter PID secara optimal, sistem ini dapat meningkatkan kestabilan dan respons dinamis dari *Plunger*, sehingga menghasilkan gelombang dengan karakteristik yang lebih konsisten dan sesuai dengan kebutuhan eksperimen atau aplikasi yang diinginkan.

3.2.2 Diagram Blok Sistem

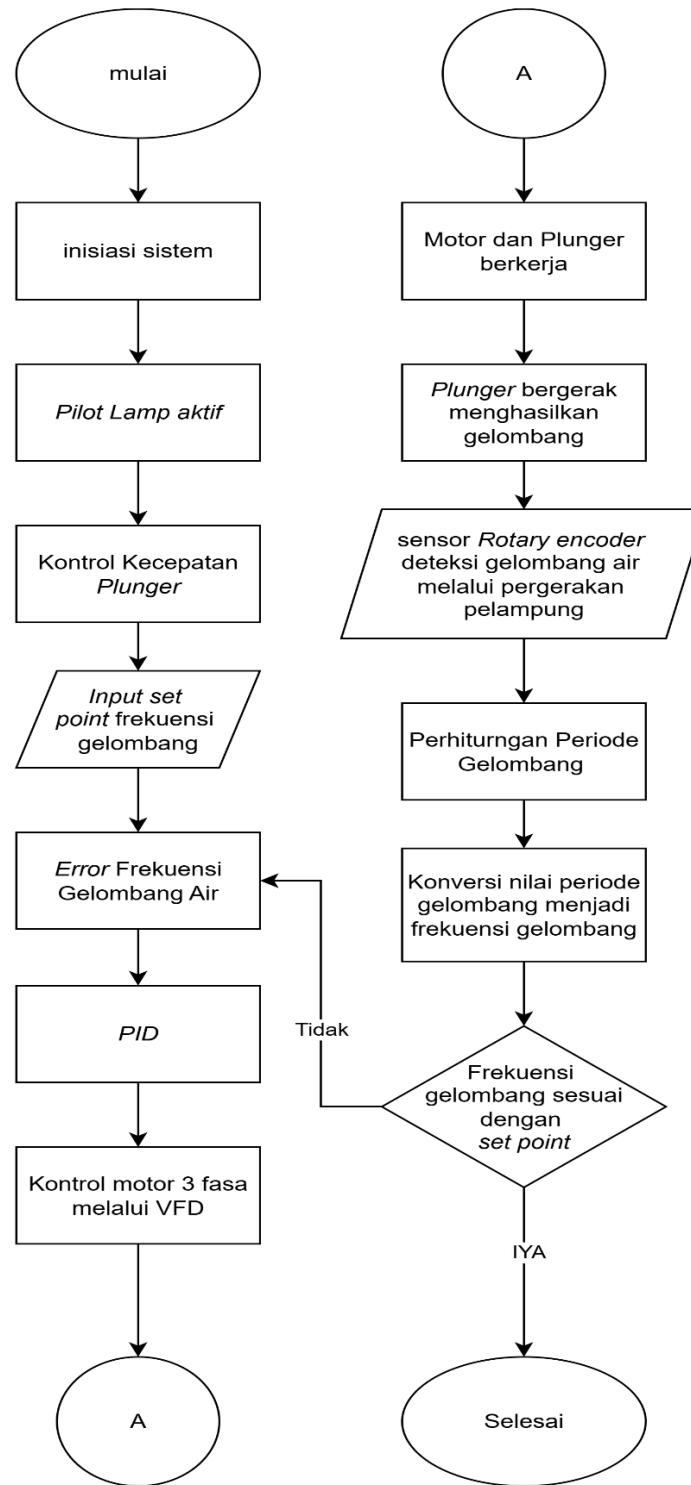


Gambar 3. 2 Diagram Sistem Blok

Dokumen Pribadi

Gambar 3.2 merupakan diagram blok dari sistem, dimulai melalui *push button* yang berfungsi untuk mengaktifkan atau mematikan sistem, dari kondisi sistem ditandai melalui indikator *pilot lamp*. Sensor Photoelectric digunakan untuk mendeteksi frekuensi dari gelombang . *Rotary Encoder* digunakan untuk membaca rpm motor. PC berfungsi untuk mengirim dan menerima data dari PLC dan mengirim data ke tampilan monitor. PLC bertanggung jawab pengolahan data dan mengontrol *aktuuator* sesuai hasil pengolahan data dan algoritma pemrograman. *Pilot lamp* berfungsi untuk indikator dari sistem (aktif/non-aktif). VFD digunakan untuk merubah frekuensi *input* pada motor AC 3 Fasa yang merupakan penggerak alat pembangkit gelombang. Dan *Relay* yang digunakan untuk menghubungkan atau memutus arus ke *coil* kontaktor. Kontaktor berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ke motor.

3.2.3 Flow Chart Alur Kerja Sistem



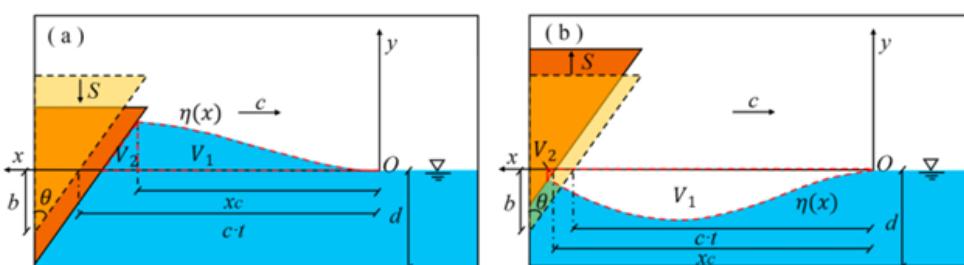
Gambar 3. 3 Flowchart perancangan sistem
Dokumen Pribadi

Pada gambar 3.3 merupakan diagram alir dari perancangan sistem penjelasan sebagai berikut :

1. Inisialisai sistem
2. Kemudian menyalakan lampu indikator
3. Kemudian memulai Kontrol Kecepatan *Plunger* dengan Memasukan nilai *set point*
4. dari nilai setpoint tersebut dilakukan perhitungan nilai *error*
5. dari nilai *error* tersebut diolah PID *controller* untuk mengontrol frekuensi tegangan *input* motor dengan VFD
6. motor berputar dan menggerakkan *Plunger*
7. *Plunger* bergerak dan menghasilkan gelombang air.
8. Sensor *rotary encoder* membaca pergerakkan naik turun gelombang melalui pergerakkan pelampung. Dari nilai tersebut pencarian nilai frekuensi dari mencari nilai periode dengan mencari jarak waktu antar gelombang.
9. Nilai frekuensi tersebut dilakukan perbandingan dengan nilai *set point* jika sesuai selesai jika belum dilakukan pengulangan pada proses 4 hingga 9

3.2.4 Prinsip Kerja Pembangkit Gelombang Tipe *Plunger*

Pada gelombang yang dibuat pada alat pembangkit gelombang degan tipe *Plunger* diperoleh yang menghubungkan gerakan baji. Saat baji yang terendam hingga kedalaman tertentu bergerak ke bawah, air ter dorong ke samping sehingga permukaan air naik di depan bidang miring. Sebaliknya, ketika baji bergerak ke atas, air kembali mengisi ruang yang ditinggalkan, menyebabkan permukaan gelombang turun. Hubungan antara volume air yang ter dorong oleh baji dan volume gelombang yang terbentuk dapat dinyatakan dalam suatu persamaan matematis untuk menggambarkan dinamika proses ini.



Gambar 3. 4 Wave Maker tipe *Plunger*

Pada Gambar tersebut merupakan teori terciptanya gelombang oleh pergerakkan osilasi *Plunger*. Terciptanya bukit gelombang tercipta Ketika siklus *Plunger* bergerak dari titik Tengah menuju titik terbawah kemudian kembali ke tengah. Sedangkan Ketika *Plunger* naik ke atas kemudian kembali ke tengah akan menciptakan lembah pada gelombang.

3.2.5 Kontrol Kecepatan *Plunger* pada alat pembangkit gelombang

Pada Kontrol kecepatan *Plunger* pada alat pembangkit gelombang merupakan pengaturan kecepatan stroke pada *Plunger*. Hal ini dapat mempengaruhi spesifikasi dari gelombang air khususnya pada frekuensi gelombang. Pada penelitian ini dilakukan kontrol kecepatan motor untuk mencapai nilai *variable* frekuensi gelombang yang akan di uji. nilai berikut dilakukan pengujian sebagai berikut : 0,5Hz; 0,6Hz; 0,7Hz; 0,8Hz; 0,9Hz; 1,0Hz

3.3 Analisa Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem adalah langkah penting dalam mengevaluasi kebutuhan yang diperlukan oleh suatu sistem. Pada tahap ini, kami mencatat alat dan bahan yang diperlukan untuk mendukung fungsi sistem. Berikut adalah daftar peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

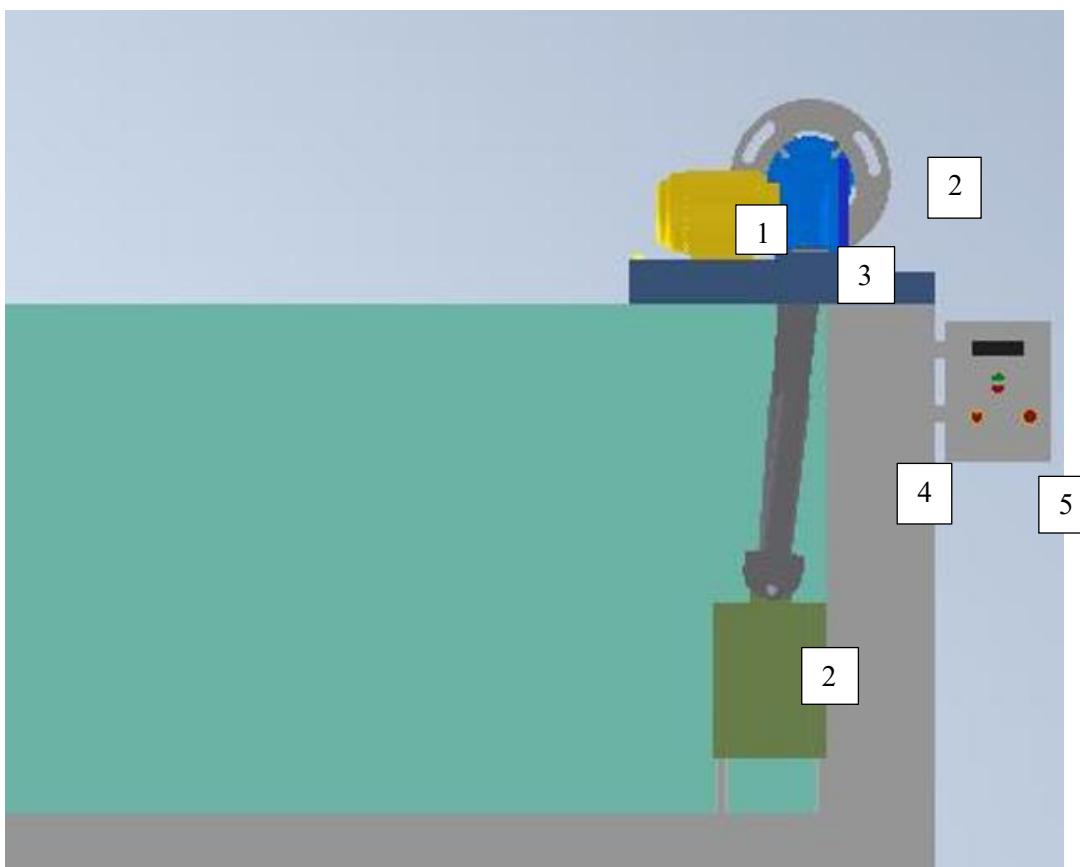
Tabel 3. 1 Analisa Kebutuhan Sistem

NO	Kebutuhan	Komponen	Jumlah
1	Kebutuhan Proses	PLC Omron CP1E	1
		<i>Personal Computer</i>	1
2	Kebutuhan <i>Input</i>	<i>Rotary Encoder</i>	2
		<i>Push Button</i>	2
3	Kebutuhan <i>output</i>	<i>Variable Frequency Drive</i>	1
		Motor 3 Fasa	1
		<i>Pilot lamp</i>	3
		<i>Relay</i>	3
4	Kebutuhan Pengaman	MCB 1 Fasa	1
		MCB 3 Fasa	1
		Kontaktor	1

No	Kebutuhan	Komponen	Jumlah
4	Kebutuhan Pengaman	Thermal Overload Relay	1
		Emergency Button	1

3.4 Perencanaan dan Desain Mekanik

Pada gambar 3.5 Merupakan ilustrasi desain dari *Wave Generator* yang dirancang untuk menghasilkan gelombang berskala laboratorium pada tangki gelombang (*wave tank*). *Wave Generator* diatas merupakan tipe *Plunger* yang menggerakkan baji ke bawah dan ke atas secara berulang (berosilasi) untuk menghasilkan gelombang.



Gambar 3. 5 Perencanaan Desain *Wave Generator*

Dokumen Pribadi

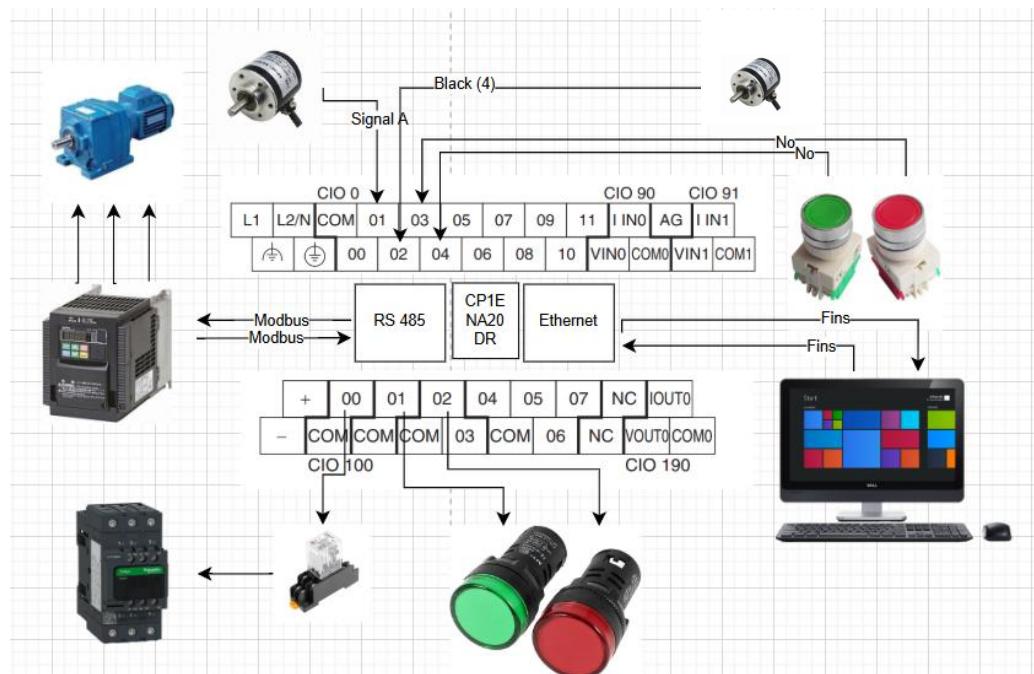
Pada gambar 3.5 Merupakan Ilustrasi desain dari *Wave Generator* yang dirancang untuk menghasilkan gelombang berskala laboratorium pada tangki gelombang (*wave tank*). *Wave Generator* diatas merupakan tipe *Plunger* yang

mengerakkan baji kebawah dan keatas secara berulang (berosilasi) untuk menghasilkan gelombang. Bagian-bagian pada desain tersebut penjelasan sesuai nomor pada gambar berikut:

1. Motor AC 3 Fasa
2. *Disk* (mekanisme putar menjadi linear vertikal)
3. *Gearbox* motor
4. Tangki Air
5. Panel Kontrol

3.5 Perencanaan dan Desain *Hardware*

Perencanaan *hardware* adalah proses merancang komponen fisik suatu sistem, seperti rangkaian elektronik dan sensor. Ini melibatkan penentuan spesifikasi, pemilihan komponen, dan pembuatan desain fisik untuk memenuhi kebutuhan sistem. Tujuannya adalah menciptakan struktur fisik yang mendukung operasi sistem secara optimal.



Gambar 3. 6 Perencanaan dan Desain Elektrik
Dokumen Pribadi

Pada Gambar 3.6 menunjukkan sistem integrasi perangkat keras yang melibatkan beberapa komponen utama . Penjelasan koneksi dijelaskan tabel berikut :

Tabel 3. 2 Perancangan Hardware

No	Nama Komponen	Komponen terkoneksi (input/output)	Jenis Koneksi
1	PLC	-	Semua kecuali usb
2	PC	PLC	Ethernet
3	<i>Pilot lamp</i>	PLC	Digital Output PLC
4	<i>Rotary encoder</i>	PLC	High speed digital input PLC
5	VFD	PLC	RS485 (serial)
6	Motor 3 Fasa	VFD	Listrik 3 Fasa (R,S, dan T)
7	<i>Relay</i>	PLC	Digital output PLC
8	Kontaktor	<i>Relay</i>	Kontak bantu relay
9	<i>Push Button</i>	PLC	Digital Input PLC
10	<i>Ethernet modul</i>	PLC	Option board

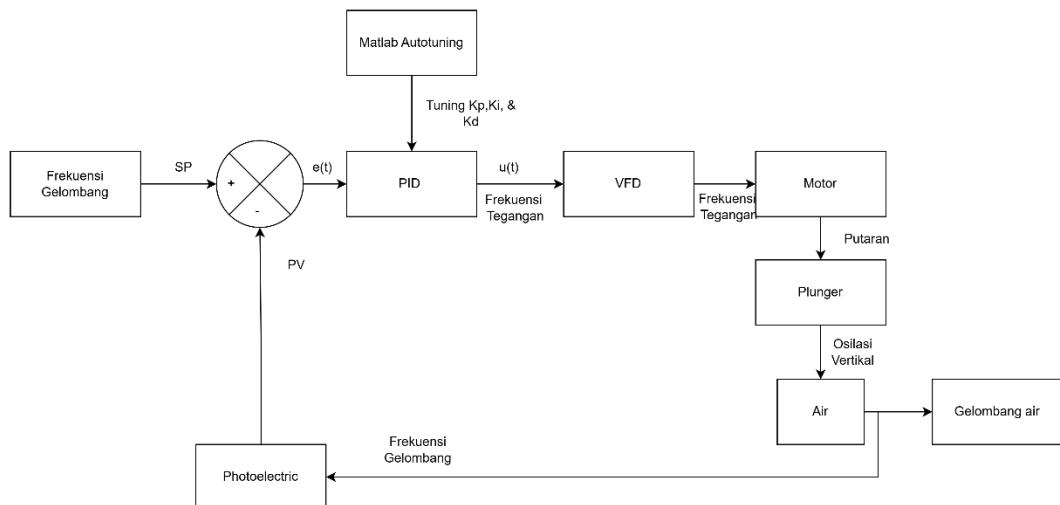
Tabel tersebut menjelaskan hubungan antar komponen dalam sebuah sistem kontrol berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) beserta jenis koneksi yang digunakan. Berikut penjelasan singkatnya:

1. PLC berfungsi sebagai pusat kontrol yang terhubung ke semua perangkat kecuali USB.
2. PC terkoneksi dengan PLC menggunakan Ethernet, biasanya untuk pemrograman, monitoring, atau SCADA.
3. Pilot lamp dihubungkan ke digital output PLC, digunakan sebagai indikator kerja sistem (misalnya ON/OFF).
4. Rotary encoder terhubung ke high speed digital input PLC untuk memberikan umpan balik kecepatan atau posisi putaran motor.
5. VFD (Variable Frequency Drive) terkoneksi ke PLC melalui komunikasi RS485 (serial) untuk pengaturan kecepatan motor.
6. Motor 3 fasa mendapat suplai dari VFD melalui tiga fasa listrik (R, S, T), sehingga kecepatannya dapat dikontrol.
7. Relay dikendalikan oleh digital output PLC untuk switching rangkaian daya kecil maupun kontrol perangkat lain.

8. Kontaktor dikendalikan oleh kontak bantu relay, dipakai untuk menghubungkan atau memutus aliran listrik berarus besar.
9. Push button terhubung ke digital input PLC, digunakan sebagai perintah manual (misalnya start/stop).

Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan arsitektur dasar sistem otomasi: PC untuk pengendalian/monitoring, PLC sebagai otak utama, input device (push button, encoder), output device (lampu indikator, relay, kontaktor), serta aktuator utama berupa motor 3 fasa yang dikontrol lewat VFD.

3.6 Perancanaan dan Desain PID



Gambar 3. 7 Desain PID

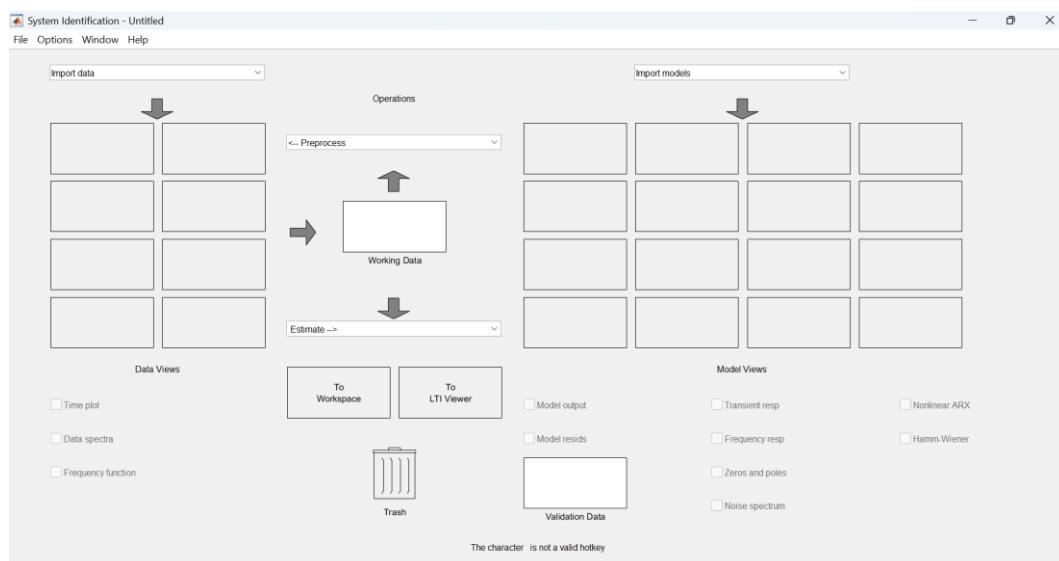
Dokumen Pribadi

Pada penerapan rancangan kendali PID kecepatan *Plunger* pada alat pembangkit gelombang ini diharapkan dapat membuat gelombang dengan frekuensi yang sesuai dengan *set point* dengan karakteristik paling mendekati *critical dumping*. *Critical dumping* merupakan karakter pengendali yang cepat mencapai *set point* dengan tidak ada *overshoot* dan osilasi.

Pada Desain PID ini memiliki hubungan *input* berupa nilai *error* dari *set point* dan *process value* frekuensi dari gelombang air. Dari nilai *error* tersebut direspon oleh PID untuk menentukan nilai *output* berupa nilai frekuensi tegangan yang dikirimkan ke VFD untuk mengatur frekuensi tegangan untuk *input* motor 3 fasa. Kemudian nilai frekuensi digunakan untuk mengatur kecepatan motor. Motor

yang berputar menggerakkan *Plunger* dalam menciptakan gelombang air dari gerak osilasi vertikal. Gelombang yang dihasilkan tersebut dibaca pergerakannya oleh sensor *photoelektric* untuk mendapatkan nilai periode gelombang dan dikonversi menjadi nilai frekuensi untuk *feedback* dari pengendalian.

Pada Perancangan PID *kontroler* menggunakan *software* dilakukan untuk mesimulasi dan menguji coba dari PID *controller* yang akan diimplementasikan pada perangkat keras. Hal ini dilakukan untuk mencegah kerusakan alat akibat ketidaksesuaian PID *controller* terhadap karakteristik dan sifat dari sistem dan perangkat kerasnya.



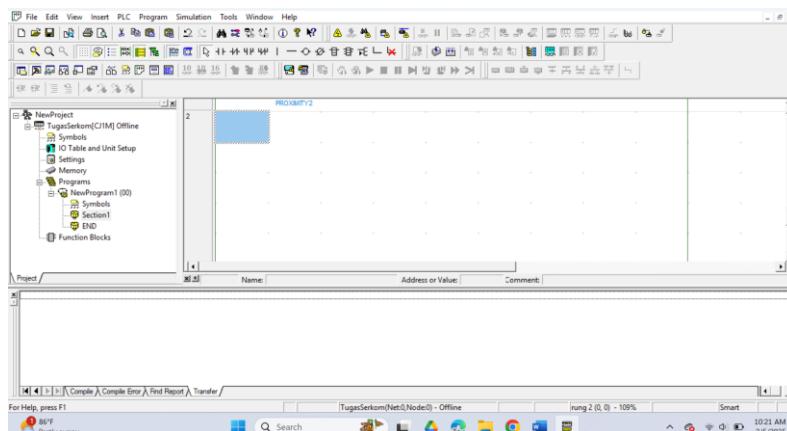
Gambar 3. 8 System Identification Tool Matlab
(Dokumen Pribadi)

Pada Tahap pertama dalam implementasi desain PID ini dengan mencari fungsi alih. Dalam mencari fungsi alih ini dari plant dari menggunakan metode stokastik dengan memanfaatkan *tool system identification* pada *software matlab*. Dalam penggunaan menggunakan metode ini pengambilan data nilai masukan dan keluaran melalui percobaan pada alat. Pada desain ini nilai *input plant* berupa frekuensi tegangan dan keluarannya berupa frekuensi gelombang air. Setelah itu masukkan data dan diproses data tersebut dengan mengestimasi menjadi transfer fungsi model.



Gambar 3. 9 Simulink
Dokumen Pribadi

Pada Tahap selanjutnya melakukan *Tuning PID* menggunakan Simulink dan PID Tuner matlab untuk dilakukan pencarian KP, KD dan KI yang tepat untuk mendapatkan karakter pengedalian yang *critical dumping* atau yang paling mendekati. Pada tahap ini membuat rangkaian sistem pengendali PID pada matlab dan memasukkan fungsi alih yang sudah didapat sebagai plantnya. Dan dilakukan *autotuning* dengan *basic trial and error* yaitu melakukan perubahan nilai *response time* dan *transient behavior* pada *software* dan melihat grafik karakteristik pengedalian untuk mencari mana grafik yang *critical dumping* atau yang paling mendekati.



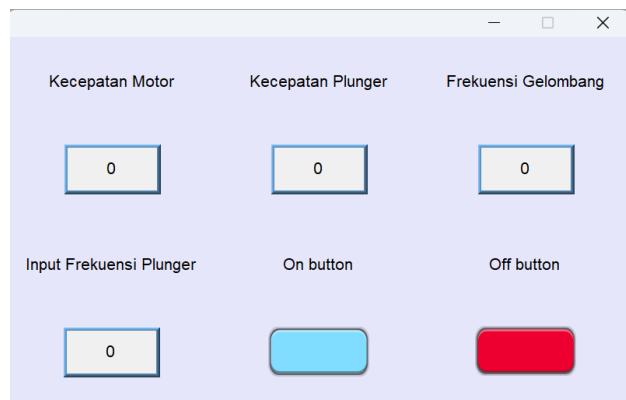
Gambar 3. 10 Software CX-Programmer
Dokumen Pribadi

Pada Tahap terakhir ini dilakukan implementasi PID pada PLC dengan memprogram pada CX Programmer. Dari nilai Kp,Ki, dan Kd yang telah didapat di tahap sebelumnya dilakukan konversi Ki menjadi Tik dan Kd menjadi Tdk .Dengan menggunakan fungsi PIDAT pada *software* tersebut paramater PID tersebut menggunakan Kp, Tik, dan Tdk. Dan dapat di transfer pada PLC

3.7 Perancanaan dan Desain GUI HMI

Perancanaan *software* untuk tampilan interface antara sistem kontrol dengan

operator. Tahap ini sangat penting untuk memastikan sistem berfungsi sebagaimana yang diharapkan , yaitu operator dapat mengendalikan sistem.dibutuhkan perpaduan antar framework dan library dari bahasa pemrograman untuk membuat backend dan untuk frontend dari GUI HMI. Dan juga komunikasi antara PLC dan PC



Gambar 3. 11 Rencana Desain Gui-HMI
Dokumen Pribadi

3.8 Rencana Pengujian

Pada sub-bab ini menjelaskan mengenai rencana pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data. Fungsi ini dilakukan untuk menguji kesesuaian pada saat sebelum seluruh komponen terintegrasi secara menyeluruh.

3.8.1 Rencana Pengujian *Rotary Encoder*

Pengujian Sensor *Rotary Encoder* ini bertujuan untuk memastikan sensor dalam membaca RPM motor. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sensor ke PLC. Dan diaktifkan *mode high speed input*. Mode ini dapat digunakan untuk membaca nilai pulsa keluaran dari sensor. Kemudian dilakukan perbandingan perbandingan dengan tachometer untuk mendeteksi nilai error dari pembacaan sensor *rotary encoder* dengan PLC.

3.8.2 Rencana pengujian Motor 3 Fasa dan VFD

Pengujian Motor 3 fasa dengan VFD bertujuan untuk memastikan VFD dapat mengatur motor 3 fasa dan motor berfungsi dengan dengan baik. Dalam hal ini pengujian dilakukan menghubungkan motor 3 fasa *output* VFD dengan rangkaian yang disesuaikan dengan *name plat motor*. Kemudian menghubungkan

VFD dengan sumber melalui MCB 3 fasa. Kemudian melakukan pengujian motor dengan variasi frekuensi yang diatur oleh VFD.

3.8.3 Rencana Pengujian Kontaktor

Pada pengujian Kontaktor dilakukan untuk memastikan kinerja kontaktor dalam menghubungkan atau memutus aliran listrik 3 fasa. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan dan memutus aliran listrik ke *coil* kontaktor. Kemudian dilakukan pengujian kontak utama dan kontak bantu pada kontaktor menggunakan avometer sesuai jenis kontak *normally open* atau *normally close*.

3.8.4 Rencana Pengujian *Pilot lamp*

Pada pengujian *Pilot lamp* dilakukan untuk memeriksa kinerja alat tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan memutus dan mengalirkan aliran listrik ke alat kemudian melihat respon dari alat apakah menyala atau tidak.

3.8.5 Rencana Pengujian *Relay*

Pada pengujian *Relay* dilakukan untuk memastikan kinerja *Relay* dalam menghubungkan atau memutus aliran listrik. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan dan memutus aliran listrik ke *coil relay*. Kemudian dilakukan pengujian kontak pada *relay* menggunakan avometer sesuai jenis kontak *normally open* atau *normally close*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

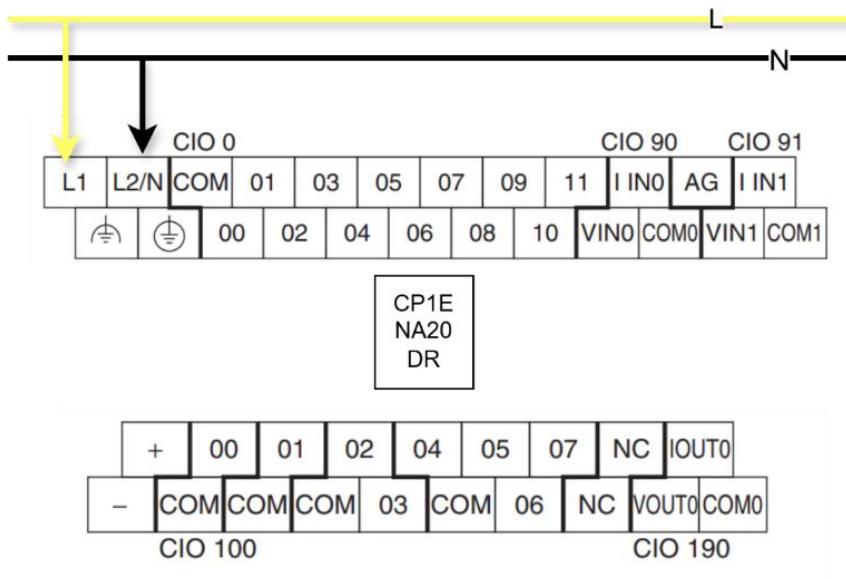
pada bab ini, akan dibahas hasil pengujian dan pembahasan dari penyusunan alat penelitian tugas akhir beserta analisisnya. Tujuan dari pembahasan ini adalah untuk memastikan bahwa komponen dan sistem yang terdapat pada Tugas Akhir mampu berjalan sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat sebelumnya. Oleh karena itu, dilakukan beberapa pengujian guna memvalidasi kinerja sistem yang telah dibuat. Tahap-tahap pengujian sistem alat yang telah dibuat meliputi:

4.1 Pembangunan Sistem Kontrol Alat Pembangkit Gelombang Air

Pada tahap selanjutnya akan dibahas pengujian hardware dan *software* mengenai kinerja keandalan masing-masing alat pendukung dan kinerja alat keseluruhan yang telah terintegrasi antara hardware dan *software*. Tujuan dari ini pengujian ini untuk mendapatkan hasil dan pembahasan dari inti penelitian ini.

4.1.1 Pengujian PLC Omron CP1E

Pada Pengujian alat ini dilakukan koneksi PLC terhadapa sumber listrik, pada PLC ini sudah terdapat power supply dc maka dibutuhkan listrik AC 1 fasa. Untuk fasa dihubungkan di pin *input* L1 dan untuk fasa netral dihubungkan di pin *input* L2/N.Dengan ini PLC akan bisa aktif dan dapat bekerja.



Gambar 4. 1 *Wiring Diagram Pengujian PLC*

Tabel 4. 1 Tabel *Wiring* Pengujian PLC

Sumber Daya	PINOUT PLC
Fasa	L1
Nol	L2

Pada gambar 4.1 diatas. Dilakukan koneksi sumber terhadap alat sesuai penjelasan diatas. Dan untuk koneksi dijelaskan melalui dengan tabel 4.1 perlu di perhatikan untuk koneksi dan pemasangan kabel harus dan benar agar tidak salah pemasangan kabel ke perangkat dan mengakibatkan kerusakan perangkat. Dan alat bisa digunakan untuk mengontrol alat lainnya sesuai kebutuhan penelitian ini.



Gambar 4. 2 Dokumentasi Pengujian PLC

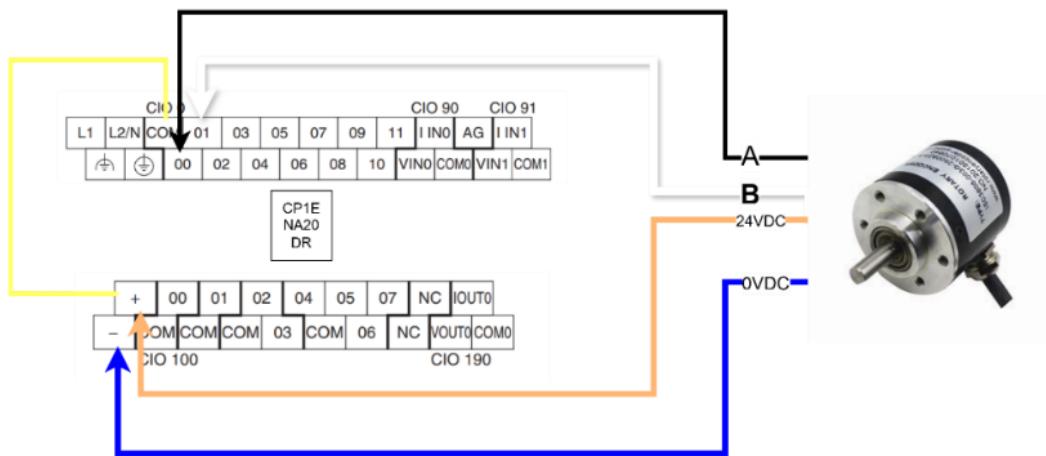
Pada gambar 4.2 diatas terlihat bahwa pengujian alat telah menunjukkan keberhasilan dengan indikator keberhasilan melalui lampu indikator pada PLC dapat menyala, dan dapat indikasi bahwa plc dapat diprogram dan dijalankan.

4.1.2 Pengujian *Rotary Encoder*

Pada pengujian sensor *rotary encoder* ini dilakukan koneksi sensor dengan PLC untuk melihat kinerja sensor dalam mendekripsi kecepatan putar. Langkah yang pertama ialah dilakukan koneksi *wiring* dengan menghubungkan sensor dengan sumber dan PLC. Untuk pinout dalam *rotary encoder* terdapat 5 kabel yaitu 2 untuk sumber dan 3 untuk signal *output*. Namun untuk signal *output* akan dibutuhkan 2 saja.

Pada gambar 4.3 dan diperjelas dengan tabel 4.2 terlihat *wiring* diagram

dari pengujian sensor *rotary encoder*. Pada kabel berwarna coklat dihubungkan dengan pinout (+) PLC dan warna biru dengan pinout (-) pada PLC yang keduanya merupakan power supply 24 VDC dan untuk warna hitam yang merupakan phase A dihubungkan dengan pin *input* 00 pada PLC dan kabel warna putih yang merupakan phase B dihubungkan pin *input* 01 pada PLC . pin *input* tersebut disediakan oleh PLC untuk menerima *input* sinyal digital berupa pulsa berkecapatan tinggi.

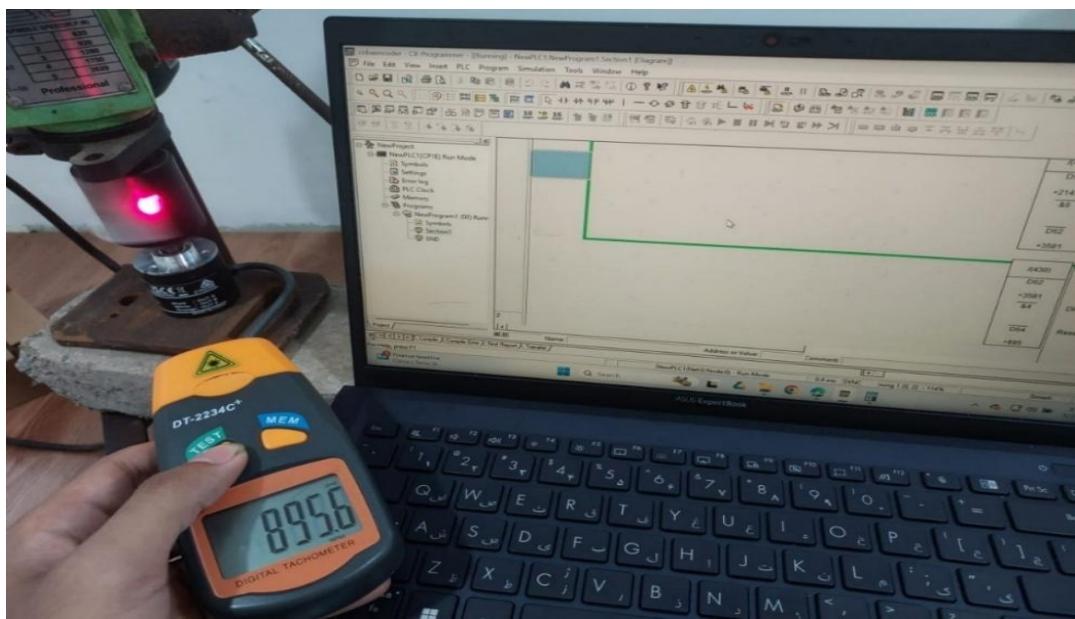


Gambar 4. 3 Wiring Diagram Pengujian *Rotary Encoder*

Tabel 4. 2 Wiring Pengujian *Rotary Encoder*

PSU PLC	Pinout PLC	Pinout <i>Rotary Encoder</i>
Positif(+)	Com	24VDC
Negatif(-)	-	0 VDC
-	00	A
-	01	B

Pada gambar 4.4 merupakan bukti pengujian alat. Pada pengujian alat tersebut *rotary encoder* dipasang pada bor duduk untuk mendapat energi putar dan sensor dapat mengirim pembacaan ke PLC. Untuk pembacaan nilai kecepatan putar dapat monitori di *software CX-Programmer* . dan untuk memvalidasi dilakukan perbandingan nilai dengan pembacaan oleh tacometer.



Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian *Rotary Encoder*

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Rotary Encoder*

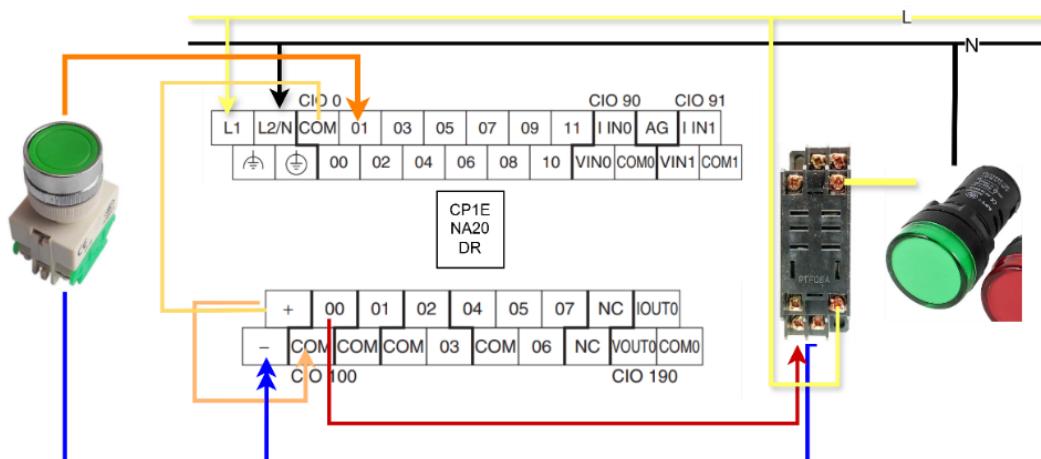
Tachometer		RPM motor	Error (%)
x1	x5.05		
0	0	0	0
14	70.7	72	1.83
29	146.45	147	0.37
44	222.2	220	0.99
61	308.05	297	3.58
76	383.8	373	2.81
89	449.45	450	0.12
105	530.25	524	1.17
120	606	601	0.82
136	686.8	676	1.57
149	752.45	751	0.19
166	838.3	830	0.99
177	893.85	899	0.57
193	974.65	983	0.85
209	1055.45	1043	1.17
235	1186.75	1104	6.97
240	1212	1190	1.81
253	1277.65	1262	1.22
267	1348.35	1347	0.10
286	1444.3	1421	1.61
300	1515	1499	1.05
Rata-Rata			1.42

Tabel ini menampilkan hasil pengujian perbandingan kecepatan motor yang diukur menggunakan *Rotary Encoder* dengan kecepatan aktual motor. Kolom x1 adalah nilai mentah dari *encoder*, Tachometer (x5.05) adalah nilai terukur setelah dikalikan dengan faktor kalibrasi, RPM motor adalah kecepatan referensi, dan Error (%) menunjukkan persentase kesalahan antara nilai terukur dan nilai referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai dari *encoder* memiliki hubungan linier yang jelas dengan kecepatan motor, di mana semakin tinggi nilai *encoder*, semakin cepat putaran motor.

Analisis pada kolom Error (%) menunjukkan bahwa alat ukur (*rotary encoder*) memberikan hasil yang cukup akurat. Persentase kesalahan bervariasi di setiap titik pengukuran, dengan beberapa nilai sangat rendah (seperti 0.10% dan 0.12%), namun ada juga beberapa nilai yang relatif tinggi (seperti 6.97% dan 3.58%). Nilai rata-rata kesalahan sebesar 1.42% menunjukkan bahwa secara keseluruhan, *rotary encoder* dapat digunakan sebagai alat pengukur kecepatan motor yang dapat diandalkan, meskipun terdapat fluktuasi akurasi pada titik-titik tertentu..

4.1.3 Pengujian *Push Button*, *Relay*, dan *Pilotlamp*

Pada pengujian *push button* dilakukan dengan kombinasi pengujian *relay* dan *pilot lamp* digunakan sebagai indikator. Untuk *push button* ini digunakan sebagai *inputan*. *Push button* ini perlu diuji agar dapat digunakan pada sistem yang akan digunakan ini.

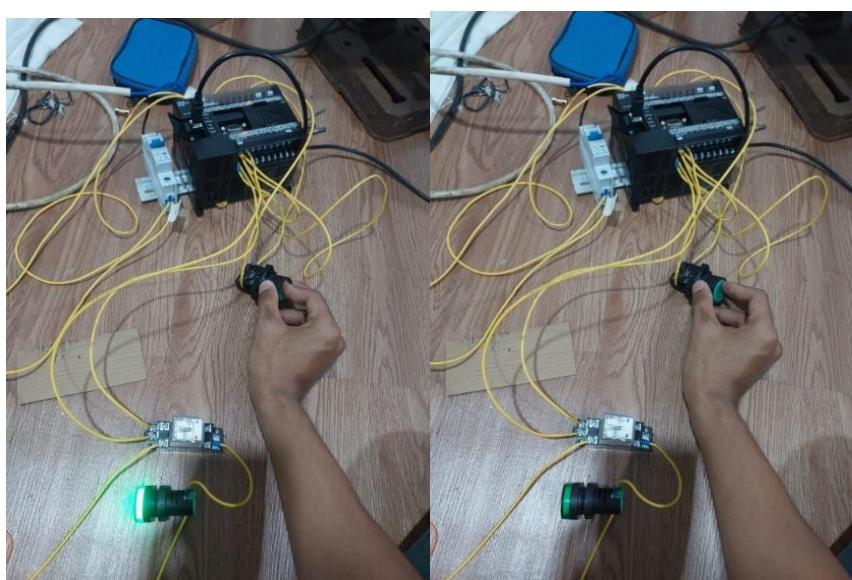


Gambar 4. 5 *Wiring Diagram Pengujian Pushbutton, Relay, dan Lampu*

Tabel 4. 4 Wiring Pengujian Pushbutton, Relay, dan Pilot lamp

Listrik AC	PSU	PLC	Relay	Push Button	Pilotlamp
Fasa	-	L1	com	-	-
Netral	-	L2	-	-	Output
-	Positif	Com Input,output	-	-	-
-	Negatif	-	Coil	input	-
-	-	Input 01		Output	-
-	-	Output 00	Coil	-	-
-	-	-	Output NO	-	Input

Pada gambar 4.5 dan tabel 4.4 wiring diagram dari pengujian ini . dikarenakan pada merupakan kombinasi dengan *relay* dan *pilot lamp* maka terdapat tambahan wiring diagram pada gambar 4.5 dan tabel 4.3 . tambahan itu adalah untuk com *input* PLC dikoneksikan dengan pin (P) PLC, *input push button* dikoneksikan dengan (-) PLC dan *output* dikoneksikna dengan pin *input 01* PLC pada PLC. Untuk *relay* membutuhkan 24VDC untuk aktif dan untuk *pilot lamp* 220VAC. pertama ialah untuk com pada PLC dihubungkan dengan pin (+) PLC, *coil relay* dihubungkan dengan pin (-) PLC dan pin *output 00* plc. Untuk com *relay* dihubungkan dengan fasa L1 dan untuk *pilot lamp* dihubungkan dengan pin out *relay* NO dan fasa netral.

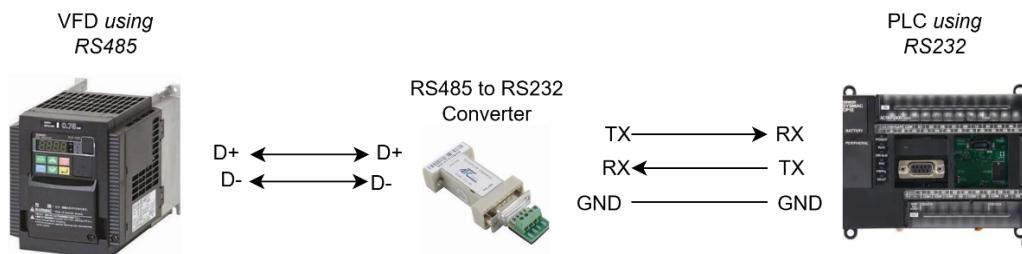


Gambar 4. 6 Dokumentasi Pengujian Push Button, Relay, dan Pilotlamp

Pada gambar 4.8 merupakan hasil dari pengujian *push button* terlihat bahwa ketika *push button* ditekan *pilot lamp* akan menyala dan ketika *push button* ditekan *push button* akan mengalirkan arus dari pin *input* ke (-) menjadikannya pin *input* 09 aktif dan mengaktifkan pin *output* 00 aktif ketikan pinout 00 PLC diaktifkan dikarenakan pinout 00 PLC meneruskan arus listrik dari com kemudian diteruskan ke *coil relay* dan *relay* aktif. Kemudian *relay* meneruskan arus listrik AC dari com *relay* ke kontak NO *relay* yang terhubung dengan *pilot lamp* dan *pilot lamp* menyala. Dalam hal ini alat tersebut dapat digunakan. Dengan pengujian ini dipastikan bahwa *push button*, *relay*, dan *pilot lamp* ini dapat digunakan pada sistem.

4.1.4 Pengujian Komunikasi Modbus

Pada Pengujian Komunikasi Modbus dilakukan untuk menguji keandalan perangkat untuk berkomunikasi dengan protokol komunikasi modbus. Komunikasi ini nantinya akan di implementasikan untuk komunikasi antara PLC dengan VFD. Komunikasi dilakukan untuk mengontrol VFD untuk menggerakkan motor tiga fasa melalui PLC.



Gambar 4. 7 Wiring Komunikasi MODBUS PLC dengan VFD

Pada sistem komunikasi antara PLC dan *inverter* melalui *konverter RS232* ke RS485, jalur *wiring* dimulai dari *port* komunikasi PLC. Dari sisi PLC dengan *port* RS232, jalur TX (*Transmit*) dihubungkan ke RX (*Receive*) pada *konverter*, sedangkan RX (*Receive*) PLC dihubungkan ke TX (*Transmit*) *konverter*. Selain itu, jalur GND (*Ground*) dari PLC juga harus dihubungkan ke GND pada *konverter* untuk menyamakan referensi tegangan. Hubungan ini memastikan data dari PLC dapat diterjemahkan dengan benar oleh *konverter* sebelum diteruskan ke *inverter*.

Selanjutnya, dari sisi *konverter* menuju *inverter* digunakan standar komunikasi RS485. Pada tahap ini, hanya terdapat dua jalur utama, yaitu A

(RS485+) dan B (RS485–). Terminal A pada *konverter* dihubungkan ke terminal A atau D+ pada *inverter*, sedangkan terminal B *konverter* dihubungkan ke terminal B atau D– *inverter*. Jika diperlukan, ground referensi juga dapat ditambahkan untuk kestabilan sinyal, terutama bila jarak kabel cukup panjang. Dengan konfigurasi *wiring* ini, *inverter* dapat menerima perintah dari PLC melalui protokol komunikasi Modbus RTU.

Tabel 4. 5 Tabel Pengujian Komunikasi Data PLC dengan VFD

<i>PLC Setting Frequency (HZ)</i>	<i>VFD Frequency Output (Hz)</i>	<i>Error (%)</i>
0.00	0.00	0
2.50	2.50	0
5.00	5.00	0
7.50	7.50	0
10.00	10.00	0
12.50	12.50	0
15.00	15.00	0
17.50	17.50	0
20.00	20.00	0
22.50	22.50	0
25.00	25.00	0
27.50	27.50	0
30.00	30.00	0
32.50	32.50	0
35.00	35.00	0
37.50	37.50	0
40.00	40.00	0
42.50	42.50	0
45.00	45.00	0
47.50	47.50	0
50.00	50.00	0

Tabel tersebut menunjukkan hasil pengujian komunikasi Modbus antara PLC dan VFD dalam proses pengaturan keluaran. Kolom pertama merupakan nilai

perintah yang dikirim dari PLC, sedangkan kolom kedua adalah respon atau keluaran yang diterima dan dijalankan oleh VFD. Kolom ketiga menampilkan nilai *error*, yaitu selisih antara nilai perintah PLC dan respon dari VFD. Dalam data yang ditampilkan, terlihat bahwa nilai keluaran VFD selalu sama dengan nilai perintah dari PLC, sehingga *error* yang dihasilkan bernilai nol.

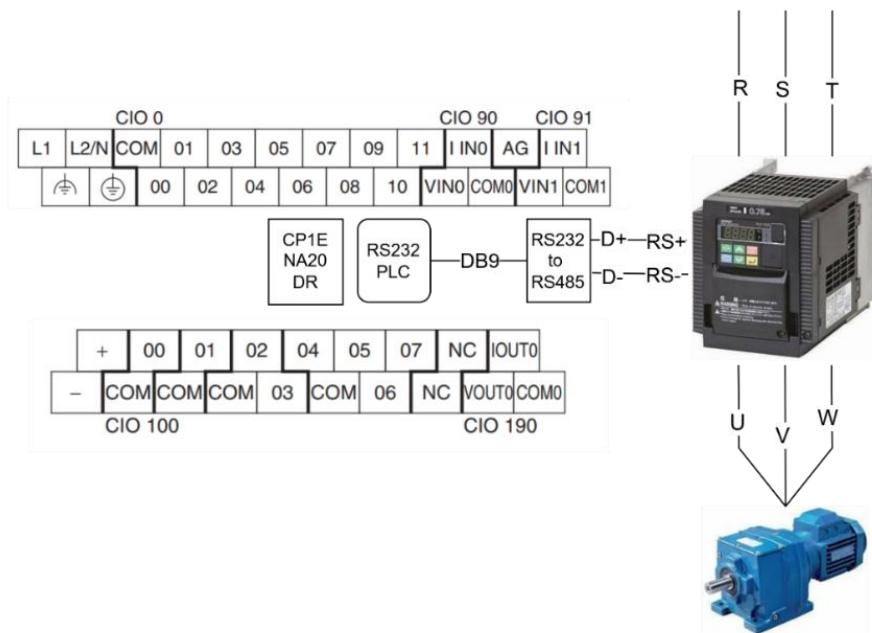
Hal ini menandakan bahwa komunikasi Modbus antara PLC dan VFD berjalan dengan sangat baik dan sinkron. Setiap kenaikan nilai perintah dari PLC, baik dalam skala 2.5 maupun kelipatannya, diikuti dengan tepat oleh keluaran VFD tanpa adanya penyimpangan. Konsistensi ini menunjukkan bahwa parameter komunikasi seperti *baudrate*, *parity*, *stop bit*, serta konfigurasi alamat Modbus pada kedua perangkat telah diatur dengan benar, sehingga data dapat dikirim dan diterima tanpa gangguan.

Selain itu, hasil ini juga membuktikan bahwa sistem kontrol berbasis Modbus dapat diandalkan untuk mengatur kecepatan atau frekuensi keluaran VFD sesuai instruksi dari PLC. Dengan *error* yang selalu nol, sistem ini sangat layak digunakan pada aplikasi industri yang membutuhkan presisi tinggi, misalnya dalam mengontrol kecepatan motor, sinkronisasi proses, maupun aplikasi otomasi lainnya. Keberhasilan uji coba ini menjadi dasar kuat untuk melanjutkan ke tahap integrasi dengan sistem kontrol yang lebih kompleks.

4.1.5 Pengujian Motor 3 Fasa dan *Variable Frequency Drive*

Pada Pengujian motor 3 fasa dilakukan untuk menguji motor yang dapat aktif dan berputar dengan kontrol putaran oleh VFD . untuk pertama dilakukan pemasangan *input* VFD dari sumber 3 fasa, dan *outputnya* dari VFD dihubungkan ke motor 3 fasa. VFD dan PLC berkomunikasi dengan komunikasi serial modbus

Pada Gambar 4. Merupakan *wiring* diagram dari pengujian VFD dan motor 3 fasa, pada *input* VFD terdapat koneksi dengan sumber listrik 3 fasa dengan line R,S, dan T dan *output* VFD berupa listrik 3 fasa menuju ke motor 3 fasa dengan line *output* U, V dan W. Untuk mengatur variasi *frequency* dibutuhkan kontrol terhadap VFD maka dibutuhkan komunikasi modbus antara PLC dan VFD dengan konfigurasi koneksi serial, port yang dimiliki PLC ialah RS232 sedangkan VFD ialah RS485 maka dibutuhkan konverter RS232 to RS485 untuk menjembatani koneksi PLC dan VFD



Gambar 4. 8 Wiring Diagram Pengujian VFD dan Motor 3 Fasa



Gambar 4. 9 Dokumentasi Pengujian Sensor Motor 3 Fasa

Tabel ini menyajikan hasil pengujian yang menunjukkan hubungan antara frekuensi yang diberikan oleh VFD (Variable *Frequency Drive*) dan kecepatan putar (RPM) dari sebuah motor 3 fasa. Data pada tabel secara jelas menunjukkan

adanya hubungan linier yang kuat: setiap kali frekuensi ditingkatkan, kecepatan putar motor juga meningkat secara proporsional. Mulai dari 0 Hz dengan kecepatan 0 RPM, frekuensi terus bertambah secara bertahap hingga mencapai 50 Hz, di mana motor berputar pada kecepatan 1499 RPM. Hubungan ini konsisten dengan prinsip kerja VFD yang memang dirancang untuk mengendalikan kecepatan motor dengan memvariasikan frekuensi suplai daya.

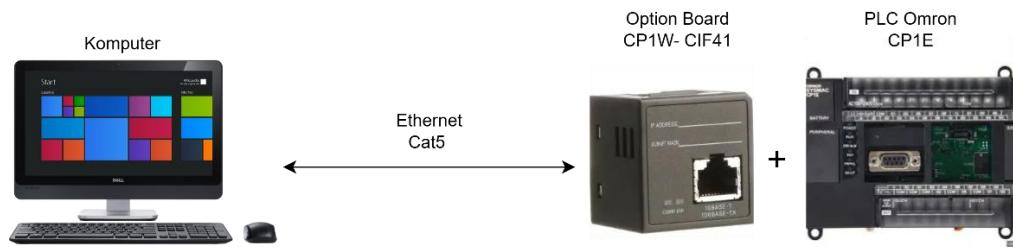
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian VFD dan Motor 3 Fasa

Hz	RPM motor
0	0
2.5	72
5	147
7.5	220
10	297
12.5	373
15	450
17.5	524
20	601
22.5	676
25	751
27.5	830
30	899
32.5	983
35	1043
37.5	1104
40	1190
42.5	1262
45	1347
47.5	1421
50	1499

Jika dilihat dari performa motor pada frekuensi tertinggi, yaitu 50 Hz, kecepatan motor yang terukur adalah 1499 RPM. Nilai ini sangat mendekati kecepatan sinkron teoretis motor 4-kutub yang biasanya berada pada 1500 RPM. Perbedaan yang sangat kecil antara kecepatan aktual dan kecepatan sinkron (slip) menunjukkan bahwa motor beroperasi dengan sangat efisien pada beban pengujian. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini membuktikan VFD dapat secara efektif mengendalikan kecepatan motor 3 fasa di seluruh rentang frekuensi yang diuji.

4.1.6 Pengujian Komunikasi FINS

Pada Pengujian Komunikasi Modbus dilakukan untuk menguji keandalan perangkat untuk berkomunikasi dengan protokol komunikasi modbus. Komunikasi ini nantinya akan di implementasikan untuk komunikasi antara PLC dengan VFD. Komunikasi dilakukan untuk mengontrol VFD untuk menggerakkan motor tiga fasa melalui PLC.



Gambar 4. 10 Wiring Komunikasi FINS PLC dengan Komputer

Gambar tersebut menunjukkan sistem komunikasi antara PC dengan PLC Omron tipe CP1E menggunakan protokol FINS (*Factory Interface Network Service*) melalui modul Ethernet. PC berfungsi sebagai perangkat antarmuka untuk pemrograman, *monitoring*, maupun HMI, sementara PLC bertugas sebagai pengendali proses di lapangan. Agar dapat terhubung, PLC CP1E dilengkapi dengan modul komunikasi tambahan berupa CP1W-CIF41 yang menyediakan *port* Ethernet (RJ45).

Wiring komunikasi dilakukan dengan menghubungkan *port* LAN pada PC ke *port* RJ45 pada modul Ethernet PLC menggunakan kabel jaringan UTP (Cat5e/Cat6). Agar komunikasi dapat berlangsung, alamat IP pada PC dan PLC harus diatur dalam satu jaringan yang sama. Misalnya, PC diberi alamat IP 192.168.250.1 dan PLC 192.168.250.2 dengan *subnet mask* 255.255.255.0. Pengaturan ini memastikan data dari PC dapat diterima dengan benar oleh PLC, begitu pula sebaliknya.

Setelah terhubung, komunikasi data dijalankan menggunakan protokol FINS, di mana PC mengirimkan instruksi atau permintaan data ke PLC melalui Ethernet. PLC kemudian memproses perintah tersebut dan memberikan respon kembali ke PC. Dengan cara ini, operator dapat melakukan transfer program, memantau kondisi *input/output*, hingga mengendalikan sistem secara *real-time*. Hal ini menjadikan komunikasi FINS antara PC dan PLC sangat efektif untuk aplikasi industri yang memerlukan pemantauan serta kontrol yang cepat dan akurat.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Komunikasi PLC dengan Komputer

Komputer		PLC		Error
Word	Status	DM	CIO	
1000	-	1000	-	0%
2000	-	2000	-	0%
4000	-	4000	-	0%
-	On	-	On	No
-	Off	-	Off	No
-	On	-	On	No
-	Off	-	Off	No

Tabel yang 4.7 berisi hasil pengujian komunikasi FINS antara PLC Omron dan komputer dengan menggunakan library Python. Dari tabel tersebut terlihat bahwa terdapat dua jenis pengujian, yaitu pengiriman Word data dan pengujian status *On/Off*. Pada bagian komputer, data dikirimkan dalam bentuk *Word* dan *Status*, kemudian dibandingkan dengan hasil yang diterima oleh PLC pada area memori DM maupun CIO, serta kolom terakhir menunjukkan status *error* komunikasi.

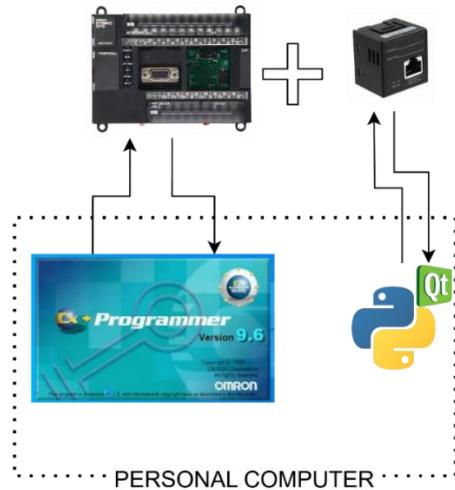
Pada pengujian pertama, data dalam bentuk *Word* (misalnya 1000, 2000, 4000) dikirimkan dari komputer ke PLC. Hasilnya, nilai yang diterima pada area DM PLC sesuai dengan data yang dikirim, tanpa adanya selisih. Hal ini dibuktikan dengan nilai *error* yang ditampilkan sebesar 0%, artinya proses transfer data berhasil dan komunikasi berjalan lancar. Keselarasan data antara komputer dan PLC menunjukkan bahwa protokol FINS sudah diimplementasikan dengan benar pada *library Python* yang digunakan.

Sementara itu, pengujian kedua dilakukan pada data berupa *status On/Off*. Komputer mengirimkan instruksi *status digital (On/Off)* dan hasilnya diterima oleh PLC pada area CIO. Sama seperti pengujian sebelumnya, kondisi yang diterima PLC sesuai dengan yang dikirimkan oleh komputer (*On* → *On*, *Off* → *Off*), serta tidak ada *error* komunikasi yang muncul. Hal ini membuktikan bahwa komunikasi dua arah antara komputer dan PLC, baik untuk data analog (*Word*) maupun digital (*On/Off*), dapat dilakukan dengan stabil dan tanpa kesalahan menggunakan FINS dan *library Python*.

4.1.7 Pengujian HMI GUI

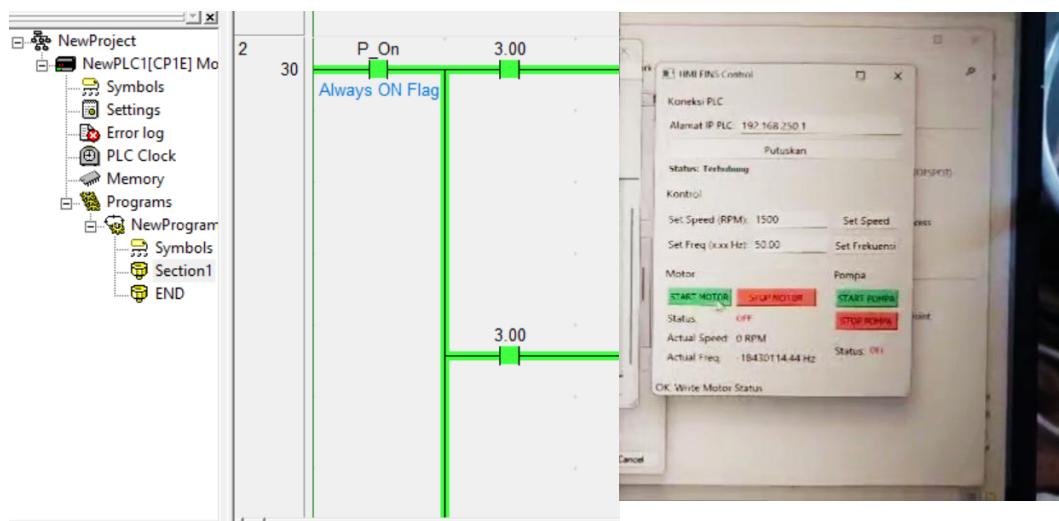
HMI merupakan sebuah tampilan yang digunakan oleh operator untuk mengontrol sebuah mesin .Pada Pengujian HMI GUI ini dilaksanakan untuk keandalan HMI dalam membaca data dari PLC dan mengirim data ke PLC. Untuk memulainya ialah melakukan koneksi dengan perangkat fisik PLC kemudian melakukan pengujian dengan validasi melalui perangkat lunak bawaan dari PLC

untuk memonitori memori pada PLC.

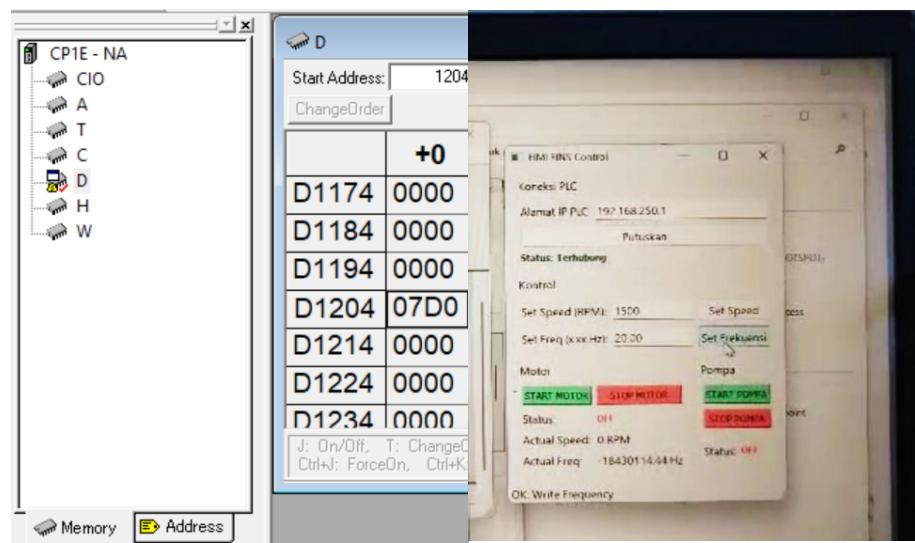


Gambar 4. 11 *Wiring Diagram HMI GUI*.

Pada Diagram diatas merupakan *wiring* diagram PLC dengan *computer*, namun terdapat 2 koneksi dan 2 perangkat lunak yang berbeda dari PC. Dua koneksi tersebut ialah koneksi usb yang digunakan untuk menghubungkan PLC dengan *software* CX-Programmer dan koneksi ethernet untuk menghubungkan *software* HMI PyQt dengan PLC yang terdapat tambahan modul komunikasi ethernet CP1W -CIF41. Dalam koneksi dengan modul ethernet tersebut digunakan protokol komunikasi FINS TCP.



Gambar 4. 12 Dokumentasi Pengujian HMI GUI (*Coil*)

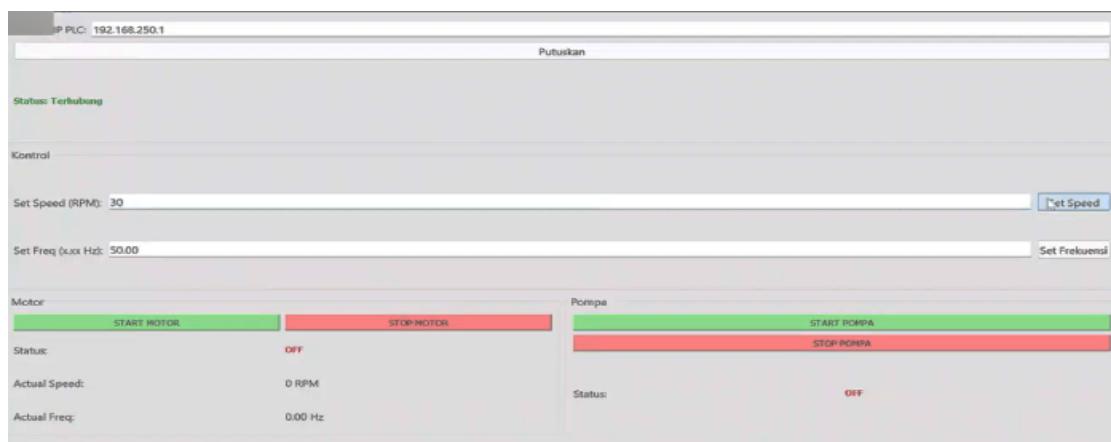


Gambar 4. 13 Dokumentasi Pengujian HMI GUI (*Memory Data*)

Terslihat gambar 4.13 diatas merupakan dokumentasi pengujian HMI GUI terlihat bahwa HMI dapat terhubung dengan plc dan dapat berkomunikasi data *coil* dan *memory* data. HMI gui dapat mengontrol salah satu alamat CIO pada PLC yang dapat mengaktifkan sebuah proses pada PLC. Kemudian juga dapat mengubah data *memory* untuk mengubah *set point* dari sebuah proses pada PLC. Dapat disimpulkan bahwa HMI ini dapat digunakan pada sistem.

4.1.8 Pengujian sistem kontrol

Pada Tahap Pengujian Keseluruhan *system*. Pengujian dilakukan *system* setelah dilakukan perakitan alat secara keseluruhan. Integrasi seluruh *system* perlu dilakukan secara *software* , agar alat bekerja sesuai logika dari perencanaan *system* yang telah direncanakan atau yang dibutuhkan.



Gambar 4. 14 Tampilan HMI GUI

Gambar tersebut merupakan tampilan dari HMI GUI terdapat beberapa fitur pertama merupakan menghubungkan HMI dengan PLC dengan menuliskan IP dari PLC. Kemudian dapat dilakukan kontrol kecepatan motor atau kontrol frekuensi gelombang air. Kemudian terdapat kontrol stop atau start untuk menjalankan atau menghentikan dari motor dan pompa. Terdapat *monitoring* kecepatan motor dan frekuensi gelombang air. Selain itu terdapat *monitoring* untuk melihat status dari motor dan pompa air.



Gambar 4. 15 Panel Kontrol Dan Tangki Simulator Gelombang Air

Pada Gambar ini merupakan hasil dari perkaitan dari kesluruhan alat. Perakitan ini mencakup mekanik dan elektrik. Perakitan mekanik dilakukan memasang sensor, aktuator, dan alat elektrik lainnya di tempat yang aman dan terpasang dengan kuat. Perakitan elektrik dilakukan dengan menghubungkan alat sesuai gambar diagram sistem menggunakan kabel.

Pada Gambar tersebut terlihat bahwa kinerja alat sudah sesuai bahwa sistem kontrol telah bekerja untuk mengontrol pompa dan motor untuk menjalankan kinerja untuk menghasilkan gelombang. Kontrol tersebut dilakukan melalui gambar HMI GUI.

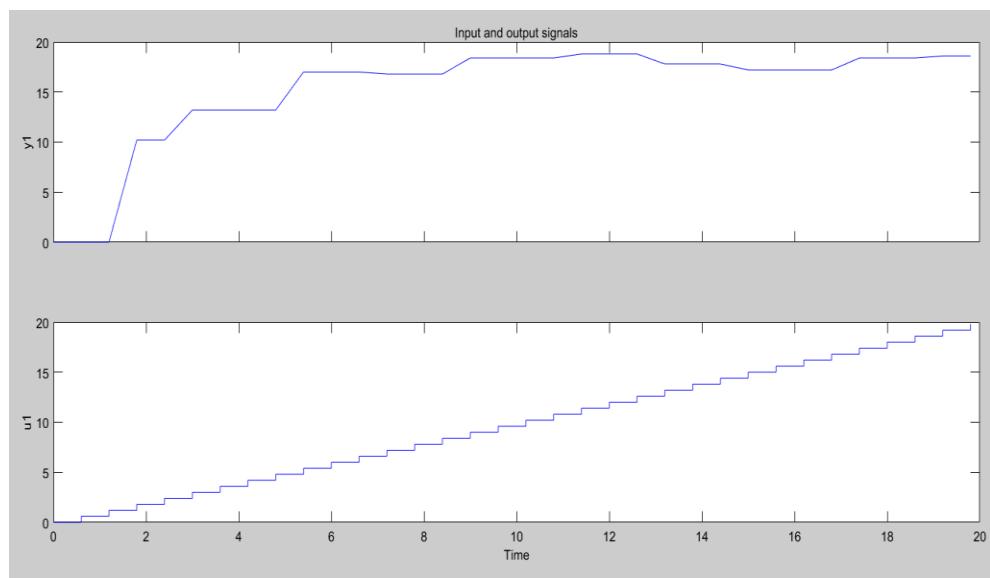
4.2 Implementasi Metode PID

Pada sub-bab ini dilakukan implementasi metode PID yang akan diimplementasikan ke alat pembangkit gelombang air. Untuk itu dibutuhkan beberapa

perangkat lunak untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan dalam membangun kontrol PID. Kemudian melihat bagaimana hasil dari implementasi PID tersebut pada alat pembangkit gelombang air.

4.2.1 Fungsi Transfer sistem

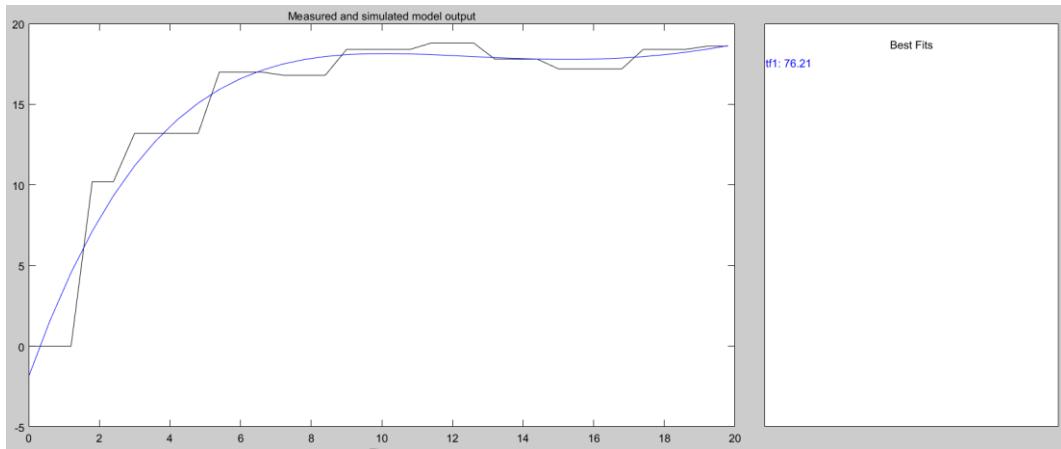
Pada tahap pencarian fungsi transfer function, menggunakan pendekatan logging data dari RPM motor melalui *rotary encoder*. Proses ini melibatkan logging data dengan sampling setiap untuk mendapatkan data RPM dari awal hingga sistem mencapai kondisi stabil.



Gambar 4. 16 Grafik *Input – Output*

Pada gambar diatas merupakan data perubahan frekuensi tegangan terhadap putaran motor 3 fasa. Data tersebut diambil setelah 0 detik nilai di *input* kan ke *controller*. Nilai perubahan frekuensi gelombang didapat pada *input* frekuensi tegangan motor 7Hz Pada grafik tersebut putaran berbanding lurus dan linear terhadap frekuensi tegangan. Data akan dilakukan estimasi pencarian transfer fungsi ke fasilitas dari perangkat lunak matlab yaitu *sistem identification*.

Grafik ini membandingkan data aktual (pengukuran riil) dengan *output* model yang dihasilkan melalui proses identifikasi sistem. Garis hitam berundak-undak mewakili data pengukuran riil dari suatu sistem, yang menunjukkan respons bertahap atau diskrit. Garis biru yang mulus adalah *output* model yang disimulasikan, yang merupakan representasi matematis dari sistem yang dibuat melalui identifikasi sistem.



Gambar 4. 17 Grafik Hasil *Fitting System Identification*

Analisis menunjukkan bahwa *output* model yang disimulasikan (garis biru) berhasil menangkap tren umum dari data pengukuran riil (garis hitam). Selama fase *transien* (sekitar 0 hingga 10 detik), model secara akurat memprediksi bentuk respons sistem secara keseluruhan, meskipun tidak mengikuti setiap langkah diskrit dari data riil. Pada kondisi mapan (sekitar 10 detik dan seterusnya), model juga konvergen ke nilai akhir yang sama dengan data riil. Nilai *Best Fits* sebesar 76.21% yang tercantum di samping grafik mengkonfirmasi bahwa model ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mereplikasi perilaku sistem yang sebenarnya.



Gambar 4. 18 Hasil *System Identification*

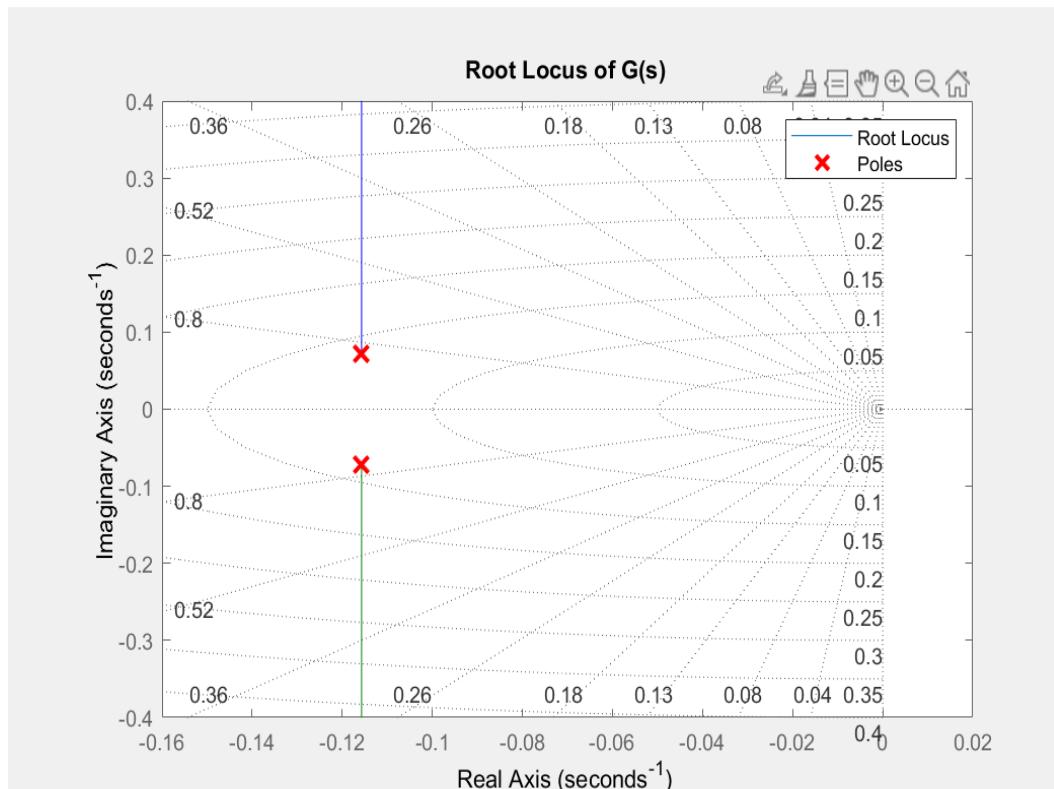
Gambar ini adalah ringkasan hasil dari proses identifikasi sistem, di mana sebuah model matematis dikembangkan untuk merepresentasikan respons dinamis suatu sistem. Model yang dihasilkan adalah fungsi alih (*transfer function*) kontinu

Berdasarkan fungsi alih ini, sistem diidentifikasi sebagai sistem orde kedua karena adanya suku pada penyebut. Selain itu, model ini mencakup waktu tunda (*time delay*) sebesar 2 detik, yang ditunjukkan oleh suku eksponensial

Analisis lebih lanjut dari gambar menunjukkan bahwa proses identifikasi menggunakan data masukan u_1 dan data keluaran y_1 untuk membangun model. Nilai 0.03058 pada pembilang adalah gain sistem. Informasi pada Diary and Notes memberikan detail tentang proses estimasi, di mana parameter seperti jumlah pole ($np=2$) dan zero ($nz=0$) dipilih untuk menghasilkan model. Model matematis ini sangat berguna untuk simulasi dan perancangan pengontrol, karena secara akurat menggambarkan bagaimana sistem akan bereaksi terhadap berbagai *input*, termasuk adanya waktu tunda.

4.2.2 Analisis stabilitas sistem

Pada Gambar diatas merupakan hasil dari pengujian stabilitas sistem melalui metode *root locus*. Dari grafik tersebut bahwa respon sistem berada. Dengan menganalisis *Root locus*, kita dapat menyimpulkan kestabilan sistem. karena semua cabang *Root locus* berada di sisi kiri sumbu imajiner,

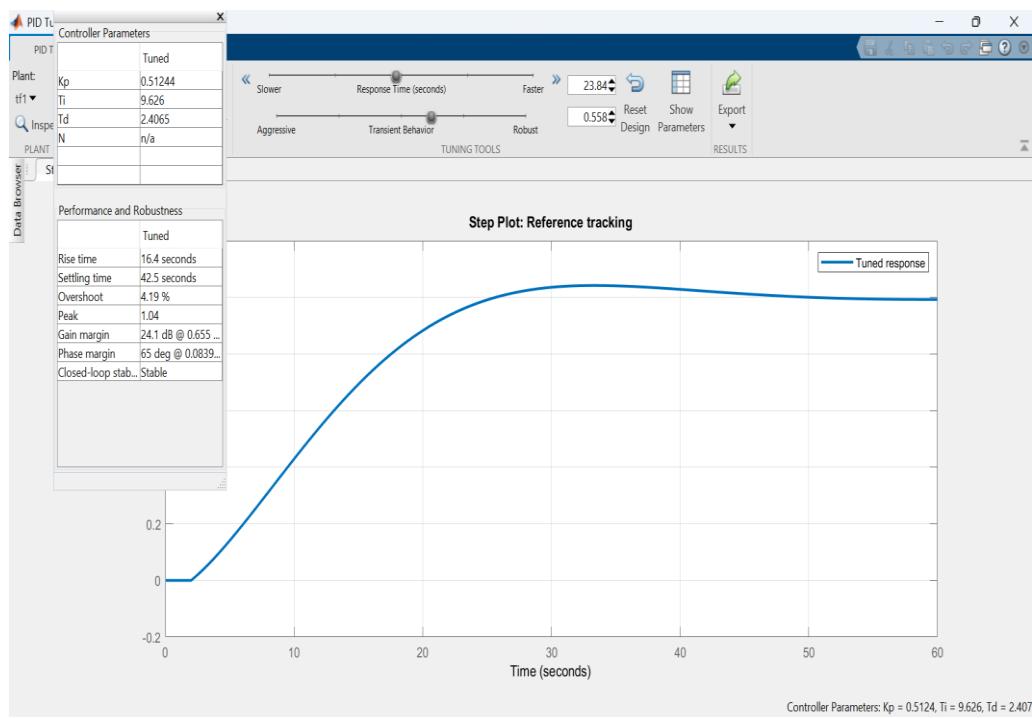


Gambar 4. 19 Root locus

Sistem ini sepenuhnya stabil untuk semua nilai gain K positif. Selain itu, plot ini juga memberikan wawasan tentang respon waktu sistem. ketika gain K meningkat, akar-akar bergerak menjauhi sumbu real, menunjukkan potensi untuk frekuensi yang lebih tinggi. Dengan demikian, *Root locus* tidak hanya mengonfirmasi kestabilan tetapi juga membantu dalam memprediksi dan menganalisis performa transien sistem (seperti *overshoot* atau waktu penetapan) berdasarkan lokasi akar-akar loop tertutup pada gain K tertentu.

4.2.3 Tuning PID

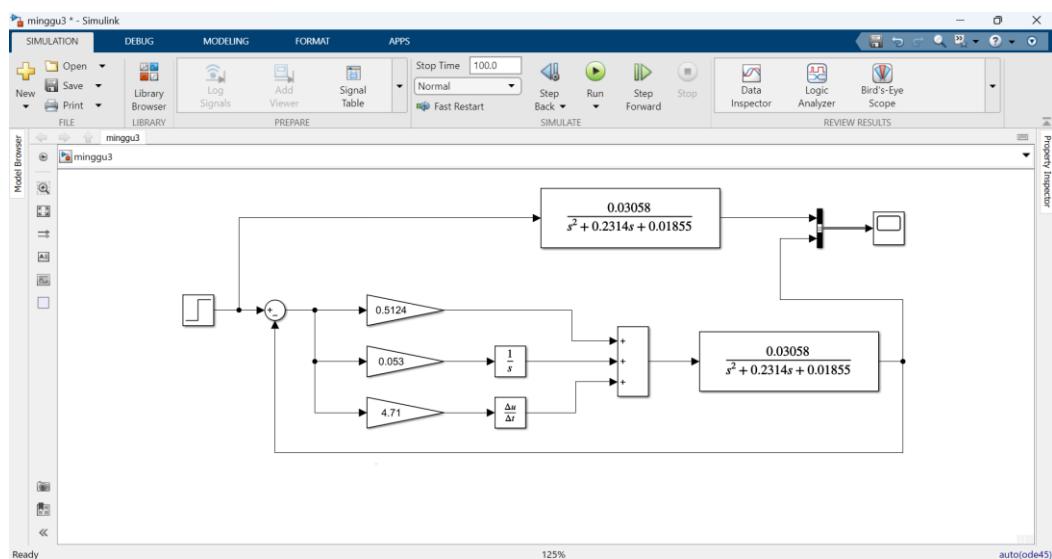
Tuning PID merupakan proses menentukan nilai Pb (*Proportional Band*) , Ti (*Time Intgreal*), Dan Td (*Time Derivative*). Dalam hal ini dilakukan *tuning* melalui PID tuner matlab yang dilakukan dengan metode trial and error dengan mevariasi response time dan transient behavior. *Tuning* tersebut dilakukan berdasarkan fungsi transfer yang sudah kita dapatkan sebelumnya. Untuk mendapatkan nilai tersebut dilakukan berdasarkan karakteristik pengendalian yang dibutuhkan pada sistem.



Gambar 4. 20 Hasil Tuning PID

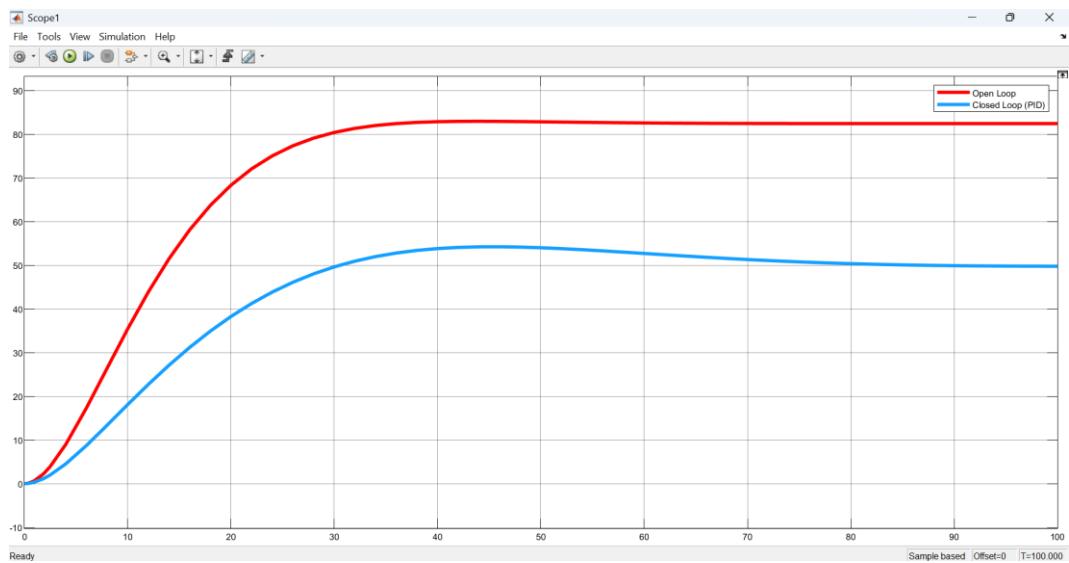
Pada gambar merupakan hasil dari PID Tuner matlab untuk mencari karakteristik kontrol PID yang dibutuhkan. melihat dari grafik pada gambar terlihat bahwa sistem memiliki *rise time* yang cepat yaitu mendekati dibawah 16.4

mengalami masih mengalami *overshoot* 4.19% dan mengalami peredaman nilai hingga *settling time* di waktu 42.05s. Dengan Kp 0.5124 merupakan karakteristik kontrol yang tidak *agresive* dikarenakan setiap nilai *error* hanya memberikan perubahan nilai *output* sebesar 0.512. Nilai Ti 9.6 s merupakan nilai *Integral time* yaitu respon cepat terhadap *error* dalam hal ini membantu mempercepat nilai *rise time* dan *steady state*. Hal ini dibutuhkan juga untuk merespon perubahan nilai (*error*) akibat gangguan dari eksternal. dalam hal ini sesuai sangat dibutuhkan dalam sistem ini dikarenakan pada saat *setpoint* yang kecil , pada saat perubahan beban yang dinamis pada motor yang disebabkan oleh beban mekanis alat simulasi gelombang. Nilai Td 2.4s merupakan nilai *derivatif time* yaitu prediksi nilai *error* ketika sistem pada posisi *settling time* hal dengan nilai Td tersebut memiliki nilai prediksi *error* yang cepat yaitu hanya 2.4s hal ini dibutuhkan untuk merespon nilai *error* akibat dari gelombang air dan osilasi dari mekanis pada alat pembangkit gelombang air.



Gambar 4. 21 Simulink Perbandingan respon sistem dengan PID dan Tanpa PID.

Pada Gambar diatas merupakan pengujian sistem melalui simulink melalui nilai transfer fungsi *open loop* yang telah didapat melalui sistem identifikasi dan dibandingkan dengan *close loop* PID yang nilai Kp , Ki, dan Kd yang telah didapat melalui PID Tuner. Kemudian dilakukan menjalankan simulasi untuk mendapatkan perbedaan grafik dari respon kedua sistem tersebut.



Gambar 4. 22 Respon sistem Simulink

Grafik ini menyajikan perbandingan respons dari sebuah sistem dalam dua konfigurasi: open loop (tanpa pengontrol) dan closed loop (dengan pengontrol PID). Analisis ini menyoroti perbedaan mendasar dalam perilaku kedua sistem tersebut. Garis merah merepresentasikan respons dari sistem open loop, di mana *outputnya* hanya bergantung pada dinamika internal sistem dan *input* yang diberikan, tanpa adanya mekanisme umpan balik untuk mengoreksi kesalahan. Respons ini menunjukkan sistem yang naik secara mulus dan stabil pada nilai akhir sekitar 82.

Sebaliknya, garis biru menunjukkan respons dari sistem closed loop yang menggunakan pengontrol PID (Proportional-Integral-Derivative). Dalam konfigurasi ini, pengontrol secara terus-menerus membandingkan *output* aktual dengan *set point* atau nilai target yang diinginkan. Berdasarkan grafik, *set point* untuk sistem ini adalah sekitar 50. Tugas pengontrol PID adalah untuk menyesuaikan *input* sistem secara aktif agar *outputnya* mencapai dan mempertahankan nilai target ini. Grafik menunjukkan keberhasilan pengontrol dalam mencapai target, meskipun dengan sedikit overshoot sebelum akhirnya stabil.

Secara keseluruhan, perbedaan paling signifikan antara kedua grafik adalah kemampuan sistem closed loop untuk mencapai nilai *output* yang terkontrol dan spesifik (yaitu 50), yang telah diatur sebelumnya. Sebaliknya, sistem open loop

hanya dapat mencapai nilai *output* yang ditentukan oleh karakteristiknya sendiri (yaitu 82). Hal ini membuktikan pentingnya pengontrol PID dan mekanisme umpan balik dalam memberikan presisi dan stabilitas, memungkinkan sistem untuk mencapai target kinerja yang telah ditetapkan.

4.2.4 Implementasi PID Pada PLC Omron CP1E-NA20DR

Setelah Didapatkan Nilai Kp, Ti, dan TD maka dilakukan pemrograman pada PLC sebagai PID *Controller*. Hal ini dilakukan agar dapat menerapkan PID dan menguji hasil *tuning* PID. PLC akan sebagai PID *controller* yang akan mengontrol motor 3 fasa melalui kontrol frekuensi tegangan dengan Variable *Frequency drive* dan timbal balik merupakan dari nilai RPM dari pembacaan sensor *rotary encoder*.



Gambar 4. 23 CX-Programmer PID

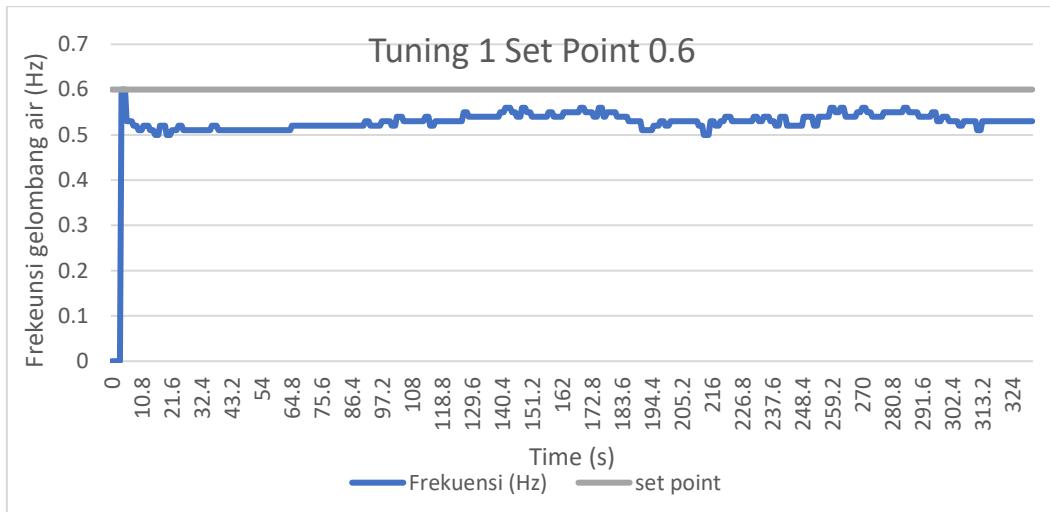
pada gambar tersebut merupakan instruksi PIDAT PLC Omron, Instruksi tersebut merupakan PID auto *tuning*, namun dengan beberapa setingan auto tunint dapat dinonaktifkan. Pada penerapan PID terdapat beberapa parameter yang harus di masukkan atau diatur. Nilai tersebut ialah nilai Pb, Ti , Td , dan *time sampling*. Pada *Tuning* sebelumnya nilai Ti dan Td dapat langsung diimplementasikan yaitu 9.6 s untuk Ti dan 2.4s untuk Td. Namun untuk nilai Pb dan *Time sampling* dibutuhkan penyesuaian. Pada nilai Pb merupakan nilai hasil dari 100 dibagi dengan nilai Kp. Jika nilai Kp merupakan 0.512 maka untuk nilai Pb ialah 195.5 dengan satuan ialah persen (%).

4.2.5 Pengujian Kontrol PID *Tuning* 1

Setelah mendapatkan nilai Kp, Ti dan Td dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Dilakukan pengambilan frekuensi gelombang setiap 0.6 detik. Pengujian ini dilakukan apakah nilai tersebut dapat di implementasikan langsung atau di evaluasi.

grafik ini menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis abu-abu menunjukkan *set point* yang diatur pada 0.6 Hz dan sudah aktif

sejak detik ke-0. Garis biru adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 10.8 detik. Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendekksi atau tidak memberikan umpan balik kepada pengontrol untuk frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz..



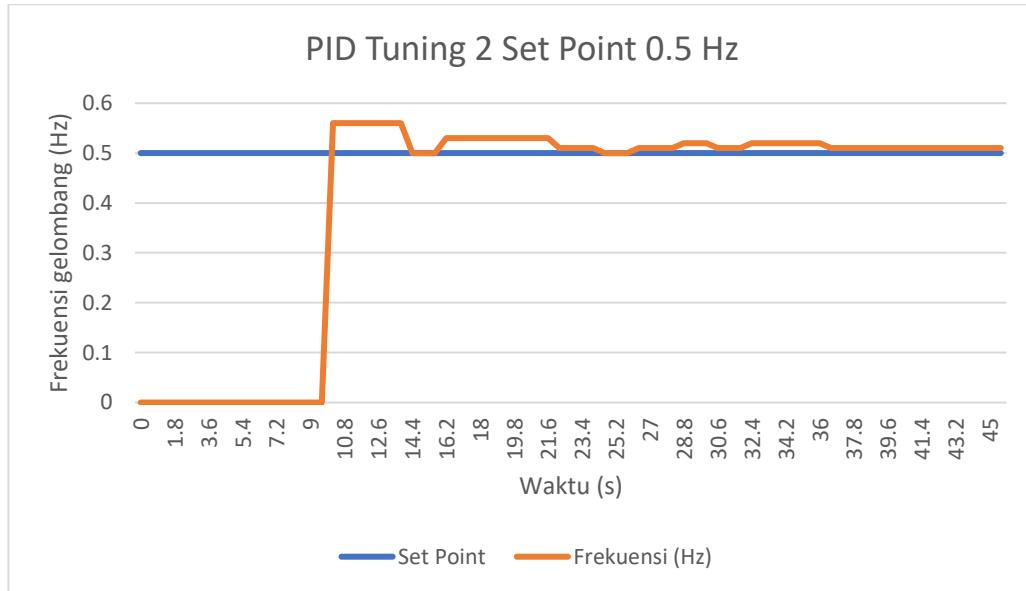
Gambar 4. 24 Grafik Percobaan PID Tuning 1

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Frekuensi melonjak dengan cepat, namun hanya mencapai sekitar 0.52 Hz, yang tetap berada di bawah *set point* 0.6 Hz. Sejak saat itu, frekuensi terus berfluktuasi secara konsisten dan tidak pernah mencapai nilai target. Keterbatasan filter sensor membuat pengontrol kesulitan untuk melakukan penyesuaian yang akurat untuk mendorong frekuensi melewati ambang batas 0.5 Hz dan mendekati 0.6 Hz..

Pada kondisi jangka panjang, frekuensi sistem tampak stabil, namun stabilitas ini berada pada nilai rata-rata sekitar 0.53 Hz. Adanya perbedaan yang konsisten antara frekuensi aktual dan *set point* ini disebut sebagai steady-state error. Ini menunjukkan bahwa sistem tidak mampu menutupi kesenjangan tersebut, dan meskipun respons awalnya cepat, kinerja akhirnya tidak berhasil mencapai target yang telah ditetapkan..

4.2.6 Pengujian Kontrol PID *tuning ke 2* pada *Set point 0.5Hz*

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan setpoint 0.5Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0s$ dan $T_d = 2.1.s$ dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi sebagai parameter yang dikontrol.



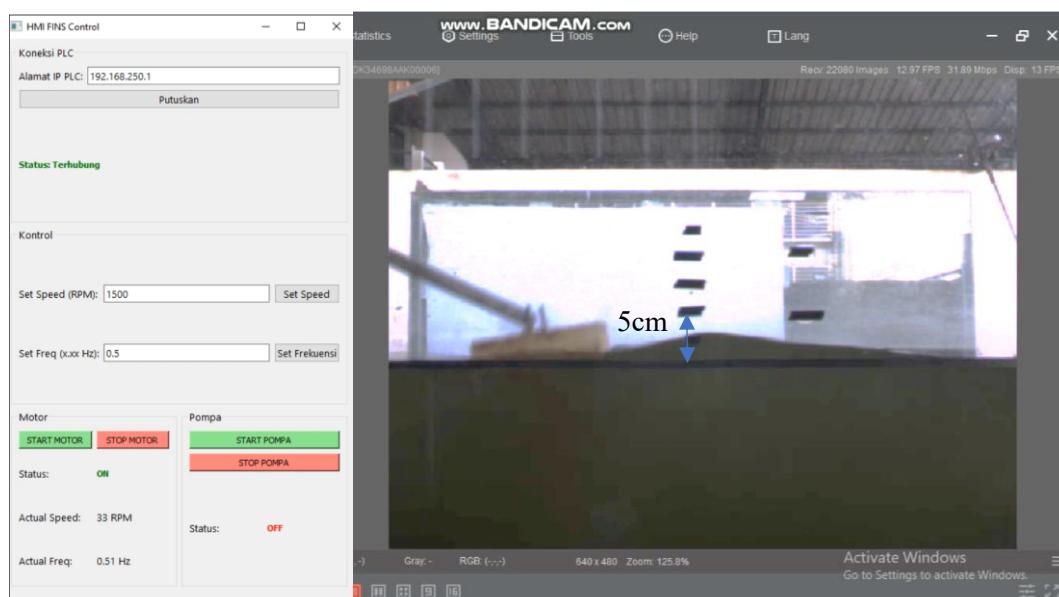
Gambar 4. 25 PID Tuning 2 Set point 0.5 Hz

Grafik ini menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis biru menunjukkan *set point* yang diatur pada 0.5 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis oranye adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 10.8 detik. Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendeteksi atau tidak memberikan umpan balik kepada pengontrol untuk frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz.

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Frekuensi melonjak dengan cepat, mencapai nilai yang sedikit di atas *set point* (sekitar 0.57 Hz). Kondisi ini disebut overshoot, di mana respons sistem untuk sementara melampaui nilai target. Setelah itu, frekuensi berosilasi beberapa kali di sekitar *set point*. Tidak terdapat undershoot

yang signifikan pada grafik ini, karena sistem tidak stabil pada nilai di bawah *set point* untuk waktu yang lama setelah respons awal.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut *settling time*. Berdasarkan grafik, *settling time* sistem ini relatif cepat, di mana respons mulai stabil di sekitar *set point* 0.5 Hz pada sekitar detik ke-25.2. Pada kondisi ini, sistem telah mencapai steady state, yaitu kondisi akhir yang stabil di mana frekuensi berfluktuasi dengan minim di sekitar *set point* 0.5 Hz. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada kendala dari filter, pengontrol mampu bekerja dengan baik untuk mencapai dan mempertahankan target.



Gambar 4. 26 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.5 Hz

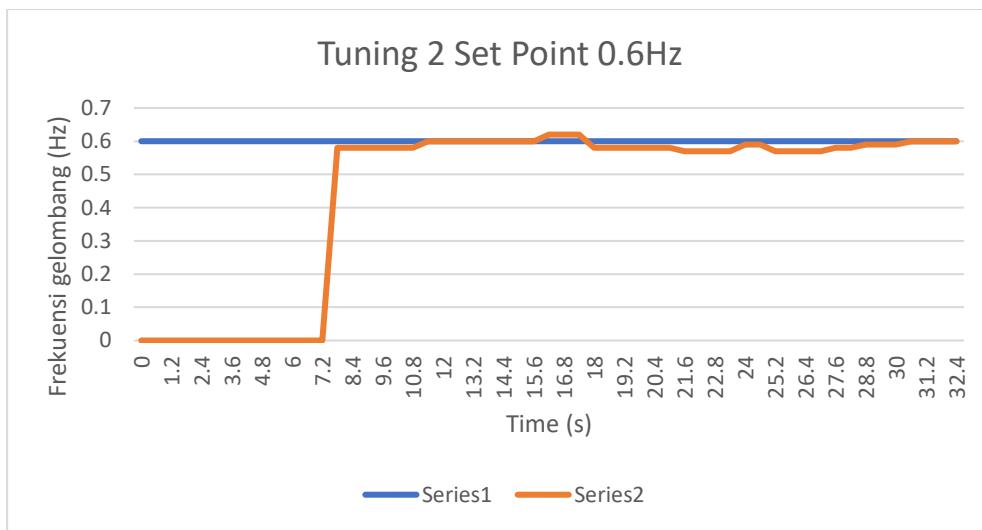
Pada gambar tersebut merupakan hasil tampilan gelombang ketika telah mencapai setpoint. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketinggian yang dihasilkan hampir mencapai ke ujung solasi pertama yang dengan ukuran tinggi 5cm cm dari tinggi permukaan air ketika tenang. Maka ketinggian gelombang ketika frekuensi 0.5cm ialah 5cm.

4.2.7 Pengujian Kontrol PID tuning ke 2 pada Set point 0.6Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan setpoint 0.6Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0s$ dan $T_d = 2.1.s$ dilakukan pengujian pada sistem

secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi sebagai parameter yang dikontrol.

Grafik ini menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis biru menunjukkan *set point* yang diatur pada 0.6 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis merah adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 7.2 detik. Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendeteksi atau tidak memberikan umpan balik kepada pengontrol untuk frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz.

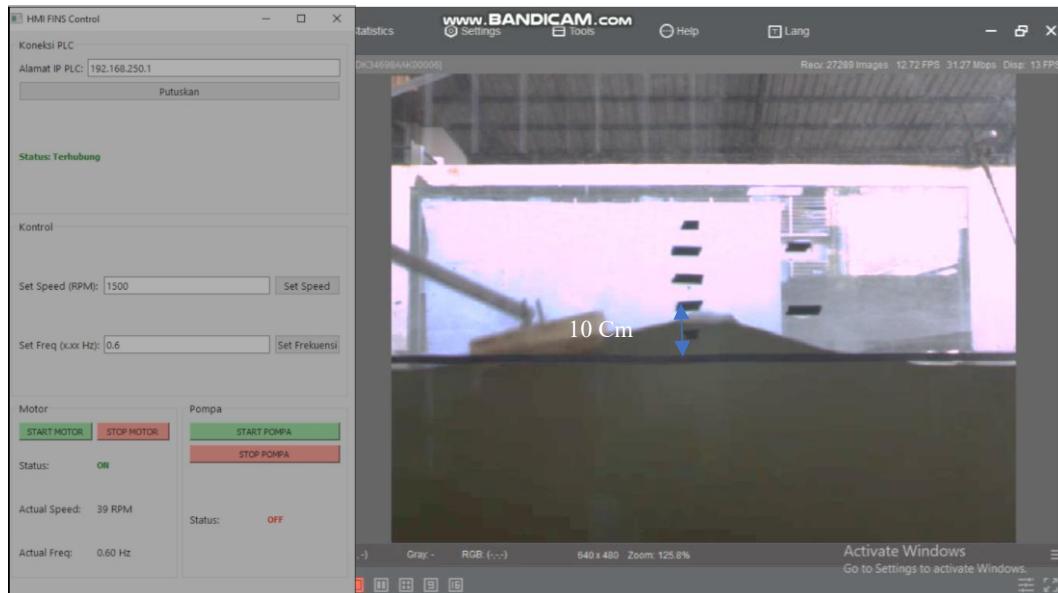


Gambar 4. 27 PID Tuning 2 Set point 0.6 Hz

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Frekuensi melonjak dengan cepat, mencapai nilai yang sangat dekat dengan *set point* 0.6 Hz. Terlihat adanya sedikit overshoot di mana frekuensi sempat sedikit melampaui 0.6 Hz (sekitar 0.62 Hz pada detik ke-16.2), sebelum kemudian kembali mendekati nilai target. Tidak terdapat undershoot yang signifikan pada grafik ini, karena sistem tidak stabil pada nilai di bawah *set point* untuk waktu yang lama.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut *settling time*. Berdasarkan grafik, *settling time* sistem ini relatif cepat, di mana respons mulai stabil di sekitar *set point* 0.6 Hz pada sekitar detik ke-

12.6. Pada kondisi ini, sistem telah mencapai steady state, yaitu kondisi akhir yang stabil di mana frekuensi berfluktuasi dengan minim di sekitar *set point* 0.6 Hz. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada kendala dari filter, pengontrol mampu bekerja dengan baik untuk mencapai dan mempertahankan target.



Gambar 4. 28 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.6 Hz

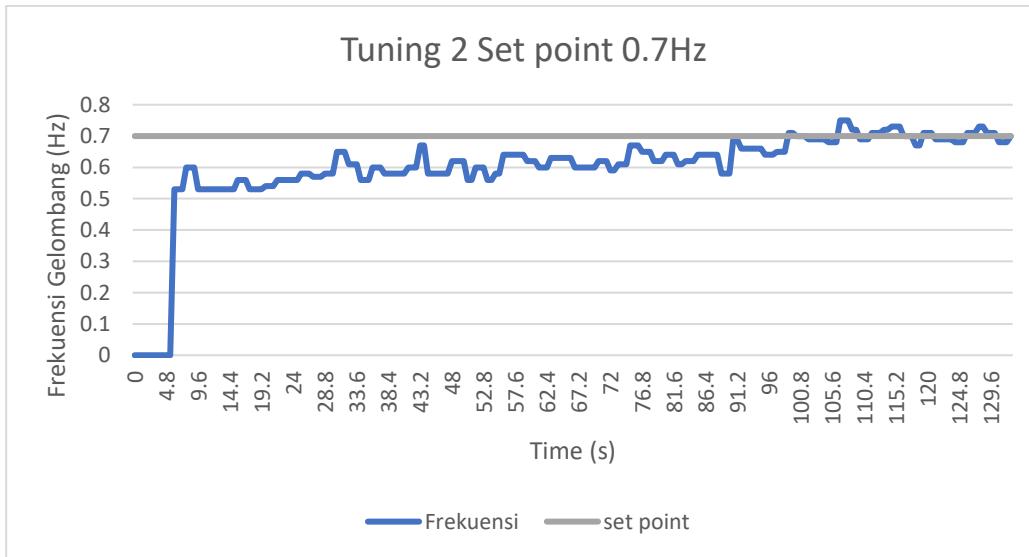
Pada gambar tersebut merupakan hasil tampilan gelombang ketika telah mencapai *setpoint*. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketinggian air yang dihasilkan hampir kurang lebih setengah ke atas solusi pertama ke solusi kedua yang dengan ukuran tinggi 10 cm dari tinggi permukaan air ketika tenang. Maka ketinggian gelombang ketika frekuensi 0.5Hz ialah kurang lebih 7.5cm

4.2.8 Pengujian Kontrol PID *tuning* ke 2 pada *Set point* 0.7Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan setpoint 0.7 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0s$ dan $T_d = 2.1.s$ dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi sebagai parameter yang dikontrol.

grafik ini menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis hijau menunjukkan *set point* yang diatur pada 0.7 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis biru adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 5.4 detik. Hal ini

disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendeteksi atau tidak memberikan umpan balik kepada pengontrol untuk frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz.



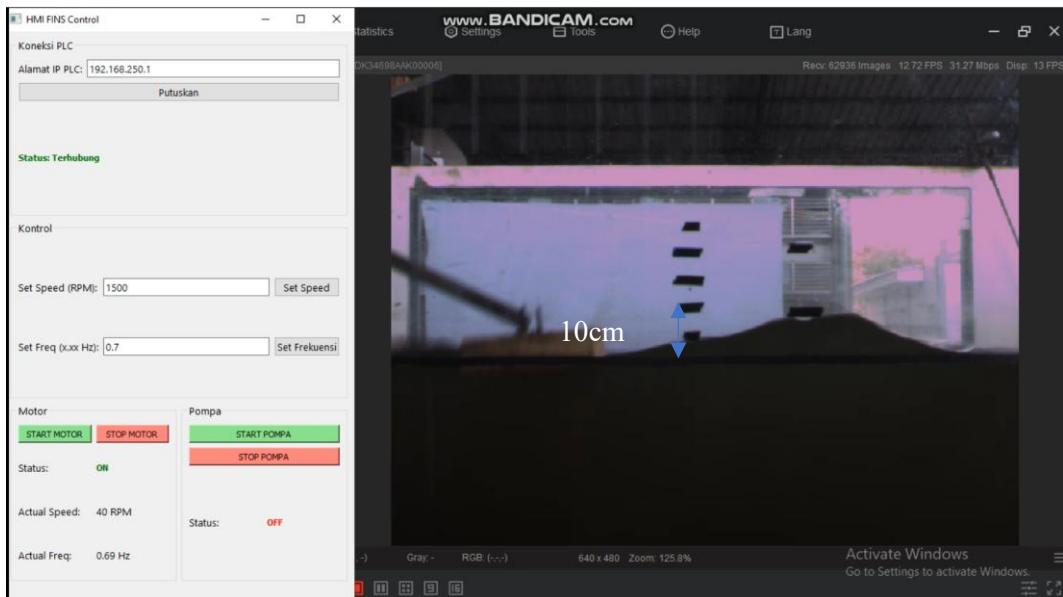
Gambar 4. 29 PID Tuning 2 Set point 0.7 Hz

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Frekuensi melonjak dengan cepat, namun berfluktuasi secara konsisten di bawah *set point* 0.7 Hz selama periode yang sangat panjang. Kondisi ini dapat dikategorikan sebagai undershoot, di mana respons sistem tidak mencapai nilai target dan tetap berada di bawahnya. Meskipun frekuensi menunjukkan tren peningkatan yang sangat lambat, sistem berada dalam keadaan undershoot yang terus-menerus hingga sekitar 100 detik.

Pada bagian akhir grafik, yaitu setelah sekitar 100 detik, frekuensi aktual akhirnya mencapai dan mulai berinteraksi dengan *set point*. Pada titik ini, frekuensi menunjukkan overshoot, yaitu kondisi di mana respons sistem untuk sementara melampaui nilai target. Terlihat adanya lonjakan di atas 0.7 Hz pada sekitar detik ke-108, sebelum kemudian kembali mendekati nilai target. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengontrol mulai dapat mengendalikan frekuensi di sekitar nilai yang diinginkan.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut settling *time*. Berdasarkan grafik, settling *time* sistem ini sangat

panjang, yaitu sekitar 100 detik, di mana setelah itu respons mulai stabil di sekitar 0.7 Hz. Pada kondisi ini, sistem telah mencapai steady state, yaitu kondisi akhir yang stabil di mana frekuensi berfluktuasi di sekitar *set point* 0.7 Hz...



Gambar 4. 30 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.7 Hz

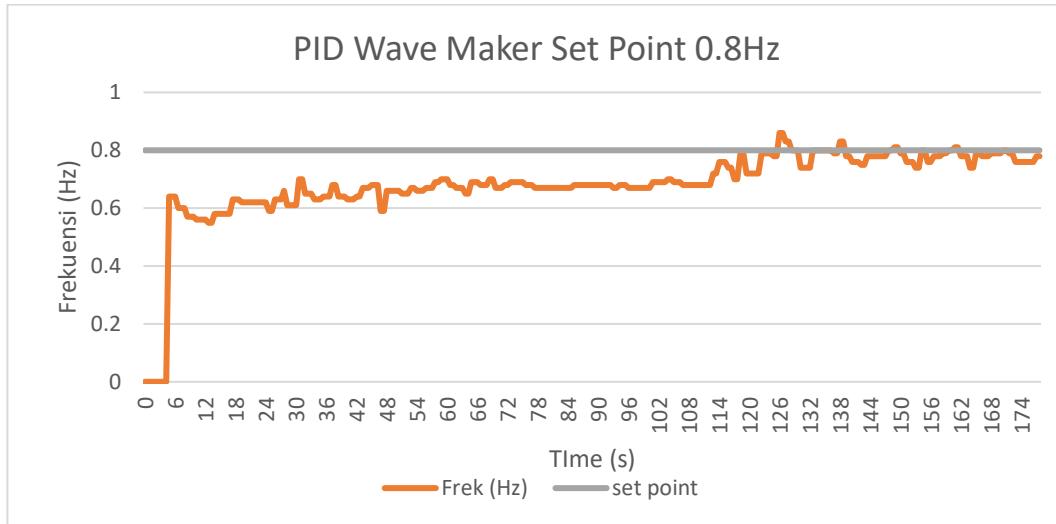
Pada gambar tersebut merupakan hasil tampilan gelombang ketika telah mencapai setpoint. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketinggian air) yang dihasilkan hampir mencapai ke ujung solasi ke 2 atau $\frac{3}{4}$ dari solasi pertama ke solasi ke 2 yang dengan ukuran tinggi 10 cm dari tinggi permukaan air ketika tenang. Maka ketinggian gelombang ketika frekuensi 0.7cm ialah 8,8cm

4.2.9 Pengujian Kontrol PID *tuning* ke 2 pada *Set point* 0.8Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan setpoint 0.7 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0$ s dan $T_d = 2.1$.s dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi sebagai parameter yang dikontrol.

Grafik pada gambar 4.31 menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis hijau menunjukkan *set point* yang diatur pada 0.8 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis merah adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 5.4 detik. Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendekksi atau tidak

memberikan umpan balik kepada pengontrol untuk frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz



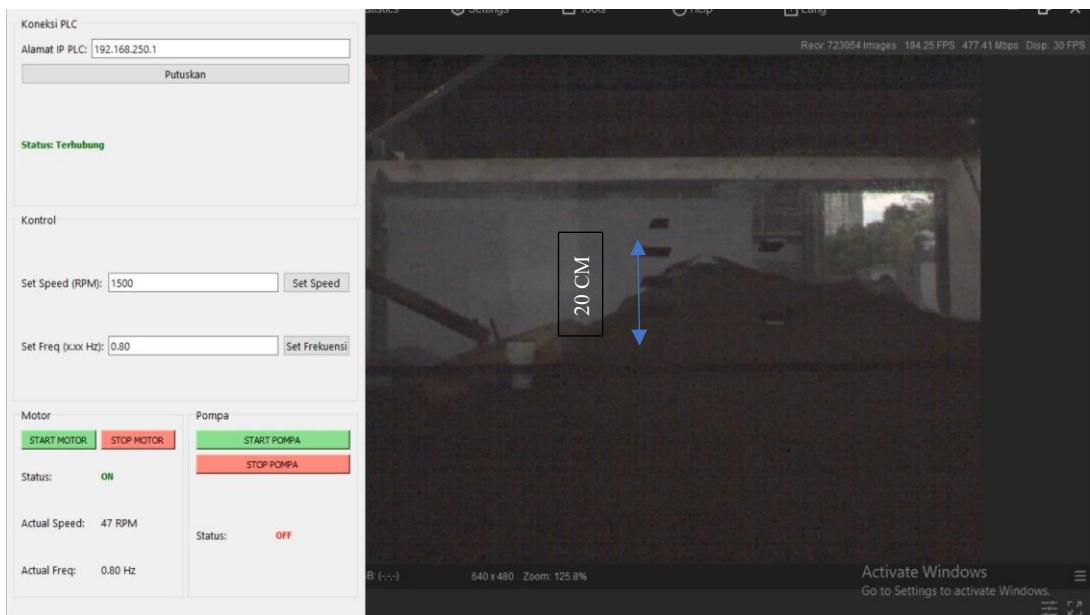
Gambar 4. 31 Grafik Hasil Pengujian PID Tuning 2 pada *set point* 0.8 Hz

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Frekuensi melonjak dengan cepat, namun berfluktuasi secara konsisten di bawah *set point* 0.8 Hz selama periode yang sangat panjang. Kondisi ini dapat dikategorikan sebagai undershoot, di mana respons sistem tidak mencapai nilai target dan tetap berada di bawahnya. Meskipun frekuensi menunjukkan tren peningkatan yang sangat lambat, sistem berada dalam keadaan undershoot yang terus-menerus hingga sekitar 118 detik.

Pada bagian akhir grafik, yaitu setelah sekitar 118 detik, frekuensi aktual akhirnya mencapai dan mulai berinteraksi dengan *set point*. Pada titik ini, frekuensi menunjukkan overshoot, yaitu kondisi di mana respons sistem untuk sementara melampaui nilai target. Terlihat adanya lonjakan di atas 0.8 Hz pada sekitar detik ke-129, sebelum kemudian kembali mendekati nilai target. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengontrol mulai dapat mengendalikan frekuensi di sekitar nilai yang diinginkan.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut settling time. Berdasarkan grafik, settling time sistem ini sangat panjang, yaitu sekitar 118 detik, di mana setelah itu respons mulai stabil di sekitar

0.8 Hz. Pada kondisi ini, sistem telah mencapai steady state, yaitu kondisi akhir yang stabil di mana frekuensi berfluktuasi di sekitar *set point* 0.8 Hz.



Gambar 4. 32 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.8 Hz

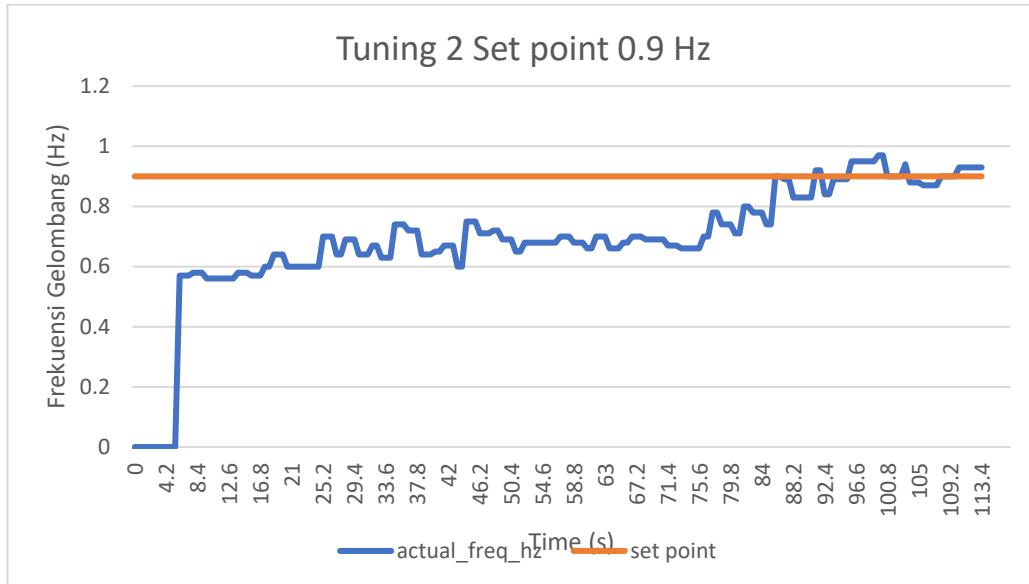
Pada gambar tersebut merupakan hasil tampilan gelombang ketika telah mencapai *setpoint*. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketinggian air yang dihasilkan hampir mencapai ke ujung solasi ke 4 atau $\frac{3}{4}$ dari solasi pertama ke solasi kedua yang dengan ukuran tinggi 20 cm dari tinggi permukaan air ketika tenang. Maka ketinggian gelombang ketika frekuensi 0.7cm ialah 18.8cm

4.2.10 Pengujian Kontrol PID pada *Set point* 0.9 Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan setpoint 0.9 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0s$ dan $T_d = 2.1.s$ dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi sebagai parameter yang dikontrol.

grafik pada gambar 4.33 menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis oranye menunjukkan *set point* yang diatur pada 0.9 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis biru adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 4.2 detik. Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendeteksi atau tidak memberikan umpan balik kepada pengontrol untuk frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh

karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz.



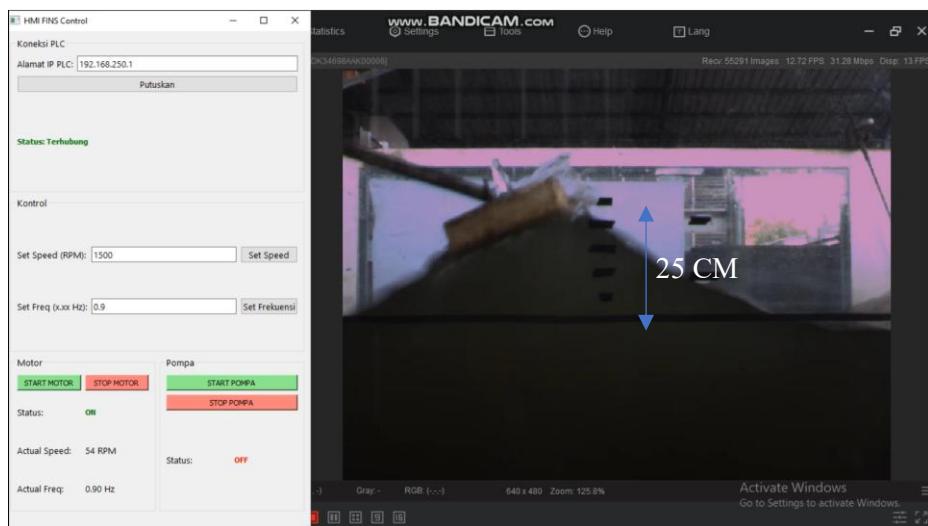
Gambar 4. 33 Grafik Hasil Pengujian PID *Tuning 2* pada *set point* 0.9 Hz

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Frekuensi melonjak dengan cepat, namun berfluktuasi secara konsisten di bawah *set point* 0.9 Hz selama periode yang sangat panjang. Kondisi ini dapat dikategorikan sebagai undershoot, di mana respons sistem tidak mencapai nilai target dan tetap berada di bawahnya. Meskipun frekuensi menunjukkan tren peningkatan yang sangat lambat, sistem berada dalam keadaan undershoot yang terus-menerus hingga sekitar 88 detik.

Pada bagian akhir grafik, yaitu setelah sekitar 88 detik, frekuensi aktual akhirnya mencapai dan mulai berinteraksi dengan *set point*. Pada titik ini, frekuensi menunjukkan overshoot, yaitu kondisi di mana respons sistem untuk sementara melampaui nilai target. Terlihat beberapa lonjakan di atas 0.9 Hz, seperti pada sekitar detik ke-96 dan 100, sebelum kemudian kembali mendekati nilai target. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengontrol mulai dapat mengendalikan frekuensi di sekitar nilai yang diinginkan.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut *settling time*. Berdasarkan grafik, *settling time* sistem ini sangat

panjang, yaitu sekitar 88 detik, di mana setelah itu respons mulai stabil di sekitar 0.9 Hz. Pada kondisi ini, sistem telah mencapai steady state, yaitu kondisi akhir yang stabil di mana frekuensi berfluktuasi di sekitar *set point* 0.9 Hz.



Gambar 4. 34 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.9 Hz

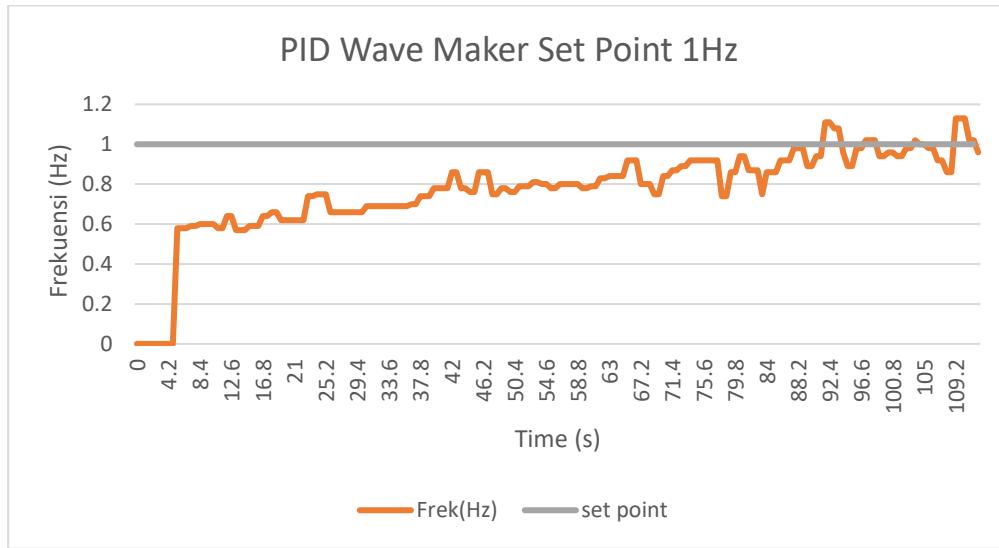
Pada gambar tersebut merupakan hasil tampilan gelombang ketika telah mencapai *setpoint*. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketinggian air yang dihasilkan mencapai $\frac{1}{2}$ dari solasi keempat ke solasi kelima yang dengan ukuran tinggi 25 cm dari tinggi permukaan air ketika tenang. Maka ketinggian gelombang ketika frekuensi 0.7cm ialah 22.5cm

4.2.11 Pengujian Kontrol PID pada *Set point* 1.0 Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan *Set point* 1.0 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0s$ dan $T_d = 2.1.s$ dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi sebagai parameter yang dikontrol.

grafik pada gambar 4.35 menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis hijau menunjukkan *set point* yang diatur pada 1 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis merah adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 4.2 detik. Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendeteksi atau tidak memberikan umpan balik kepada pengontrol untuk frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh

karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz.

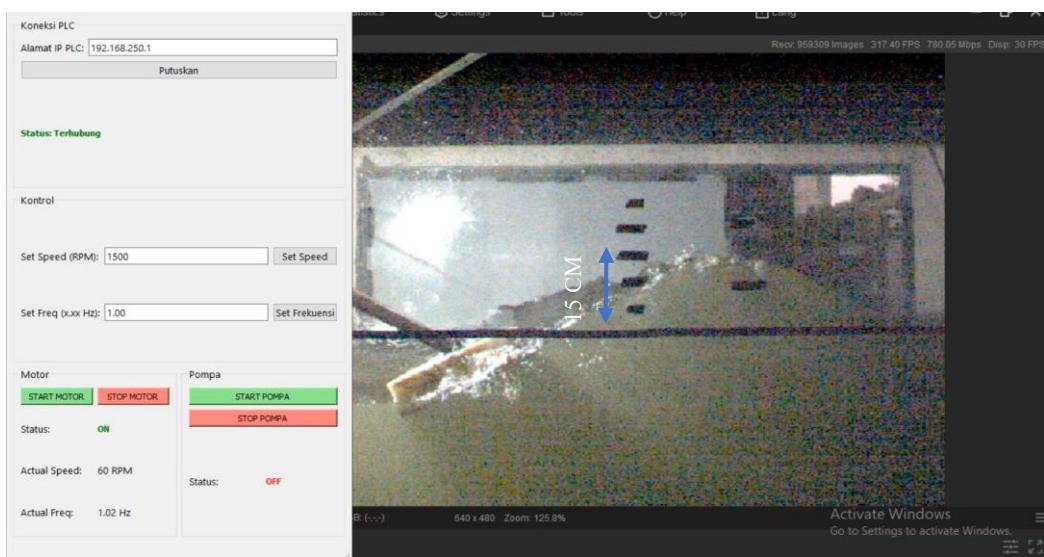


Gambar 4. 35 Pengujian PID Tuning 2 Set point 1.0 Hz

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Frekuensi melonjak dengan cepat, namun berfluktuasi secara konsisten di bawah *set point* 1 Hz selama periode yang sangat panjang. Kondisi ini dapat dikategorikan sebagai undershoot, di mana respons sistem tidak mencapai nilai target dan tetap berada di bawahnya. Meskipun frekuensi menunjukkan tren peningkatan yang sangat lambat, sistem berada dalam keadaan undershoot yang terus-menerus hingga sekitar 90 detik.

Pada bagian akhir grafik, yaitu setelah sekitar 90 detik, frekuensi aktual akhirnya mencapai dan mulai berinteraksi dengan *set point*. Pada titik ini, frekuensi menunjukkan overshoot, yaitu kondisi di mana respons sistem untuk sementara melampaui nilai target. Terlihat beberapa lonjakan di atas 1 Hz sebelum kemudian kembali mendekati nilai target. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengontrol mulai dapat mengendalikan frekuensi di sekitar nilai yang diinginkan.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut *settling time*. Berdasarkan grafik, *settling time* sistem ini sangat panjang, yaitu sekitar 90 detik, di mana setelah itu respons mulai stabil di sekitar 1 Hz. Pada kondisi ini, sistem telah mencapai steady state, yaitu kondisi akhir yang stabil di mana frekuensi berfluktuasi di sekitar *set point* 1 Hz



Gambar 4. 36 Hasil Gelombang Ketika frekuensi 0.1 Hz

Pada gambar tersebut merupakan hasil tampilan gelombang ketika telah mencapai *setpoint*. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketinggian yang dihasilkan mencapai ke ujung isolasi ke empat yang dengan ukuran tinggi 20 cm dari tinggi permukaan air ketika tenang.

4.3 Pengujian Sistem Kontrol PID Dengan Gangguan

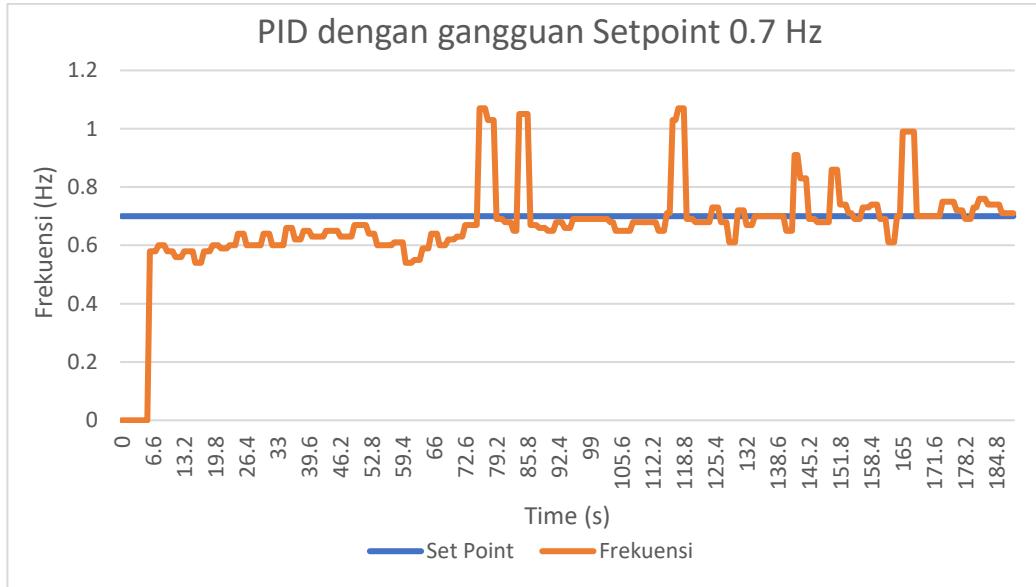
Pengujian sistem kontrol PID dengan gangguan merupakan pengujian yang dilakukan dengan memberi gangguan secara sengaja atau tidak sengaja. Pada pengujian ini yang dilakukan ialah pengujian yang tidak disengaja yang merupakan gangguan gelombang balik. Pengujian ini sangat perlu dilakukan untuk mengetahui bagaimana sistem dapat mengatasi gangguan tersebut untuk mencapai *set point*

4.3.1 Pengujian Kontrol PID pada *Set point* 0.7 Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan *Set point* 0.7 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0\text{s}$ dan $T_d = 2.1\text{s}$ dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi terhadap gangguan yang diterima.

Grafik ini menunjukkan respons frekuensi gelombang dari suatu sistem yang menghadapi gangguan. Garis biru horizontal adalah *set point* pada 0.7 Hz, sedangkan garis merah menampilkan frekuensi aktual (Frekuensi) dari sistem. Pada awalnya, dari 0 hingga sekitar 4.8 detik, frekuensi aktual berada di 0 Hz, sesuai

dengan *set point*. Sekitar detik ke-4.8, *set point* dinaikkan ke 0.7 Hz. Frekuensi aktual merespons dengan cepat, melonjak ke sekitar 0.6 Hz, namun tidak mencapai target. Sejak saat itu, frekuensi berfluktuasi di bawah *set point* hingga sekitar detik ke-72.



Gambar 4. 37 Pengujian PID dengan gangguan dengan *set point* 0.7

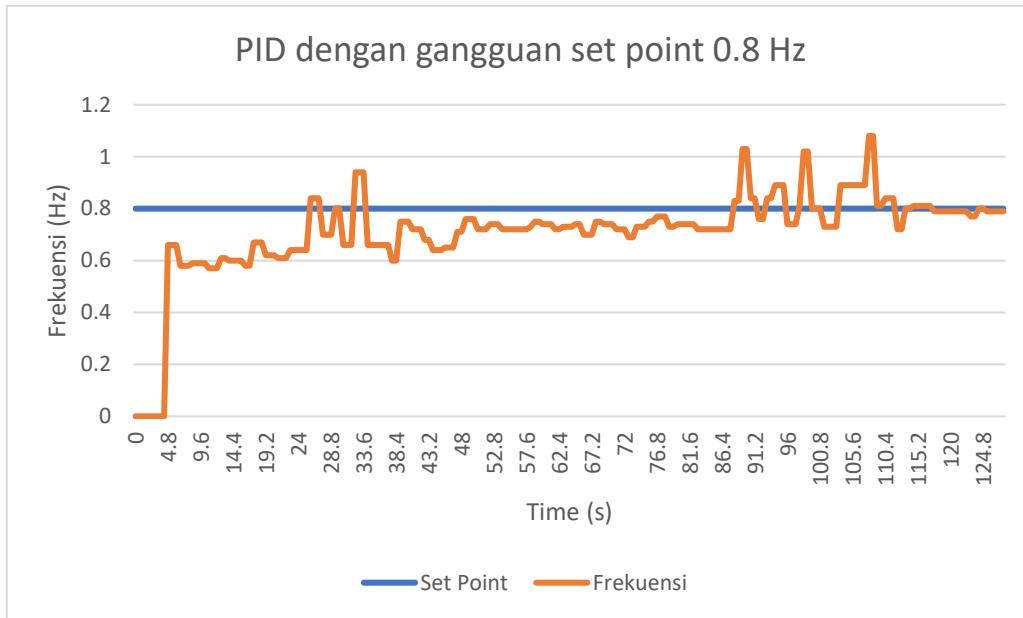
Sekitar detik ke-72, sistem mulai mengalami gangguan, yang menyebabkan frekuensi aktual melonjak tajam, mencapai puncaknya di atas 1 Hz. Meskipun sistem berupaya untuk mengembalikan frekuensi ke *set point* 0.7 Hz, gangguan serupa terjadi berulang kali, menyebabkan lonjakan frekuensi yang signifikan. Selama periode ini, frekuensi sistem secara terus-menerus terganggu, dan responsnya didominasi oleh lonjakan-lonjakan tajam yang tidak terkendali.

Di antara gangguan-gangguan tersebut, sistem menunjukkan upaya untuk menstabilkan frekuensi di sekitar *set point* 0.7 Hz. Meskipun responsnya tidak sempurna, sistem memiliki kemampuan untuk kembali dan mempertahankan frekuensi target dalam periode-periode singkat yang bebas dari gangguan. Pada akhir grafik, setelah gangguan besar terakhir, frekuensi berhasil stabil dan berfluktuasi di sekitar nilai *set point* 0.7 Hz, menunjukkan bahwa sistem dapat mengoreksi diri dan kembali ke frekuensi target. Pengujian

4.3.2 Pengujian Kontrol PID pada *Set point* 0.8 Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol

alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan *Set point* 0.8 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0$ s dan $T_d = 2.1$.s dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi terhadap gangguan yang diterima.



Gambar 4. 38 Pengujian PID dengan gangguan dengan *set point* 0.8

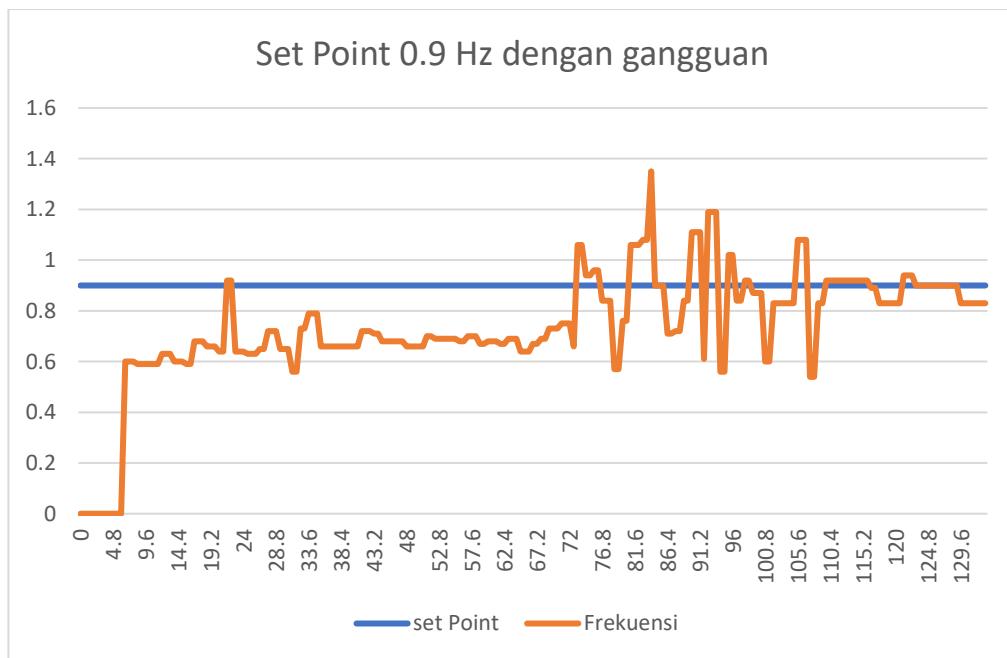
Gambar ini menunjukkan respons frekuensi dari sebuah sistem yang menghadapi gangguan (disturbance), dengan *set point* yang diatur pada 0.8 Hz. Garis biru menunjukkan *Set point* yang konstan, sedangkan garis merah menunjukkan Frekuensi aktual sistem. Pada awalnya, dari 0 hingga sekitar 4.8 detik, frekuensi aktual berada di 0 Hz, sesuai dengan kondisi awal. Ketika *set point* berubah menjadi 0.8 Hz, frekuensi aktual merespons dengan cepat, melonjak dan kemudian berfluktuasi di sekitar nilai yang lebih rendah dari target, yaitu sekitar 0.6 Hz.

Sejak sekitar detik ke-24, sistem mulai menunjukkan respons yang lebih fluktuatif yang menandakan adanya gangguan. Terlihat beberapa lonjakan frekuensi yang signifikan, seperti pada sekitar detik ke-28.8 dan 33.6, di mana frekuensi sempat melewati *set point* 0.8 Hz. Namun, setelah lonjakan-lonjakan tersebut, sistem berupaya kembali menstabilkan frekuensi di bawah *set point*. Gangguan-gangguan kecil terus terjadi, menyebabkan frekuensi aktual terus berfluktuasi.

Pada bagian akhir grafik, terjadi gangguan yang lebih intens dan frekuensi melonjak tajam, mencapai puncaknya di atas 1.0 Hz pada sekitar detik ke-105.6. Meskipun demikian, setelah gangguan besar ini, sistem menunjukkan respons yang signifikan. Frekuensi aktual berhasil kembali dan menstabilkan diri, berfluktuasi dengan ketat di sekitar *Set point* 0.8 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk mengoreksi diri dan kembali ke frekuensi target, bahkan setelah menghadapi gangguan yang cukup besar.

4.3.3 Pengujian Kontrol PID pada *Set point* 0.9 Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan *Set point* 0.9 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0s$ dan $T_d = 2.1.s$ dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi terhadap gangguan yang diterima.



Gambar 4. 39 PID *Set point* 0.9 Hz dengan gangguan

grafik ini menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis biru menunjukkan *set point* yang diatur pada 0.9 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis merah adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 4.8 detik. Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendeteksi frekuensi di bawah 0.5

Hz. Oleh karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Namun, frekuensi berfluktuasi dan secara konsisten berada di bawah *set point* 0.9 Hz hingga sekitar detik ke-72. Kondisi ini dapat dikategorikan sebagai undershoot, di mana respons sistem tidak mencapai nilai target dan tetap berada di bawahnya. Meskipun pengontrol berusaha menaikkan frekuensi, sistem tetap dalam kondisi undershoot yang terus-menerus selama periode ini.

Sekitar detik ke-72, sistem mulai mengalami gangguan gelombang balik, yang menyebabkan frekuensi melonjak tajam secara berulang kali. Lonjakan-lonjakan ini, seperti yang terjadi pada detik ke-80, 84, dan 92, mencapai puncak di atas 1 Hz. Kondisi ini disebut overshoot, di mana respons sistem untuk sementara melampaui nilai target. Meskipun sistem berupaya kembali ke *set point* setelah setiap gangguan, lonjakan ini mengganggu proses stabilisasi.

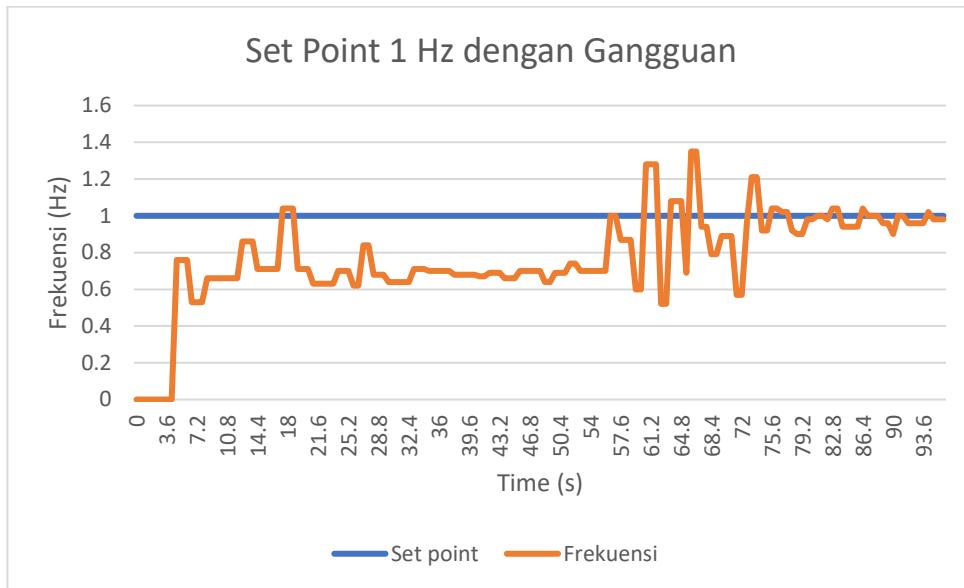
Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut settling *time*. Akibat gangguan yang berulang, settling *time* sistem ini menjadi sangat panjang dan tidak dapat didefinisikan dengan jelas hingga gangguan terakhir mereda. Pada bagian akhir grafik, yaitu setelah gangguan mereda sekitar detik ke-115, frekuensi akhirnya stabil di sekitar 0.9 Hz. Kondisi ini merupakan steady state, yaitu keadaan akhir di mana *output* sistem berfluktuasi di sekitar *set point* 0.9 Hz

4.3.4 Pengujian Kontrol PID pada *Set point* 1.0 Hz

Pada Pengujian ini dilakukan pengujian metode PID pada sistem kontrol alat pembangkit gelombang air. Pengujian ini dilakukan dengan *Set point* 1.0 Hz dengan nilai $K_p = 0.512$, $T_i = 3.0s$ dan $T_d = 2.1.s$ dilakukan pengujian pada sistem secara langsung. Pengujian ini dilakukan untuk melihat response perubahan nilai frekuensi terhadap gangguan yang diterima.

grafik ini pada gambar 4.40 menampilkan respons frekuensi gelombang air terhadap kontrol PID. Garis biru menunjukkan *set point* yang diatur pada 1 Hz dan sudah aktif sejak detik ke-0. Garis merah adalah frekuensi aktual yang diukur. Respon awal sistem menunjukkan frekuensi tetap di 0 Hz selama sekitar 3.6 detik.

Hal ini disebabkan oleh adanya filter sensor yang tidak mendekripsi frekuensi di bawah 0.5 Hz. Oleh karena itu, frekuensi aktual pada grafik baru mulai terlihat melonjak setelah frekuensi riil sistem melampaui ambang batas 0.5 Hz.



Gambar 4. 40 PID Set point 1 Hz dengan Gangguan

Setelah frekuensi aktual melewati ambang batas filter, pengontrol PID mulai menerima umpan balik dan merespons. Namun, frekuensi berfluktuasi dan secara konsisten berada di bawah *set point* 1 Hz hingga sekitar detik ke-57. Kondisi ini dapat dikategorikan sebagai *undershoot*, di mana respons sistem tidak mencapai nilai target dan tetap berada di bawahnya. Meskipun pengontrol berusaha menaikkan frekuensi, sistem tetap dalam kondisi *undershoot* yang terus-menerus selama periode ini.

Sekitar detik ke-57, sistem mulai mengalami gangguan gelombang balik, yang menyebabkan frekuensi melonjak tajam secara berulang kali. Lonjakan-lonjakan ini, seperti yang terjadi pada detik ke-61, 64, dan 72, mencapai puncak di atas 1 Hz. Kondisi ini disebut *overshoot*, di mana respons sistem untuk sementara melampaui nilai target. Meskipun sistem berupaya kembali ke *set point* setelah setiap gangguan, lonjakan ini mengganggu proses stabilisasi.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dan tetap berada di sekitar nilai target disebut *settling time*. Akibat gangguan yang berulang, *settling time* sistem ini menjadi sangat panjang. Pada bagian akhir grafik, yaitu setelah gangguan

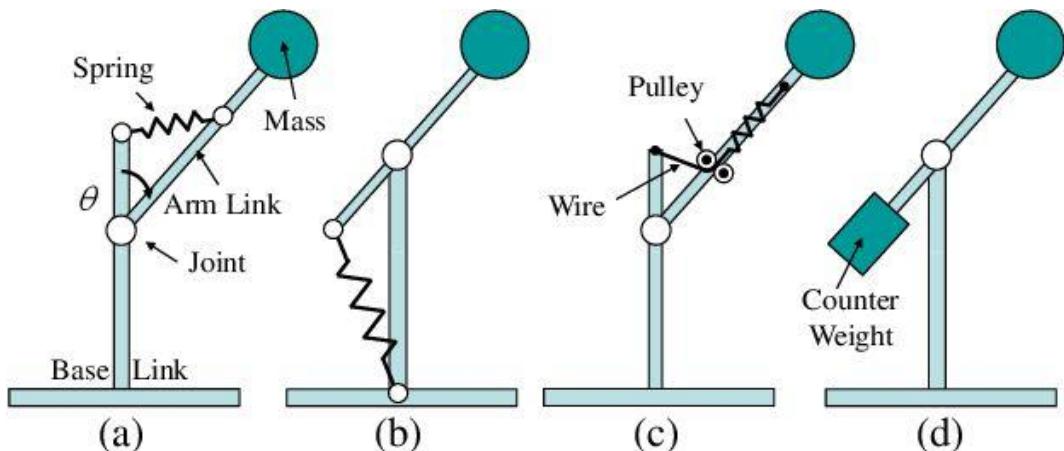
mereda sekitar detik ke-79, frekuensi akhirnya stabil di sekitar 1 Hz. Kondisi ini merupakan *steady state*, yaitu keadaan akhir yang stabil di mana *output* sistem berfluktuasi di sekitar *set point* 1 Hz.

4.4 Rekomendasi

Pada bab kali ini, dijelaskan rekomendasi untuk pada alat pembangkit gelombang air sebagai berikut

4.4.1 Mekanisme alat Pembangkit Gelombang Air

Pada alat dibutuhkan modifikasi pada alat gelombang air dibutuhkan *counterweight* yaitu massa tambahan yang ditempatkan pada sisi berlawanan dari beban utama untuk menyeimbangkan momen atau gaya putar dari alat pembangkit gelombang air. Hal ini sangat berguna untuk mengatasi error pada putaran yang diakibatkan ketidakseimbangan pada mekanisme rotasi yang berat hanya di 1 sisi.



Gambar 4. 41 Mekanisme untuk *Counterweight*

Gambar tersebut menunjukkan beberapa metode mekanisme penyeimbang pada sebuah sistem lengan berputar yang membawa beban di ujungnya. Setiap sub-gambar dari (a) hingga (d) menampilkan cara berbeda untuk memberikan gaya penyeimbang agar pergerakan lengan lebih stabil dan ringan. Prinsip utama dari semua metode ini adalah mengurangi momen akibat gaya gravitasi massa sehingga beban pada sambungan dapat diminimalkan.

Pada gambar (a) digunakan pegas yang dipasang langsung pada lengan sehingga memberikan gaya pemulih sesuai sudut gerakan. Gambar (b)

memperlihatkan pegas yang dipasang secara vertikal dari lengan ke dasar, sehingga saat lengan bergerak pegas ikut meregang atau mengerut untuk menahan beban. Gambar (c) menggunakan sistem pegas yang dipadukan dengan katrol dan kawat, sehingga arah gaya dapat dialihkan agar lebih efektif dalam menyeimbangkan lengan.

Pada gambar (d) metode penyeimbang dilakukan dengan menambahkan pemberat yang ditempatkan di sisi berlawanan dengan beban utama. Pemberat ini menciptakan momen yang berlawanan sehingga beban dapat terkompensasi. Metode ini sering digunakan pada sistem praktis seperti crane atau elevator karena sederhana dan efektif. Dengan demikian, keempat metode tersebut memiliki fungsi yang sama yaitu menstabilkan gerakan lengan, namun dengan pendekatan yang berbeda sesuai kebutuhan aplikasi.

4.4.2 Tangki simulasi gelombang air

Pada Tangki simulasi gelombang air , dari gelombang air yang dihasilkan sangat sulit dalam mendapatkan gelombang air yang sinusoidal diakibatkan adanya efek gelombang balik. Dalam hal ini dibutuhkan peredam gelombang yang dapat meredam gelombang yang dihasilkan oleh alat pembangkit gelombang air. Dan juga akibat gelombang balik tersebut dapat manambahkan pengaruh terhadap alat pembangkit gelombang ais berupa menambahkan beban yang tidak konstan.

Salah satunya *Baffle plate* pada *wave tank* berfungsi untuk mengurangi pantulan gelombang dari dinding tangki agar tidak kembali ke arah sumber, sehingga gelombang yang terbentuk lebih menyerupai kondisi laut terbuka dan tidak menimbulkan gelombang berdiri; cara kerjanya yaitu dengan memecah, menyerap, atau mengalihkan energi gelombang, di mana posisi miring *baffle plate* membuat sebagian energi gelombang diteruskan ke bawah atau ke samping sehingga amplitudo pantulan berkurang dan aliran air di dalam tangki menjadi lebih stabil.



Gambar 4. 42 *Dumping Wave Baffle Plate Type*
gunt.de



Gambar 4. 43 *Dumping Wave Artificial Beach Type*
Omeylabs.com

dumping wave tank pada gambar itu termasuk tipe pantai buatan (*artificial beach*). Prinsipnya sama seperti pantai alami, yaitu menggunakan permukaan miring di ujung saluran untuk meredam energi gelombang yang datang. Semakin panjang dan landai kemiringannya, semakin besar energi gelombang yang bisa diserap, sehingga gelombang tidak memantul balik dengan kuat ke dalam saluran. Jadi fungsinya memang untuk meniru kondisi laut terbuka agar percobaan gelombang di wave tank lebih realistik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada bab ini merupakan tahapan akhir dari Tugas Akhir yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian berikutnya berdasarkan topik Tugas Akhir ini. Kesimpulan yang disajikan merangkum temuan utama dan implikasi dari penelitian ini, sementara saran yang diberikan bertujuan untuk memberikan panduan bagi peneliti selanjutnya yang tertarik untuk melanjutkan atau mengembangkan topik penelitian ini lebih lanjut.

1. Penggunaan PLC pada sistem pembangkit gelombang air terbukti meningkatkan kinerja dengan mengoptimalkan pengaturan kecepatan motor, mematikan mesin saat tidak digunakan, serta memberikan pemantauan kondisi secara real-time sehingga efisiensi, efektivitas, dan keselamatan kerja lebih terjamin. Kehadiran HMI (Human-Machine Interface) dengan GUI (Graphical User Interface) juga menambah kemudahan bagi operator melalui tampilan grafis yang informatif seperti grafik gelombang, status motor, dan kontrol interaktif. Dengan antarmuka ini, proses pengoperasian menjadi lebih praktis tanpa perlu intervensi langsung ke perangkat keras, sementara fitur visual yang interaktif membantu operator melakukan kontrol, pemeliharaan, hingga troubleshooting secara lebih cepat dan tepat.
2. Pengujian kontrol PID terkendala filter sensor yang tidak mendeteksi frekuensi di bawah 0.5 Hz, sehingga sistem terlambat merespons beberapa detik pada awal pengujian. Pada Tuning 1 dengan $K_p = 0.512$, $T_i = 9.6$ s, $T_d = 2.4$, sistem gagal mencapai set point 0.6 Hz, hanya berfluktuasi di sekitar 0.53 Hz dengan steady-state error. Dengan Tuning 2 ($K_p = 0.512$, $T_i = 3.0$ s, $T_d = 2.4$), kinerja membaik pada set point rendah (0.5 Hz dan 0.6 Hz) dengan respon cepat, overshoot minor, dan settling time singkat. Namun, pada set point lebih tinggi (0.7–1.0 Hz), sistem mengalami undershoot panjang sebelum stabil, dengan settling time sangat lama hingga lebih dari 100 detik.
3. Pengujian kontrol PID dengan gangguan gelombang balik menunjukkan

kemampuan korektif yang baik. Pada set point 0.7 Hz dan 0.8 Hz, frekuensi awal sempat turun di bawah target, lalu melonjak tajam melebihi 1 Hz saat gangguan terjadi. Sistem kemudian mampu menstabilkan kembali frekuensi ke nilai target dengan rata-rata settling time sekitar 30 detik. Namun, gangguan berulang membuat proses stabilisasi lebih lama dan respons menjadi kurang konsisten. Secara keseluruhan, PID efektif mengembalikan sistem ke kondisi stabil, meskipun kinerjanya dipengaruhi intensitas dan frekuensi gangguan.

5.2 Saran

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, adanya pembelajaran yang dapat diambil dalam perangkat lunak dan perangkat keras. Hal ini dilakukan untuk memberikan masukan bagi peneliti yang membaca penelitian ini.

1. Pada percobaan tidak dapat dilakukan langsung dilaut dikarenakan alat ini merupakan simulator untuk gelombang laut. Untuk pengujian yang paling dialakukan dengan kolam dengan kapasitas yang lebih besar namun dengan spesifikasi alat yang berubah juga..
2. Dalam sistem kontrol ini hanya bisa dilakukan kontrol frekuensi gelombang air dikarenakan yang dilakukan merupakan kontrol kecepatan *Plunger* yang sangat berbanding lurus dengan frekuensi sedangkan untuk kontrol amplitudo gelombang dapat diatur melalui amplitudo pergerakan *Plunger* yang hal tersebut tidak dapat dilakukan secara otomatis di alat ini.
3. Penggunaan alat tersebut sudah sangat cukup untuk melakukan pengendalian di sistem kontrol alat kecepatan *Plunger* namun masih belum optimal dikarenakan dibutuhkan rasio *gearbox* yang lebih besar lagi untuk dapat memaksimalkan motor untuk dapat menjalankan alat pembangkit gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, G., Mughal, M., & Bukhair, S. S. H. S. (2019). MATLAB/simulink modelings and experimental design of variable *frequency drive* for speed kontrol of three-phase induction motor. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 3046–3052. <https://doi.org/10.35940/ijrteB3068.078219>
- Amin, M., Triyanto, J., Pusat, I., Fasilitas, R., & Batan, N. ±. (2020). *RANCANGAN PERANGKAT LUNAK AKUISISI DATA MODUL DETEKTOR GAMMA RosRao BERBASIS MODBUS OVER TCP/IP MENGGUNAKAN PyQT5*. 17(1).
- Assegaf, A., Tohir, T., Negeri Bandung Jl Gegerkalong Hilir, P., Parongpong, K., & Bandung Barat, K. (2019). *Koordinasi Selektif MCB Metoda Waktu-Arus dengan Simulasi ETAP MCB Selective Coordination of Time-Current Methods with ETAP Simulation*.
- Dafa, M., Rezaputra, D., Ridwan, M., & Cahyono, A. (2021). Muhammad Dafa Dezan Rezaputra: Perancangan Sistem Kontrol Otomatis ... Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Press Roll Berbasis PLC Mitsubishi Type-Q Pada Building Tire Machine. In *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)* (Vol. 3, Issue 2). <https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajet>
- Hermawan, L. T., & Prabhawati, A. (2024). Implementasi Just Energy Transition Partnership Indonesia menuju Net Zero Emissions tahun 2060. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(3), 28–38. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.24161>
- Huda, M., Irawan, D., & Fahlevi, R. A. (2023). *PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN MENGGUNAKAN INVERTER ACS-580*. 4(3).
- Khaldan Nurshofa, K., Fadillah Ramadan, A., Fajri Faiz, N., Manurung, P., & Luluk Karlina, D. (n.d.). *Penggunaan Kontaktor pada Sistem Pengaman Motor Induksi 3 Phasa*. 3(4), 280–289. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i4.4567>
- Korendiy, V., Kachur, O., Gurey, V., Predko, R., Palash, R., & Havrylchenko, O. (2022). Simulation and experimental investigation of kinematic characteristics

- of the wheeled in-pipe robot actuated by the unbalanced rotor. *Vibroengineering Procedia*, 45, 8–14. <https://doi.org/10.21595/vp.2022.22971>
- M, M., Sultan, A. Z., Hasrat, H., & Fantry, F. (2021). Redesain Dan Fabrikasi Gripper Arm 2-Finger Menggunakan Additive Manufacturing. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 19(2), 213–219. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v19i2.3029>
- Mahmood, J. R., & Ali, R. S. (2022). Personal computer/programmable logic controller based variable frequency drive training platform using WxPython and PyModbus. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(4), 3564–3571. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i4.pp3564-3571>
- Murdianto, D., Fadilah, A. N., Santoso, H., & Waluyo, M. B. (2024). Wave tank skala laboratorium dengan pembuat gelombang model flap. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 13(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v13i2.3542>
- Nabijonovich, S. B., & Najmuddin, G. (2024). *OPTIMIZING PYQT5 DEVELOPMENT WITH QT DESIGNER* (Vol. 2, Issue 4).
- Özbay, H. (2023). PLC based PID kontrol for induction motor drive using VFD (Vol. 2, Issue 1).
- Rohmaniatul, S., Pratiwi, A. F., & Rahmat, S. (2021). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem Oscillating Water Column. *Infotekmesin*, 12(1), 42–49. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v12i1.412>
- Saputra, D., Ma’arif, A., Maghfiroh, H., Chotikunnan, P., & Rahmadhia, S. N. (2023). Design and Application of PLC-based Speed Kontrol for DC Motor Using PID with Identification System and MATLAB Tuner. *International Journal of Robotics and Kontrol Systems*, 3(2), 233–244. <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v3i2.775>
- Sidik, M., & Sinaga, N. (2023). Potensi Pemanfaatan Gelombang Laut Menjadi Tenaga Listrik Dengan Metoda Oscillating Water Column di Pulau Bawean Gresik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(2), 132–144. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.17306>
- Sun, B., Li, C., Yang, S., & Zhang, H. (2021). A simplified method and numerical

- simulation for wedge-shaped *Plunger wavemaker*. *Ocean Engineering*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110023>
- Ummah, K. V. N. R., Sutedjo, S., Rifadil, Moch. M., & Mahendra, L. S. (2022). Alat Uji MCB 1 Fasa Instalasi Milik Pelanggan (IML). *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 141–147. <https://doi.org/10.23917/emitor.v22i2.19352>
- Yudha Hartawan, F., & Galina, M. (2022). IMPLEMENTASI PROGRAMMABLE LOGIC KONTROL (PLC) OMRON CP1E PADA SISTEM KENDALI MOTOR INDUKSI STAR-DELTA UNTUK KEBUTUHAN INDUSTRI. *Jurnal Teknologi Terapan* |, 8(2).
- G. Endo, H. Yamada, A. Yajima, M. Ogata and S. Hirose, "A passive weight compensation mechanism with a non-circular pulley and a spring," 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, AK, USA, 2010, pp. 3843-3848, doi: 10.1109/ROBOT.2010.5509797.
keywords: {Pulleys;Springs;Torque;Gravity;Actuators;Energy efficiency;Shape;Robotics and automation;USA Councils;Design methodology},

Lampiran

Biodata Mahasiswa

BIODATA MAHASISWA

- | | | | |
|-----|------------------------|---|---|
| 1. | Nama | : | Muhammad Nur Iqbal |
| 2. | NRP | : | 0921040002 |
| 3. | Program Studi | : | Teknik Otomasi |
| 4. | Agama | : | Islam |
| 5. | Status | : | Belum Menikah |
| 6. | Alamat Asal | : | Griyo Mapan Sentosa EE-65,
Ds.Tambaksawah, Kec.Waru,
Kab.Sidoarjo |
| 7. | Nomor Telepon | : | 081231920781 |
| 8. | Jenis Kelamin | : | Laki – laki |
| 9. | Email | : | muh.niqbal2@gmail.com |
| 10. | Tempat, Tanggal Lahir | : | Sidoarjo, 16 Oktober 2002 |
| 11. | Nama Orang Tua/Wali | : | Fadjar Kuswahyudi |
| 12. | Alamat Orang Tua/Wali | : | Griyo Mapan Sentosa EE-65,
Ds.Tambaksawah, Kec.Waru,
Kab.Sidoarjo |
| 13. | Telepon Orang Tua/Wali | : | 081330457404 |
| 14. | Riwayat Pendidikan | : | |



Pendidikan Formal			
Pendidikan	Tahun	Institusi	Jurusan
Diploma 4	2021-2025	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	Teknik Otomasi
SMK	2018-2021	SMKN 3 Buduran	Teknik Kelistrikan Kapal
SMP	2015-2018	SMPN 2 Waru	
SD	2009-2015	SDN Pabean 1	

