



SKRIPSI – ME141501

**STUDI PENGGUNAAN FREKUENSI KONVERTER BERBASIS VOLTAGE
SOURCE INVERTER UNTUK APLIKASI SHORE CONNECTION**

Ilham Wijaya Putra
NRP. 4213 100 042

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS – ME141501

***STUDY USE OF FREQUENCY CONVERTER BASED VOLTAGE SOURCE
INVERTER FOR SHORE CONNECTION APPLICATION***

Ilham Wijaya Putra
NRP. 4213 100 042

Supervisor
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

*DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGGUNAAN FREKUENSI KONVERTER BERBASIS VOLTAGE SOURCE INVERTER UNTUK APLIKASI SHORE CONNECTION

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

iiham Wijaya Putra
NRP. 4213 100 042

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
NIP. 196003191987011001

()

SURABAYA
JULI 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAIAN

**STUDI PENGGUNAAN FREKUENSI KONVERTER BERBABIS VOLTAGE
SOURCE INVERTER UNTUK APLIKASI SHORE CONNECTION**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Ilham Wijaya Putra
NRP. 4213 100 042

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI PENGGUNAAN FREQUENCY CONVERTER BERBASIS VOLTAGE SOURCE INVERTER UNTUK APLIKASI SHORE CONNECTION

Nama Mahasiswa : Ilham Wijaya Putra
NRP. : 4213 100 042
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

ABSTRAK

Pada waktu kapal sandar di pelabuhan, untuk menyuplai energi listrik dikapal seringkali menghidupkan mesin bantu kapal, mesin bantu ini menghasilkan emisi yang berupa gas buang. Dengan penerapan shore connection, kapal-kapal yang sandar di pelabuhan bisa langsung mematikan mesin bantu. Teknologi ini merupakan solusi menghemat energi. Frekuensi yang berada di kapal menggunakan frekuensi sebesar 60 hz, sedangkan frekuensi pelabuhan di darat sebesar 50hz sehingga perlu perubahan frekuensi. Dengan rangkaian voltage source inverter yang memakai controller PID didapatkan perubahan frekuensi yang baik dengan error yang sedikit. Untuk perubahan frekuensi dari 50 ke 60hz nilai konstanta controller yang paling baik yaitu konstanta proporsional dan integral sebesar 0.0042 karena memiliki nilai rata – rata presentase error terkecil sebesar 0.1353%. dan memiliki akurasi pengontrolan yang paling baik sebesar 99.82%. Untuk perubahan frekuensi dari 60 ke 50hz nilai konstanta controller yang paling baik yaitu konstanta proporsional 0.0046 dan konstanta integral sebesar 0.0046 dikarenakan memiliki nilai rata – rata presentase error terkecil sebesar 0.74% dan memiliki frekuensi terbaik sebesar 49.63

Kata kunci : shore connection, controller PID, frekuensi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY USE OF FREQUENCY CONVERTER BASED VOLTAGE SOURCE INVERTER FOR SHORE CONNECTION APPLICATION

Name : *Ilham Wijaya Putra*
NRP. : *4213 100 042*
Department : *Marine Engineering*
Supervisor : *Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.*

Abstract

At the time ship docked at the port, to supply the ship's electrical energy often turn on the ship's auxiliary machine, this auxiliary engine produces emissions in the form of flue gas. With the implementation of shore connection, ships that dock at the port can immediately turn off the auxiliary machine. This technology is a solution to save energy. Frequency is on the ship using a frequency of 60 hz, while the frequency of the port on land by 50hz so it needs to change the frequency. With a series of voltage source inverters using PID controller, it is found that the frequency changes are good with little error. For frequency changes from 50 to 60hz the best controller constant values are the proportional and integral constants of 0.0042 because they have the smallest percentage error of 0.02% with the mean value of the smallest error percentage of 0.1353%. For frequency change from 60 to 50hz the best controller constant value is the proportional constant 0.0046 and the integral constant of 0.0046 because it has the average value of the smallest error percentage of 0.74% and has the best frequency of 49.63

Keywords: Shore Connection, Controller PID, Frequency

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah – Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Penggunaan Frequency Converter Berbasis Voltage Source Inverter untuk Aplikasi Shore Connection” dengan baik dalam rangka memenuhi syarat pada Mata Kuliah Skripsi (ME141501) Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya Mama dan Papa, beserta adik yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral dan material kepada penulis.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. dan Bapak Semin, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala dan Sekretaris Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
3. Bapak Prof. Semin, ST, MT, P.hd selaku dosen wali yang terus memotivasi dan memberikan masukan kepada penulis selama melaksanakan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan banyak masukan selama proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Adi Kurniawan, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan banyak masukan selama proses penyusunan skripsi.
6. Kepada Ajeng Lailly yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi. Semoga sukses mengerjakan impiannya.
7. Keluarga Barakuda '13 yang selalu menemani dan memberikan semangat dalam menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
8. Seluruh teknisi, member dan grader Laboratorium Marine Electrical and Automation System (MEAS) yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
9. Kepada **Pak Agus** (Teknisi Lab MEAS), **Pak Heru** (Teknisi Lab MEAS), **Nova Alfian** (2013), **Ranndy Zakaria** (2013), **Risa Setyaningsih** (2013), **Hanif Darmawan** (2013), **Darwin S** (2013), **Alex** (2013), **Yudha A** (2013), **Sumbu** (2103), **Suhe** (2013), **Jordan** (2013), **Fandy** (2013), **Mas Fikri** (LJ), **Mas Ilham** (LJ), **Mas Lutfi** (LJ), dan teman-teman **SUKSES ITS**, terima kasih atas kerjasama dan hiburanya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan.
10. Seluruh teman-teman Lab. *Marine Electrical and Automation Systems Laboratory*.
11. Seluruh teman-teman **BARAKUDA 13** (Barisan Arek Siskal Ulet Disiplin dan Amanah) yang telah 4 tahun berbagi suka cita bersama ini. Semoga sukses mengejar impiannya masing-masing.
12. Kepada semua pihak yang berkontribusi terhadap selesainya Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap kritik dan saran yang bersifat membangun demi penelitian terkait di waktu mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca.

Surabaya, 3 Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
4.1. Latar Belakang	1
4.2. Perumusan Masalah.....	2
4.3. Batasan Masalah.....	2
4.4. Tujuan	2
4.5. Manfaat.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Pelabuhan	4
2.2. Dermaga	4
2.3. Polusi.....	6
2.4. Shore Power Connect Electricity Supply	9
2.5. Frekuensi	10
2.6. Konverter.....	10
2.7. Inverter	11
2.8. Voltage Source Inverter	11
2.9. Sistem Kontroll	11
2.10Kontroller PID	12
BAB III.....	15
METODOLOGI	15
3.1. Identifikasi Masalah	15
3.2. Studi Literatur	15
3.3. Pemodelan dan Simulasi Voltage Source Inverter	15
3.4. Pembuatan Sistem dengan Kontroller PID.....	15
3.5. Analisa Data	16
3.6. Kesimpulan dan Saran.....	16
BAB IV	17
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	17
4.1. Umum	15
4.2. Komponen Frekuensi Konverter.....	18
4.3. Pembuatan Simulasi Sistem Frekuensi Konverter	19
4.4. Data Hasil Simulasi	22
BAB V.....	43
KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aktivitas Pelabuhan.....	3
Gambar 2.2 Global Shipping.....	4
Gambar 2.3 Tipe – Tipe Dermaga.....	5
Gambar 2.4 Polusi Pelabuhan	6
Gambar 2.5 Shore Power Connection	8
Gambar 2.6 Shore Power Connection Box.....	8
Gambar 2.7 Peta Frekuensi dan Tegangan.....	9
Gambar 2.8 Rangkaian PWM Inverter.....	11
Gambar 2.9 Rangkaian Voltage Source Inverter.....	11
Gambar 2.10 Sistem Kontrol.....	12
Gambar 2.11 Blok Diagram	12
Gambar 3.0 Flow Chart Metodologi Penelitian	14
Gambar 4.1 Daya yang Diperlukan Saat Berlabuh	15
Gambar 4.2 Sumber Tegangan 3 Fasa.....	17
Gambar 4.3 Dioda	17
Gambar 4.4 Kapasitor.....	17
Gambar 4.5 IGBT.....	18
Gambar 4.6 Beban 3 Fasa.....	18
Gambar 4.7 Kontroller PID	19
Gambar 4.8 Rangkaian Simulasi Frekuensi Konverter	21

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Emisi pada Kapal	6
Tabel 2.2 Prosentase Penggunaan Frekuensi Kapal Eropa.....	9
Tabel 4.1 Kebutuhan Daya saat Berlabuh	15
Tabel 4.2 Tegangan dan Frekuensi untuk Jenis Kapal	15
Tabel 4.3 Tegangan dan Daya yang ada di Pelabuhan Bergen	18
Tabel 4.4.1 Hasil dari data dengan percobaan tanpa kontroller	23
Tabel 4.4 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 & dan 0.004.....	25
Tabel 4.5 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.004	25
Tabel 4.6 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0042	25
Tabel 4.7 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.0042	26
Tabel 4.8 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 dan I 0.004	26
Tabel 4.9 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0044	26
Tabel 4.10 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 dan I 0.0044	27
Tabel 4.11 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 dan I 0.004	27
Tabel 4.12 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0046	27
Tabel 4.13 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 dan I 0.0046	28
Tabel 4.14 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.004	28
Tabel 4.15 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0038	28
Tabel 4.16 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.0038	29
Tabel 4.17 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 dan I 0.004	29
Tabel 4.18 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0036	29
Tabel 4.19 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 dan I 0.0036	30
Tabel 4.20 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 dan I 0.004	30
Tabel 4.21 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0034	30
Tabel 4.22 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 dan I 0.0034	31
Tabel 4.23 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.004	33
Tabel 4.24 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.004	33
Tabel 4.25 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0042	33
Tabel 4.26 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.0042	34
Tabel 4.27 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 dan I 0.004	34
Tabel 4.28 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0044	34
Tabel 4.29 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 dan I 0.0044	35
Tabel 4.30 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 dan I 0.004	35
Tabel 4.31 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0046	35
Tabel 4.32 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 dan I 0.0046	36
Tabel 4.33 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.004	36
Tabel 4.34 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0038	36
Tabel 4.35 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.0038	37
Tabel 4.36 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 dan I 0.004	37
Tabel 4.37 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0036	37
Tabel 4.38 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 dan I 0.0036	38
Tabel 4.39 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 dan I 0.004	38
Tabel 4.40 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0034	38
Tabel 4.41 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 dan I 0.0034	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kapal merupakan transportasi yang tak menetap (selalu berlayar dan berpindah tempat), sehingga kapal tidak bisa memakai listrik dari darat yang tersambung terus menerus. Oleh karena itu instalasi listrik dalam kapal harus memiliki sumber listrik yang mandiri, sumber listrik tersebut di hasilkan dari genset atau generator listrik.

Pada waktu kapal sandar di pelabuhan, untuk menyuplai energi listrik di kapal seringkali menghidupkan mesin bantu kapal. Mesin bantu ini merupakan motor diesel yang juga menghasilkan emisi. Emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran motor diesel adalah gas buang. Emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor diesel ini terdiri dari *Nitrogen Oxides (NOx)*, *Sulfur Oxides (SOx)*, *Hydrocarbon (HC)*, *Carbon Monoxide (CO)* dan *Particulates*.

Dampak buruk dari emisi gas buang tersebut dapat menyebabkan gangguan saluran pernafasan, bahkan yang lebih buruk dapat mengakibatkan terjadinya hujan asam. Melihat dampak yang telah disebut di atas, maka emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran motor diesel harus diminimalisir.

Dengan penerapan *shore power connection*, kapal-kapal yang sandar di pelabuhan bisa langsung mematikan mesin sekalipun masih butuh penerangan di dalam lambung kapal. Teknologi ini merupakan solusi penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor maritime.

Dengan *shore power connection*, pasokan listrik akan diberikan lewat darat. Sistem penghubung itu juga mencatat dan melaporkan seluruh data pemakaian energi, seperti waktu koneksi, *metering*, dan *billing*, baik pada pelabuhan maupun kapal. Selain itu, terpasang di sistem itu indikator kondisi lingkungan yang membuat penerapan koneksi lebih efisien dan ramah lingkungan. Frekuensi yang ada pada kapal menggunakan frekuensi sebesar 60 Hz, sedangkan frekuensi pelabuhan yang ada di darat sebesar 50 Hz sehingga perlu pengubah frekuensi.

Apabila frekuensi tidak sama berakibat pada hentakan mekanis (mesin atau beban, perlu perawatan intensif), lonjakan arus (motor akan cepat rusak atau breaker trip), sehingga frekuensi converter bermanfaat untuk meminimalisir hentakan mekanis dan lonjakan arus yang berakibat pada motor atau beban mengalami kerusakan. Oleh karena itu perlu pengubah frekuensi agar frekuensi yang diinginkan sama. Salah satu contohnya adalah dengan cara *Frekuensi Converter Berbasis Voltage Source Inverter*.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka rumusan masalah dari tugas akhir ini yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rangkaian dari frekuensi dengan voltage source inverter ?
2. Bagaimana spesifikasi dari kontroller yang digunakan untuk mengatur frekuensi ?
3. Berapa akurasi dari pengontrolan frekuensi ?

1.3. Batasan Masalah

Batasan permasalahan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Perbandingan efisiensi ini dilakukan sesuai hasil perhitungan yang didapatkan dari simulasi
2. Metode yang sudah ditentukan dan tepat untuk shore connection hanya digunakan semata untuk kebutuhan penelitian, tidak akan mengubah yang sudah ada di lapangan
3. Simulasi dilakukan dengan membuat controller PID menggunakan software

1.4. Tujuan

Adapun penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui rangkaian dari frekuensi dengan voltage source inverter.
2. Mengetahui controller yang tepat untuk mengatur frekuensi
3. Mengetahui akurasi dari pengontrolan frekuensi.

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mendapatkan efisiensi efektif dari voltage source inverter dengan di kontrol menggunakan controller PID sehingga frekuensi maksimal untuk sistem kerja dari shore connection.
2. Dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi dalam penulisan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pelabuhan

Sebagai Negara Kepulauan, sudah barang tentu Indonesia memiliki berbagai macam jenis pelabuhan, baik pelabuhan umum maupun pelabuhan khusus. Banyaknya kapal yang sandar di pelabuhan, menandakan bahwa distribusi barang dan jasa sedang berjalan. Roda perekonomian pun ikut tumbuh.

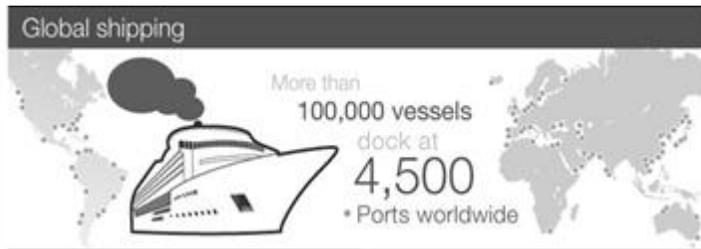
Padatnya aktivitas di pelabuhan mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Di satu sisi, membawa keuntungan bagi perusahaan pelayaran dan masyarakat sekitar, namun, di sisi lain memberikan dampak negatif, yaitu berupa emisi di pelabuhan.



Gambar 2.1. Aktivitas Pelabuhan sumber: www.ship-technology.com

Lalu, apa yang dimaksud pelabuhan itu? Sebagaimana dijelaskan dalam Keputusan Menteri Perhubungan no 53 Tahun 2002 bahwa pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas - batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi.

Talley (2009) mengemukakan pendapat bahwa pelabuhan adalah tempat dimana terjadinya perpindahan barang maupun penumpang dari dan ke wilayah perairan dan daratan. Selain itu, pelabuhan dapat dikatakan sebagai suatu pintu gerbang untuk masuk ke suatu daerah tertentu dan sebagai prasarana penghubung antar daerah, antar pulau, bahkan antar negara. (Triatmodjo, 2010). Pelabuhan juga merupakan unit ekonomi, tempat yang menyediakan jasa terminal untuk operator transportasi dan simpul dalam jaringan transportasi.



Gambar 2.2. Global Shipping sumber: *ABB Shore-to-Ship Infographic*

Berikut ini adalah beberapa peran dari pelabuhan berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan no 53 Tahun 2002:

- a. Simpul dalam jaringan transportasi sesuai dengan hirarkinya
- b. Pintu gerbang kegiatan perekonomian daerah, nasional dan internasional
- c. Tempat kegiatan alih moda transportasi
- d. Penunjang kegiatan industri dan perdagangan

2.2. Dermaga

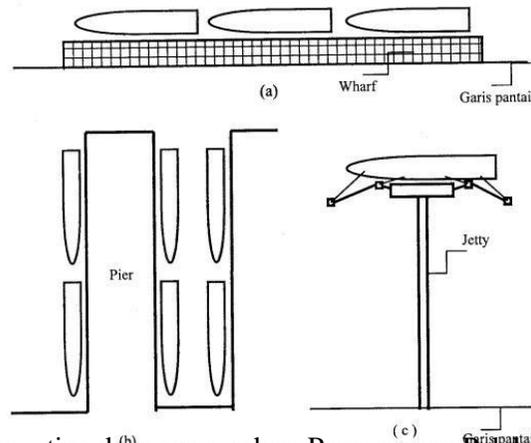
Dalam menunjang aktivitas pelabuhan dan juga sebagai tempat sandar kapal yang akan berlabuh di pelabuhan, maka harus terdapat suatu bangunan yang disebut dermaga. Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang (Triatmodjo, 2010).

Pada bangunan dermaga, khususnya untuk barang peti kemas, harus direncanakan sedemikian rupa agar kapal dapat melakukan aktivitas bongkar muat dengan cepat dan lancar.

Berikut ini adalah beberapa tipe dermaga yang terdapat pada pelabuhan menurut Triatmodjo (2010) :

- *Wharf*: Dermaga yang parallel dengan pantai dan biasanya berimpit dengan garis pantai.
- *Pier* : Dermaga yang berada pada garis pantai dan posisinya tegak lurus pada garis pantai
- *Jetty* : Dermaga yang menjorok ke laut sehingga sisi depannya berada pada kedalaman yang cukup untuk kapal merapat.

Di bawah ini adalah gambar beberapa tipe dermaga:



Gambar 2.3. Tipe – tipe dermaga sumber: Perencanaan Pelabuhan, Triatmodjo (2010)

Untuk mengetahui ukuran dermaga yang dibutuhkan agar tidak terjadi penumpukan antrian kapal, maka dapat dihitung menggunakan rumus :

$$L_p = n \times L_{oa} + (n-1) 15,00 + (2 \times 25,00)$$

Dimana,

L_p = Panjang Dermaga (m)

n = Jumlah Kapal

L_{oa} = Panjang Keseluruhan Kapal

2.3. Polusi

Dalam perkembangannya, tingkat perdagangan dipelabuhan di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini tentu memberikan dampak yang baik bagi perekonomian negara. Seiring dengan hal tersebut, pelabuhan – pelabuhan menghadapi tantangan yang serius perihal masalah lingkungan. Dampak buruk pada lingkungan yang meningkat pesat seiring bertumbuhnya volume perdagangan di suatu pelabuhan.

2.3.1 Polusi Pelabuhan

Polusi atau pencemaran lingkungan yang terjadi diarea pelabuhan mayoritas terjadi pada wilayah perairan dan udara. Polusi air pada pelabuhan sering dikaitkan dengan pembuangan air ballast dan limbahnya, penggunaan cat *antifouling* pada kapal, tumpahan minyak dari kapal, dan pengerukan saluran air di pelabuhan. Polusi udara pada pelabuhan timbul akibat emisi dari kapal, truk, peralatan bongkar muat, dan kereta barang di pelabuhan.



Gambar 2.4. Polusi Pelabuhan sumber:

www.energylivenews.com

2.3.2 Polusi Udara

Banyak hal yang menyebabkan polusi udara terjadi pada pelabuhan. Polusi udara pada pelabuhan disebabkan oleh mesin utama dan mesin bantu kapal, boiler, dan gas buang yang terakumulasi akibat lalu lintas kapal di pelabuhan.

Mesin utama merupakan sumber daya utama bagi kapal ketika bergerak di perairan. Mesin bantu digunakan di laut dan ketika sandar di pelabuhan untuk membangkitkan peralatan listrik atau untuk memanaskan sistem di kapal.

Emisi di pelabuhan terjadi ketika kapal sandar di pelabuhan. Kapal menghasilkan emisi ketika sandar di pelabuhan sewaktu menyalakan mesin bantu mereka untuk menghasilkan listrik di atas kapal. Jika terdapat banyak kapal yang sandar di pelabuhan dan melakukan hal yang sama, maka akan terjadi akumulasi emisi di pelabuhan dan memberikan dampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan. Dampak buruk emisi pada kapal dapat dilihat pada Tabel 2.1. di bawah ini.

Emisi dari hasil pembakaran motor bakar secara umum mengandung karbon-dioksida (CO₂), karbon-monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO_x), Sulfur dioksida (SO₂), dan partikel. Jika pembakaran tidak sempurna, maka akan menghasilkan Hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar.

Tabel 2.1 Emisi pada kapal dan dampaknya pada lingkungan dan kesehatan

<i>Emisi</i>	<i>Deskripsi</i>
<i>NO_x</i>	NO _x meliputi berbagai komponen nitrogen seperti Nitrogen Dioksida (NO ₂) dan Nitrit Oksida (NO). Dampak NO _x pada lingkungan dapat menyebabkan ground-level ozone (smog) dan hujan asam. Dampak NO _x pada kesehatan dapat menyebabkan gangguan pernafasan seperti asma, emfisema, bronkitis dan kematian dini.
<i>Sox</i>	SO _x dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan seperti pada hidung dan tenggorokkan serta paru paru.

VOC	Volatile Organic Compounds (VOC) merupakan salah satu gas rumah kaca dan menyebabkan iritasi pada mata dan saluran pernafasan, sakit kepala, gangguan penglihatan, dan kemampuan mengingat.
PM	Particulate Matter (PM) dapat menyebabkan kematian dini, batuk – batuk, sakit saat bernafas, bahkan dapat mengurangi kinerja paru – paru.

sumber: Shore-side Power Supply, Ericsson (2008)

2.3.3 Polusi Air

Polusi pada air yang terjadi di pelabuhan diakibatkan oleh pembuangan air ballast dan limbahnya, penggunaan cat *antifouling* pada kapal, tumpahan minyak dari kapal, dan pengerukan saluran air di pelabuhan.

Ketika kapal mengambil air ballast di suatu perairan, secara tidak langsung mikroorganisme dan benda – benda kecil juga ikut terambil. Ketika air ballast dikeluarkan di perairan lain, maka mikroorganisme dan benda – benda kecil tersebut akan mengganggu ekosistem lokal di perairan tersebut.

Penggunaan cat *antifouling* pada lambung kapal, dapat menghambat pertumbuhan biologis makhluk yang ada di sekitarnya, dan juga membahayakan kelangsungan ekosistem tersebut.

2.3.4 Polusi Suara / Kebisingan

Kebisingan merupakan suara yang tidak dikehendaki dan mengganggu kesehatan dan kenyamanan lingkungan yang dinyatakan dalam desibel (dB). Kebisingan disebabkan oleh sumber bunyi yang bergetar. Getaran sumber suara mengganggu molekul-molekul udara di sekitar sehingga molekul – molekul ikut bergetar. Getaran sumber ini menyebabkan terjadinya gelombang rambatan energi mekanis dalam medium udara menurut pola rambatan longitudinal.

Di Pelabuhan, kebisingan ditimbulkan oleh kapal, truk, kereta, aktivitas bongkar muat, konstruksi dan aktivitas perawatan. Tingkat kebisingan dari permesinan bantu kapal ketika di pelabuhan dapat mencapai 80 – 120 dB (Talley, 2009). Kebisingan di pelabuhan dapat menyebabkan gangguan pendengaran dan peningkatan tekanan darah.

2.4. Shore Power Connect Electricity Supply

Setiap kapal mempunyai minimal 2 unit mesin bantu untuk menghasilkan tenaga listrik untuk mengoperasikan segala peralatan yang ada di kapal, kapal – kapal yang beroperasi di Indonesia kebanyakan berusia lebih dari 10 tahun dengan teknologi mesin utama dan mesin bantu mempunyai emisi gas buang yang cukup tinggi.

Untuk mengurangi emisi gas buang dalam rangka meningkatkan kualitas udara, dapat dilakukan dalam berbagai macam usaha. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah dengan memakai prosedur Shore Connect Electricity Supply, yaitu menyuplai tenaga listrik dari darat ke kapal untuk mengganti pemakaian mesin bantu kapal dalam menyuplai kebutuhan listrik dari darat ke kapal untuk mengganti pemakaian mesin bantu kapal dalam menyuplai kebutuhan listrik kapal dalam melakukan proses bongkar – muat.



Gambar 2.5 Shore Power Connection
sumber: *abb.com*

Konsep Shore Connect Electricity Supply ini merupakan salah satu program mengurangi emisi gas buang yang dilakukan oleh IMO (International Maritime Organization) menurut aturan Marpol 73/78 dan peraturan turunannya.

Keuntungan menggunakan program Shore Connect Electricity Supply adalah :

1. Mengurangi biaya pelabuhan
2. Mengurangi emisi gas buang Nox, Sox, Pm (Particular matter – material padat) maupun Cox secara signifikan;
3. Mengurangi pemakaian BBM untuk operasional mesin bantu kapal;
4. Mengurangi biaya perawatan dan pemeliharaan mesin bantu kapal;
5. Menciptakan lingkungan kerja yang lebih baik bagi para awak kapal dan penumpang



Gambar 2.6 Shore Power Connection Box
sumber: *abb.com*

Program Shore Connect Electricity Supply ini akan berjalan dengan efektif dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Suplai tenaga listrik yang kontinyu dan konstan;
2. Peralatan kelistrikan di pelabuhan dan kapal yang mempunyai kualitas baik;

3. Lingkungan dan infrastruktur peralatan mekanis di pelabuhan dan kapal yang mendukung;
4. Prinsip safety yang harus selalu diterapkan;
5. Peralatan safety di kapal dan pelabuhan harus selalu diterapkan;
6. Peralatan kelistrikan di kapal dan pelabuhan harus selalu diterapkan harus kompatibel;
7. Selalu diadakan pengecekan dan testing serta kalibrasi peralatan

2.5. Frekuensi

Frekuensi listrik berbeda setiap kapal bergantung ukuran dan kategori kapal. Terdapat juga beberapa peralatan atau komponen yang berbeda frekuensinya disebabkan negara pabrikan komponen tersebut memiliki perbedaan frekuensi dengan negara tempat kapal tersebut berlabuh.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada pelabuhan di Eropa, kapal – kapal yang berukuran besar umumnya menggunakan frekuensi 60 Hz, sedangkan yang yang lebih kecil kebanyakan menggunakan frekuensi 50 Hz. Besarnya prosentase penggunaan frekuensi kapal pada pelabuhan di Eropa dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut ini :

Tabel 2.2 Prosentase penggunaan frekuensi kapal pada pelabuhan di Eropa

Vessel Type	50 Hz	60 Hz
Container Vessel (< 140 m)	63 %	37 %
Container Vessel (> 140 m)	6 %	94 %
Container Vessel (total)	26 %	74 %
RoRo and Vehicle Vessels	30 %	70 %
Oil and Product Tankers	20 %	80 %
Cruise Ships (< 200 m)	36 %	64 %
Cruise Ships (> 200 m)	-	100 %
Cruise Ships (total)	17 %	83 %

sumber: Shore-side Power Supply, Ericsson (2008)



Gambar 2.7. Peta Frekuensi dan Tegangan sumber:
tokyorecorder.com

2.6. Konverter

Konverter adalah suatu alat untuk mengkonversikan daya listrik dari satu bentuk ke bentuk daya listrik lainnya (Syahrul, 2015).

Konversi daya listrik umumnya terbagi menjadi 4 jenis:

a) Konversi AC – DC (Rectifier)

Rectifier adalah alat listrik yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC). Komponen penyearah berupa Dioda. Konverter ini dapat mengendalikan nilai tegangan keluaran dengan mengatur sudut penyalan dari *Thyristor*.

b) Konversi AC – AC (Cycloconverter)

Konversi ini dapat mengendalikan nilai tegangan keluaran dengan mengubah *conduction time* dari TRIAC

c) Konversi DC – DC (DC Chopper)

Konversi ini dapat mengendalikan nilai tegangan keluaran dengan mengubah *conduction time* dari *Transistor*

d) Konversi DC – AC (Inverter)

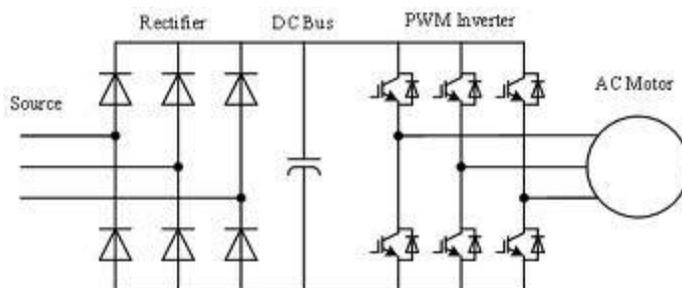
Konversi ini mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik. Penggunaan konversi ini dapat mengatur besarnya tegangan dan frekuensi keluaran.

2.7. Inverter

Inverter adalah suatu rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah sumber tegangan searah (DC) menjadi sumber tegangan dan arus bolak – balik (AC)

II.3.1 Tipe Inverter

1. Voltage Source Inverter
2. Current Source Inverter
3. PWM Inverter

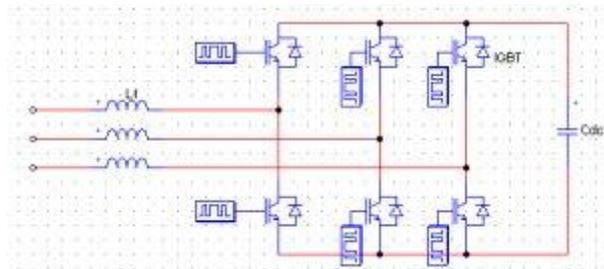


Gambar 2.8 Rangkaian Inverter

2.8. Voltage Source Inverter

Voltage Source Inverter (VSI) dan Current Source Inverter (CSI). Perbedaan mendasar dari kedua rangkaian ini adalah penggunaan kapasitor pada VSI dan induktor pada CSI sebagai media untuk menghubungkan dengan pensaklaran. VSI lebih banyak digunakan karena lebih efisien dan lebih terjangkau harganya.

VSI merubah sinyal listrik searah menjadi sinyal listrik bolak balik dengan menggunakan kapasitor sebagai media penyimpanan. Aplikasi inverter khususnya VSI digunakan untuk menggerakkan motor AC, sebagai pengatur tegangan keluaran generator induksi dan lain sebagainya.

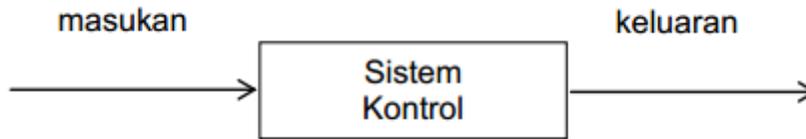


Gambar 2.9 Rangkaian Voltage Source Inverter.

2.9. Sistem Kontrol

Sistem kontrol (control system) merupakan suatu kumpulan cara atau metode yang dipelajari dari kebiasaan-kebiasaan manusia dalam bekerja, dimana manusia membutuhkan suatu pengamatan kualitas dari apa yang telah mereka kerjakan sehingga memiliki karakteristik sesuai dengan yang diharapkan pada mulanya. Perkembangan teknologi menyebabkan manusia selalu terus belajar untuk mengembangkan dan mengoperasikan pekerjaan-pekerjaan kontrol yang semula dilakukan oleh manusia menjadi serba otomatis (dikendalikan oleh mesin). Dalam aplikasinya, sistem kontrol memegang peranan penting dalam teknologi. Sebagai contoh, otomatisasi industri dapat menekan biaya produksi, mempertinggi kualitas, dan dapat menggantikan pekerjaan-pekerjaan rutin yang membosankan. Sehingga dengan demikian akan meningkatkan kinerja suatu sistem secara keseluruhan, dan pada akhirnya memberikan keuntungan bagi manusia yang menerapkannya.

Dalam aplikasinya, suatu sistem kontrol memiliki tujuan/sasaran tertentu. Sasaran sistem kontrol adalah untuk mengatur keluaran (output) dalam suatu sikap / kondisi / keadaan yang telah ditetapkan oleh masukan (input) melalui elemen sistem kontrol.



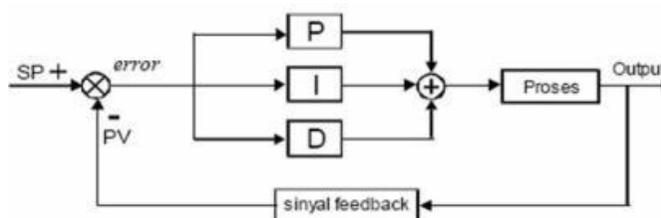
Gambar 2.10 Sistem Kontrol

2.10. Kontroler PID

Instrumentasi dan kontrol industri tentu tidak lepas dari sistem instrumentasi sebagai pengontrol yang digunakan dalam keperluan pabrik. Sistem kontrol pada pabrik tidak lagi manual seperti dahulu, tetapi saat sekarang ini telah dibantu dengan perangkat kontroler sehingga dalam proses produksinya suatu pabrik bisa lebih efisien dan efektif. Kontroler juga berfungsi untuk memastikan bahwa setiap proses produksi terjadi dengan baik.

PID (Proportional–Integral–Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Pengontrol PID adalah pengontrol konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri. Proses ini dapat dilakukan dengan cara *trial and error*. Keunggulan cara ini kita tidak perlu mengidentifikasi plant, membuat model matematis plant, menentukan parameter plant dengan grafis ataupun analitis, cukup dengan cara coba-coba memberikan konstanta P-I-D pada formula PID hingga di peroleh hasil yang di inginkan, dengan mengacu pada karakteristik masing-masing kontrol P-I-D.

Jika menggunakan kendali PID artinya kita nantinya bertujuan mengolah suatu sinyal kesalahan atau error, nilai error tersebut diolah dengan formula PID untuk dijadikan suatu sinyal kendali atau sinyal kontrol yang akan diteruskan ke aktuator.



Gambar 2.11 Blok Diagram PID

Keterangan :

Output = output dari pengontrol PID atau *Manipulated Variable*

SP = set point, suatu parameter nilai acuan yang kita inginkan.

PV = Present Value, nilai bobot pembacaan sensor saat itu atau variable terukur yang diumpam balikan oleh sensor (sinyal feedback dari sensor).

$Error$ = Nilai kesalahan, deviasi atau simpangan antar variable terukur atau bobot sensor (PV) dengan nilai acuan (SP)

Untuk lebih memaksimalkan kerja pengontrol diperlukan nilai batas minimum dan maksimum yang akan membatasi nilai *Manipulated Variable* yang dihasilkan.

2.10.1 **Kontroller Proporsional (P)**

Penggunaan control ini umumnya pada system order 1, pengaruh pada system kerja sebagai berikut :

- a) Dapat mempercepat respon waktu system mencapai stabil
- b) Mengurangi (bukan menghilangkan error steady state)

2.10.2 **Kontroller Integral (I)**

Pengaruh pada system kerja controller integral sebagai berikut :

- a) Menghilangkan error steady state
- b) Respon lebih lambat daripada controller P
- c) Dapat menimbulkan overshoot

2.10.3 **Kontroller Derivatif (D)**

Pengaruh pada system kerja controller integral sebagai berikut :

- a) Mengurangi overshoot
- b) Memberikan efek redaman pada system yang berisolasi
- c) Jika berdiri sendiri tidak memiliki pengaruh terhadap akurasi system.

2.10.4 **Kombinasi**

- a) Kontroller Integral dan Derivatif tidak pernah digunakan sendirian
- b) Dari ketiga controller dasar tersebut dapat dibuat controller kombinasi yang menggabungkan kelebihan setiap controller
- c) Jenis – Jenis controller kombinasi yang ada adalah PI, PD dan PID

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Metodologi merupakan langkah-langkah pengerjaan tugas akhir secara sistematis yang dilakukan sejak dimulainya pengerjaan hingga akhir dari proses penelitian. Metodologi penelitian diperlukan agar proses penelitian dapat berjalan sesuai dengan harapan dan memperoleh hasil yang maksimal.

Metode yang digunakan dalam menyusun skripsi ini adalah dengan membuat kerangka penyelesaian dari permasalahan-permasalahan yang diangkat pada skripsi ini, metode yang digunakan adalah langkah-langkah dalam menyelesaikan skripsi ini. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah volt source inverter pada shore connection untuk menemukan akurasi dari pengontrolan frekuensi. Secara garis besar berikut langkah-langkah dalam menyelesaikan skripsi ini:

3.1. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan pengidentifikasian masalah dari suatu kasus yang akan menjadi objek penelitian. Penyusunan latar belakang, rumusan masalah dan batasan masalah dilakukan agar penulisan lebih terfokus dan mencapai hasil yang diinginkan.

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperdalam pengetahuan dan pemahaman yang menunjang untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Selain itu sebagai sumber data atau referensi pendukung yang berkaitan dengan permasalahan pada tugas akhir meliputi buku diktat, teori, jurnal, thesis, laporan hasil penelitian, maupun tugas akhir sebelumnya yang berkaitan dengan masalah pada tugas akhir ini.

3.3. Pemodelan dan Simulasi Voltage Source Inverter

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan matematik *Voltage Source Inverter* yang diperoleh melalui proses analisa dinamik *Voltage Source Inverter* Setelah itu, simulasi *Voltage Source Inverter* dan konverternya dilakukan menggunakan program *Simulink Matlab*.

3.4. Pembuatan Sistem dengan Kontroller PID

Pada tahap ini dilakukan pembuatan model sistem kontroler PID. Dalam melakukan perancangan kontroler PID. Perancangan kontroler PID dilakukan melalui program *Matlab*. Setelah pemodelan kontroler PID telah selesai dilakukan untuk selanjutnya ialah menggabungkannya dengan pemodelan *volt source inverter* yang telah dilakukan sebelumnya. Simulasi dilakukan sampai didapatkan nilai error terkecil dengan respon waktu terbaik

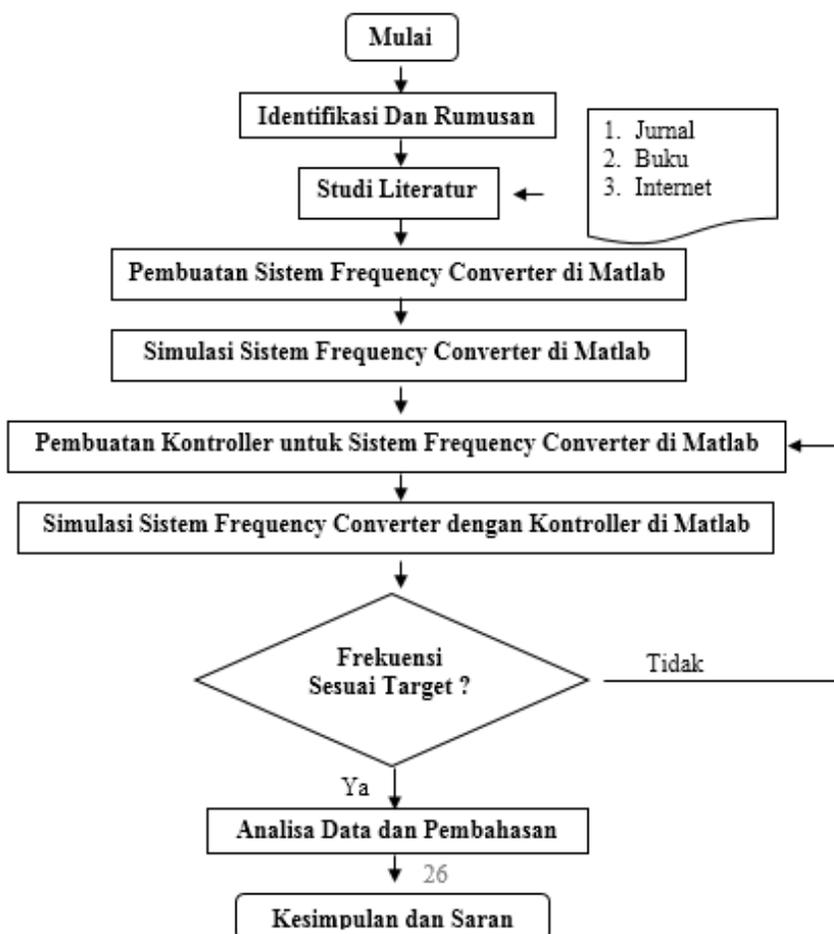
3.5. Analisa Data

Setelah dilakukan simulasi yang meliputi kontroler PID dan volt source inverter, maka tahap selanjutnya ialah melakukan analisa data dari hasil simulasi. Analisa data merupakan suatu proses untuk memeriksa, mengolah dan mengkonversi data hasil percobaan menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengambil kesimpulan yang tepat. Analisa data dilakukan berdasarkan pada hipotesa dan perumusan masalah. Dalam hal ini akan dibandingkan pengaturan frekuensi converter menggunakan volt source inverter dengan kontroler PID.

3.6. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan dari data hasil percobaan dan analisa data, maka dapat ditarik kesimpulan akhir dari penelitian ini. Kesimpulan yang baik minimal harus dapat menjawab permasalahan pokok seperti yang telah diidentifikasi di awal. Beberapa kekurangan dan permasalahan yang muncul dari hasil percobaan akan menjadi dasar penyusunan saran.

Flow Chart Metodologi Penelitian



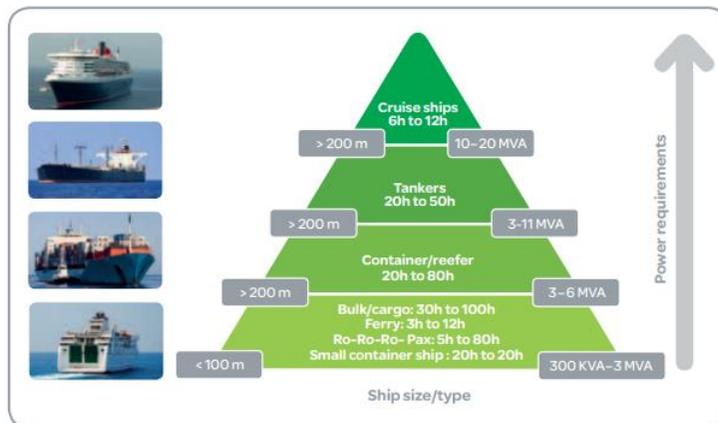
Gambar III.1. Flow Chart Metodologi Penelitian

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada bab IV ini akan dilakukan analisa terhadap data – data yang telah diperoleh dalam penelitian ini. Penelitian ini membahas tentang penggunaan frekuensi konverter untuk *shore power connection*.

4.1.1. Daya yang Diperlukan Saat Berlabuh dan Waktu Proses Bongkar Muat untuk Setiap Kapal



Gambar 4.1 Daya saat berlabuh dan waktu proses bongkar muat
sumber: Schneider electric wire paper

Pada gambar 4.1 menjelaskan bahwa kebutuhan daya yang diperlukan untuk proses bongkar muat pada setiap jenis – jenis kapal dan ukuran kapal berbeda – beda.

Tabel 4.1 Kebutuhan daya saat berlabuh dan proses bongkar muat

No	Jenis Kapal	Ukuran	Selang Waktu	Kebutuhan Daya (MVA)
1	Cruise Ships	> 200m	6 h to 12 h	10 – 20 MVA
2	Tankers	> 200 m	20 h to 50 h	3 – 11 MVA
3	Containerner	> 200 m	20 h to 80 h	3 – 6 MVA
4	Bulk/Cargo	> 100 m	30 h to 100h	3 – 6 MVA
5	Ferry	> 100 m	3 h to 12 h	300 KVA – 3MVA
6	Ro-Ro-Ro	> 100 m	20 h	300 KVA – 3 MVA

Tabel 4.2 Tegangan dan Frekuensi untuk setiap jenis kapal

Jenis Kapal	LV	HV	50 Hz	60 Hz
Container < 140m	100%	0%	63%	37%
Container > 140m	88%	12%	6%	94%
Ro-ro Ships	100%	0%	30%	70%
Oil Tankers	100%	0%	20%	80%
Cruise Ships < 200m	100%	0%	36%	64%
Cruise Ships > 200m	12%	88%	0%	100%

Sumber: Schneider electric wire paper – shore connection technology

Pada table 4.1 dan 4.2 dijelaskan bahwa kapal yang berukuran kurang dari 100 meter selang waktu untuk bongkar muat antara 3 sampai 100 jam pada jenis – jenis tertentu dan kebutuhan daya untuk bongkar muat dari 300 KVA sampai 6 MVA.

4.1.2. Standar Shore Power Connection

Terdapat standar dalam merencanakan *shore power connection*, yakni Standard EC/ISO/IEEE 80005-3:2014 Low Voltage Shore Connection (LVSC). Dalam standar tersebut berbunyi :

“This part of IEC 80005-3:2014 describes low voltage shore connection (LVSC) systems, on board the ship and on shore, to supply the ship with electrical power from shore.”

Pada standar tersebut, dikatakan bahwa pada *shore connection* tegangan tinggi tidak diberlakukan dalam standar ini. Selain itu, pada saat kapal docking atau ketika perawatan dan perbaikan tidak berlaku standar ini. Diharapkan system LVSC akan memiliki aplikasi praktis untuk kapal yang membutuhkan hingga 1 MVA. Pada pelabuhan Bergen di Norwegia shore connection dapat memberikan frekuensi 50 Hz dan 60 Hz dengan tingkat tegangan 440 sampai 690 V.

Tabel 4.3 Tegangan dan Daya yang ada di Pelabuhan Bergen

Voltage	KVA	Number of Cables
440V	250 KVA	1
440V	500 KVA	2
690V	390 KVA	1
690V	750 KVA	1

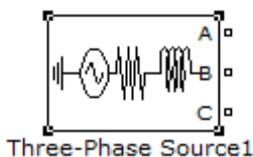
4.1.3 Standar Toleransi Frekuensi

Terdapat standar toleransi frekuensi yakni standar *IEEE-std-45* for merchant ships. Dalam standar tersebut berkata bahwa normal toleransi frekuensi dalam 60 hz yaitu kurang lebih 3%/.

4.2. Komponen Sistem Frequency Converter

Terdapat berbagai komponen dalam simulasi rangkaian system frekuensi konverter pada matlab berikut adalah komponen – komponen tersebut :

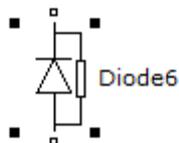
4.2.1 Sumber Tegangan 3 Fasa (Shore Connection)



Gambar 4.2 Sumber Tegangan 3 Fasa

Sumber Tegangan ini diasumsikan memiliki tegangan 400 V, frekuensi sebesar 50 Hz dan daya sebesar 10e6 VA atau sebesar 10 MVA

4.2.2 Dioda



Gambar 4.3 Dioda

Fungsi dari Dioda adalah sebagai penyearah tegangan AC

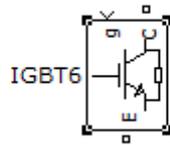
4.2.3 Kapasitor



Gambar 4.4 Kapasitor

Fungsi dari Kapasitor adalah sebagai penyimpan medan magnet dalam bentuk tegangan.

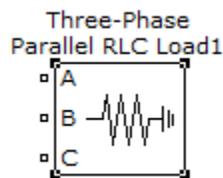
4.2.4 IGBT



Gambar 4.5 IGBT

IGBT atau transistor berfungsi sebagai pemutus dan penyambung (saklar), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal dan berbagai fungsi lainnya.

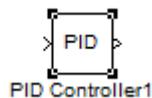
4.2.5 Beban 3 Fasa (Kapal)



Gambar 4.6 Beban 3 Fasa

Three phase parallel RLC laod yang berfungsi sebagai beban yang memiliki tegangan sebesar 622 Hz, frekuensi sebesar 60 Hz dan daya sebesar 10e6 Watt atau 10 KW.

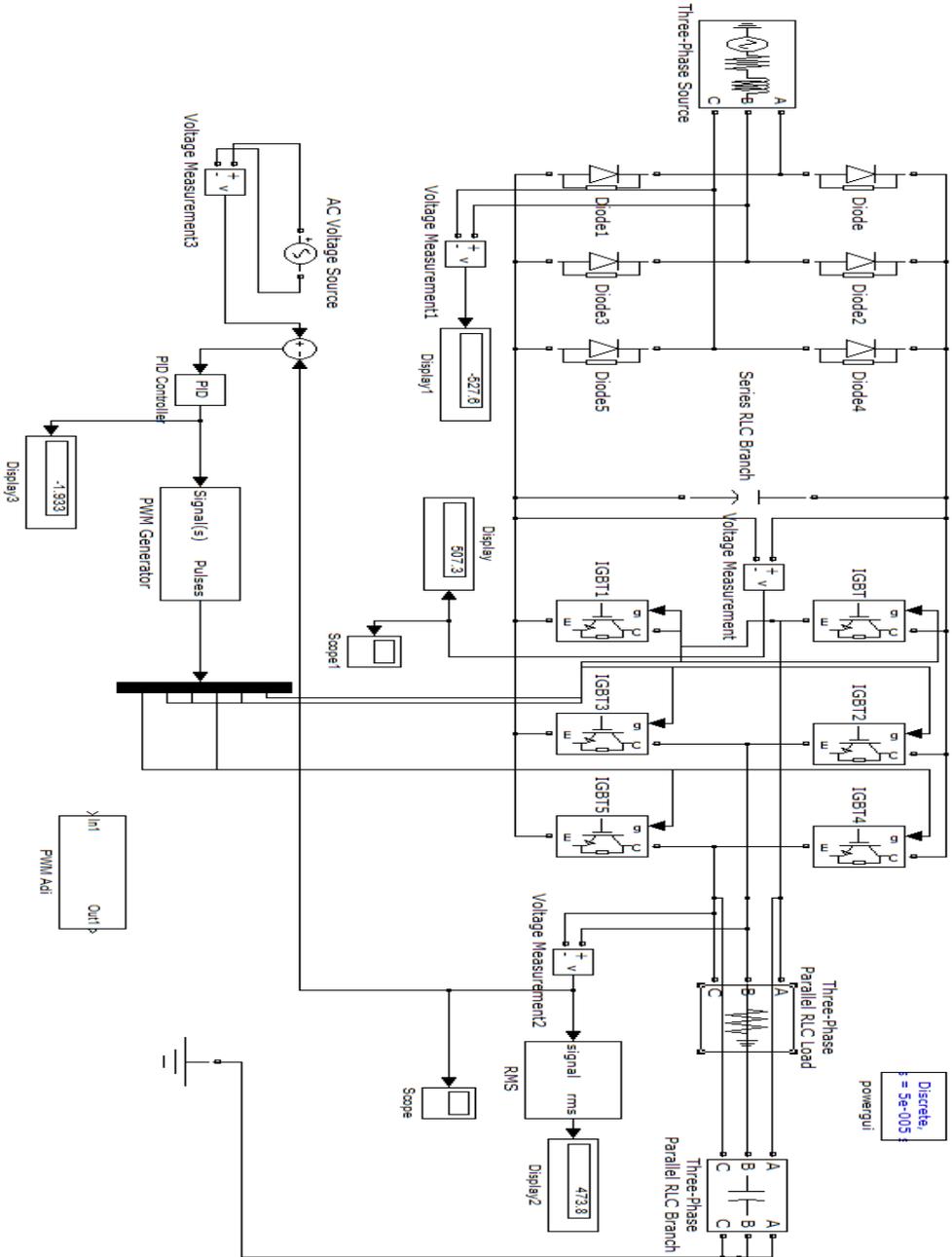
4.2.6 Kontroller PID



Gambar 4.7 Kontroller PID

PID controller yang berfungsi sebagai pengatur keluaran frekuensi yang keluar dari IGBT

4.3 Pembuatan Simulasi Sistem Frekuensi Konverter



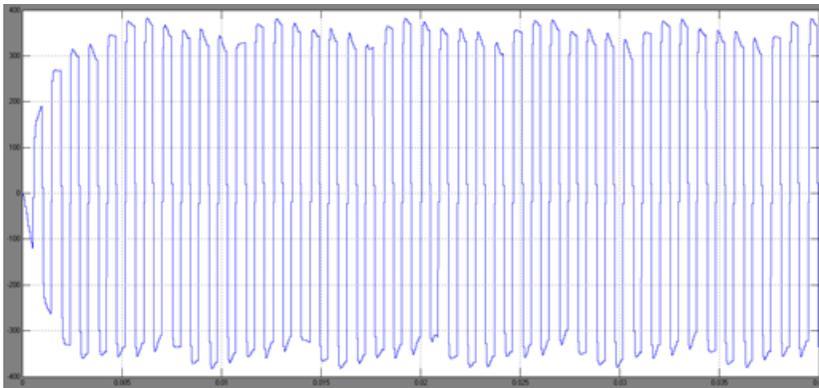
Gambar 4.7 Rangkaian Simulasi Frekuensi Konverter

4.4 Data Hasil Simulasi

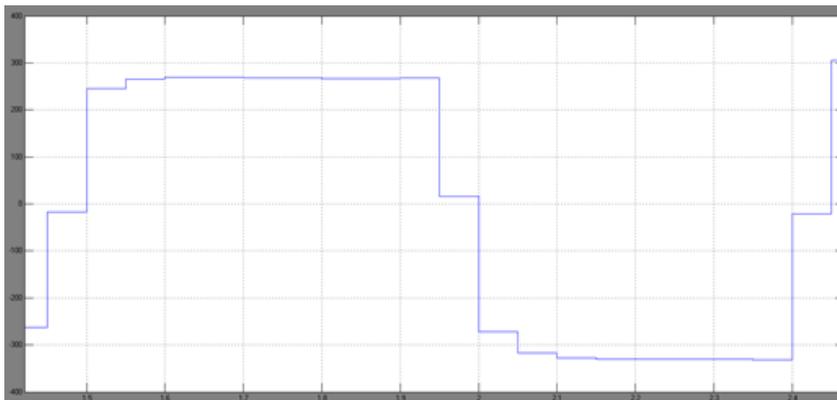
Simulasi dilakukan untuk mengetahui kinerja system PID dengan parameter PID yang ditentukan yaitu dengan mengubah nilai – nilai P, I, dan D. Dengan pengubahan konstanta proporsional, integral, dan derivative kita dapat menganalisa frekuensi yang dihasilkan.

4.4.1. Percobaan tanpa Kontroller

- a. Grafik sinus yang dihasilkan pada output beban



- b. Grafik sinus output beban diperbesar.



Hasil pada grafik menunjukkan periode yaitu selang waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang. Waktu awalan membentuk satu gelombang menunjukkan angka 2.4 sekon, dan waktu akhir membentuk satu gelombang menunjukkan angka 1.25.

Dari data di atas dihitung nilai periode, nilai frekuensi, presentase error sebagai berikut :

- Periode

$$\text{Periode (T)} = \frac{T_{\text{Sekon}}}{T_{\text{Jumlah Getaran}}} = \frac{2.4 - 1.25}{1} = 0.87$$

- Frekuensi

$$\text{Frekuensi (F)} = \frac{1}{T_{\text{periode}}} = \frac{1}{1.15} = 0.87$$

- Presentase error

$$\text{Error} = \frac{\text{nilai real} - \text{nilai terbaca}}{\text{nilai real}} \times 100 \% = \frac{60 - 0.87}{60} \times 100 \% = 98.55\%$$

- Akurasi Frekuensi

$$\text{Akurasi Frekuensi (\%)} = 100\% - \text{presentase error} = 100\% - 98.55 = 1.45\%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4.4.1 Hasil dari data dengan percobaan tanpa kontroller

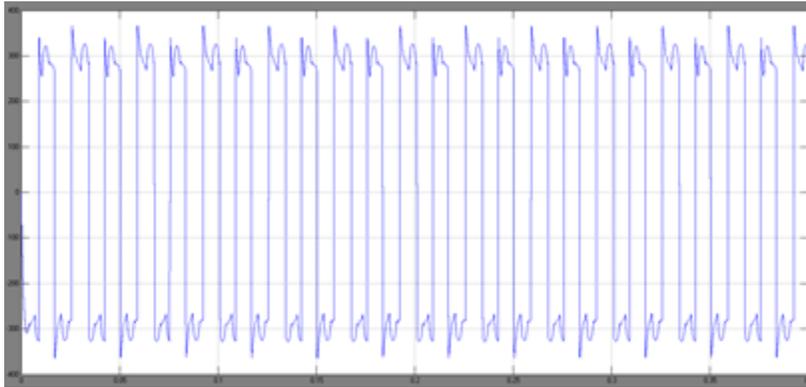
Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
2.4	1.25	1.15	0.87	98.55%	1.45%
3.3	2.4	0.90	1.11	98.15%	1.85%
4.25	3.3	0.95	1.05	98.25%	1.75%
5.15	4.25	0.90	1.11	98.15%	1.85%
Nilai Rata - Rata		0.98	1.04	0.13%	1.73%

Pada simulasi perubahan frekuensi dari 50 ke 60 hz tanpa kontroller ini dapat disimpulkan bahwa nilai frekuensi yang dihasilkan tidak memenuhi standar *IEEE std 45* yang berbunyi nilai toleransi frekuensi kurang lebih sebesar 3%. Hasil simulasi tersebut menunjukkan perubahan frekuensi yang tidak baik dan error yang sangat besar.

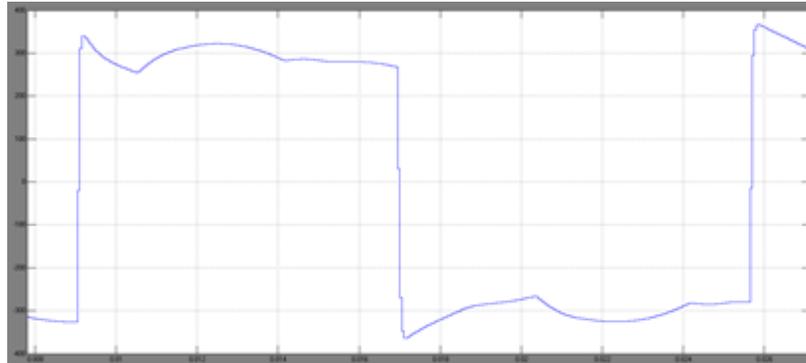
Simulasi perubahan frekuensi tanpa controller ini membuktikan bahwa perlu adanya controller untuk mengatur frekuensi agar tepat dan akurasi yang diinginkan sesuai dengan standard *IEEE std 45*

4.4.2. Percobaan dengan kontroler nilai P 0.004 dan I 0.004

c. Grafik sinus yang dihasilkan pada output beban



d. Grafik sinus output beban diperbesar.



Hasil pada grafik menunjukkan periode yaitu selang waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang. Waktu awalan membentuk satu gelombang menunjukkan angka 0.0258 sekon, dan waktu akhir membentuk satu gelombang menunjukkan angka 0.0091.

Dari data di atas dihitung nilai periode, nilai frekuensi, presentase error sebagai berikut :

- Periode

$$\text{Periode (T)} = \frac{T_{\text{Sekon}}}{T_{\text{Jumlah Getaran}}} = \frac{0.0423 - 0.0258}{1} = 0.0165$$

- Frekuensi

$$\text{Frekuensi (F)} = \frac{1}{T_{\text{periode}}} = \frac{1}{0.0165} = 60.60$$

- Presentase error

$$\text{Error} = \frac{\text{nilai real} - \text{nilai terbaca}}{\text{nilai real}} \times 100 \% = \frac{60 - 60.60}{60} \times 100\% = 1.0101\%$$

- Akurasi Frekuensi
Akurasi Frekuensi (%) = 100% - presentase error = 100%-1.01=98.99%

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4.4 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0423	0.0258	0.0165	60.61	1.010%	98.99%
0.0592	0.0423	0.0169	59.17	1.381%	98.62%
0.0758	0.0592	0.0166	60.24	0.402%	99.60%
0.0925	0.0758	0.0167	59.88	0.200%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.01668	59.97	0.748%	99.25%

4.4.3. Percobaan nilai P dan I dinaikan 5%

a) Nilai P dinaikan 5% dan I tetap

Tabel 4.5 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0257	0.00905	0.0166	60.06	0.100%	99.90%
0.0424	0.0257	0.0167	59.88	0.200%	99.80%
0.059	0.0424	0.0166	60.24	0.402%	99.60%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.200%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0166	60.02	0.225%	99.77%

b) Nilai P tetap dan I dinaikan 5%

Tabel 4.6 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0042

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0256	0.009	0.0166	60.24	0.401%	99.59%
0.0424	0.0256	0.0168	59.52	0.793%	99.20%
0.0592	0.0424	0.0168	59.52	0.79%	99.20%
0.0757	0.0592	0.0165	60.60	1.010%	98.99%
Nilai Rata - Rata		0.0166	59.97	0.152%	99.25%

c) Nilai P dan I dinaikan 5%

Tabel 4.7 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.0042

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02573	0.00905	0.0166	59.95	0.080%	99.92%
0.0424	0.02573	0.0166	59.99	0.020%	99.98%
0.059	0.0424	0.0166	60.24	0.402%	99.60%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.200%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0166	60.02	0.135%	99.82%

4.4.4. Percobaan nilai P dan I dinaikan 10%

d) Nilai P dinaikan 10% dan I tetap

Tabel 4.8 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02572	0.00905	0.0167	59.99	0.02%	99.98%
0.0424	0.02572	0.0167	59.95	0.08%	99.92%
0.059	0.0424	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
0.07571	0.059	0.0167	59.84	0.26%	99.74%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.01	0.18%	99.80%

e) **Nilai P tetap dan I dinaikan 10%**

Tabel 4.9 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0044

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02565	0.00905	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
0.0424	0.02565	0.0168	59.70	0.50%	99.50%
0.059	0.0424	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.02	0.38%	99.62%

f) **Nilai P dan I dinaikan 10%**

Tabel 4.10 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 & I 0.0044

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02575	0.00905	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
0.0424	0.02575	0.0166	60.06	0.10%	99.90%
0.0589	0.04243	0.0164	60.72	1.19%	98.81%
0.0757	0.0589	0.0168	59.52	0.79%	99.21%
Nilai Rata - Rata		0.0166	60.05	0.42%	99.43%

4.4.5. **Percobaan nilai P dan I dinaikan 15%**

g) **Nilai P dinaikan 15% dan I tetap**

Tabel 4.11 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 & I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0257	0.009049	0.0166	60.06	0.09%	99.91%
0.0424	0.0257	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
0.059	0.04243	0.0165	60.35	0.58%	99.42%
0.0758	0.059	0.0168	59.52	0.79%	99.21%
Nilai Rata - Rata		0.0166	59.95	0.42%	99.58%

h) Nilai P tetap dan I dinaikan 15%

Tabel 4.12 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 & I 0.0046

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02569	0.00905	0.0166	60.10	0.16%	99.84%
0.0424	0.02569	0.0167	59.84	0.26%	99.74%
0.059	0.0424	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
0.07577	0.059	0.0167	59.63	0.62%	99.38%
Nilai Rata - Rata		0.0166	59.95	0.36%	99.64%

i) Nilai P tetap dan I dinaikan 15%

Tabel 4.13 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 & I 0.0046

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0257	0.00905	0.0167	60.06	0.10%	99.90%
0.04242	0.0257	0.0167	59.81	0.32%	99.68%
0.0592	0.04242	0.0168	59.59	0.68%	99.32%
0.07579	0.0592	0.0166	60.28	0.46%	99.54%
Nilai Rata - Rata		0.0167	59.94	0.18%	99.61%

4.4.6. Percobaan nilai P dan I diturunkan 5%

j) Nilai P diturunkan 5% dan I tetap

Tabel 4.14 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02569	0.00905	0.0166	60.09	0.16%	99.84%
0.0423	0.02569	0.0166	60.20	0.34%	99.65%
0.059	0.0423	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.19%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.01	0.045%	99.77%

k) Nilai P tetap dan I diturunkan 5%

Tabel 4.15 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0038

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02569	0.0091	0.0166	60.28	0.46%	99.54%
0.04247	0.02569	0.0168	59.59	0.68%	99.32%
0.059	0.04247	0.0165	60.50	0.83%	99.17%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.06	0.54%	99.46%

l) Nilai P dan I diturunkan 5%

Tabel 4.16 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 & I 0.0038

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02569	0.0091	0.0166	60.28	0.46%	99.54%
0.04239	0.02569	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
0.059	0.04239	0.0166	60.20	0.34%	99.66%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.06	0.30%	99.70%

4.4.7. Percobaan nilai P dan I diturunkan 10%

m) Nilai P diturunkan 10% dan I tetap

Tabel 4.17 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02565	0.00905	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
0.04239	0.02565	0.0167	59.74	0.44%	99.56%
0.0591	0.04239	0.0167	59.84	0.26%	99.97%
0.0757	0.0591	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.02	0.04%	99.68%

n) Nilai P tetap dan I diturunkan 10%

Tabel 4.18 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0036

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02569	0.00905	0.0166	60.10	0.16%	99.84%
0.0424	0.02569	0.0167	59.84	0.26%	99.74%
0.0592	0.0424	0.0168	59.52	0.79%	99.21%
0.0757	0.0592	0.0165	60.61	1.01%	98.99%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.02	0.35%	99.45%

o) Nilai P dan I diturunkan 10%

Tabel 4.19 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 & I 0.0036

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02563	0.00905	0.0166	60.31	0.52%	99.48%
0.04239	0.02563	0.0168	59.67	0.56%	99.44%
0.059	0.04239	0.0166	60.20	0.34%	99.66%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.02	0.41%	99.59%

4.4.8. Percobaan nilai P dan I diturunkan 15%

p) Nilai P diturunkan 15% dan I tetap

Tabel 4.20 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02562	0.009	0.0166	60.17	0.28%	99.72%
0.04239	0.02562	0.0168	59.63	0.61%	99.38%
0.059	0.04239	0.0166	60.20	0.34%	99.66%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	59.97	0.35%	99.64%

q) **Nilai P tetap dan I diturunkan 15%**

Tabel 4.21 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0034

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02565	0.00905	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
0.0424	0.02565	0.0168	59.70	0.50%	99.50%
0.059	0.0424	0.0166	60.24	0.40%	99.60%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	60.02	0.38%	99.62%

r) **Nilai P dan I diturunkan 15%**

Tabel 4.22 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 & I 0.0034

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.02569	0.009	0.0167	59.92	0.14%	99.86%
0.04239	0.02569	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
0.059	0.04239	0.0166	60.20	0.34%	99.66%
0.0757	0.059	0.0167	59.88	0.20%	99.80%
Nilai Rata - Rata		0.0167	59.97	0.15%	99.78%

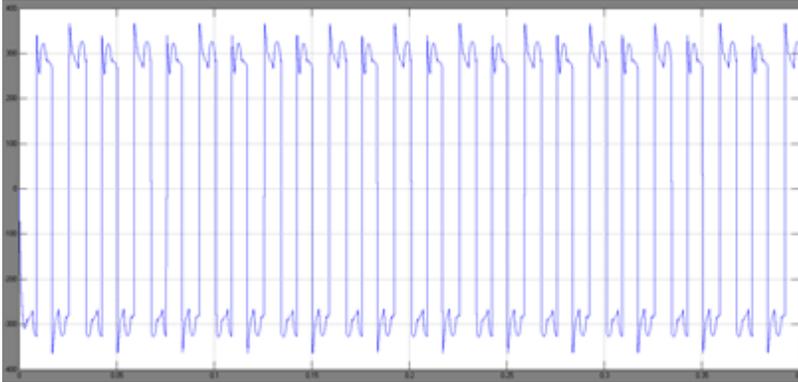
Pada simulasi perubahan frekuensi dari 50 ke 60 hz dapat disimpulkan bahwa nilai konstanta kontroller proporsional dan integral dengan nilai 0.004 dinaikan dan diturunkan mencapai 15% tidak terjadi banyak perubahan yang signifikan, Hasil simulasi tersebut menunjukkan perubahan frekuensi yang baik dan error yang sangat kecil.

Simulasi perubahan frekuensi nilai konstanta kontroller yang paling baik yaitu konstanta proporsional 0.0042 dan konstanta integral 0.0042 dikarenakan memiliki presentase error yang paling kecil dan memiliki akurasi pengontrolan yang paling baik sebesar 99.82%, untuk perbedaan tegangan antar gelombang masih pada batas wajar pada standard IEEE toleransi tegangan kurang lebih 5%.

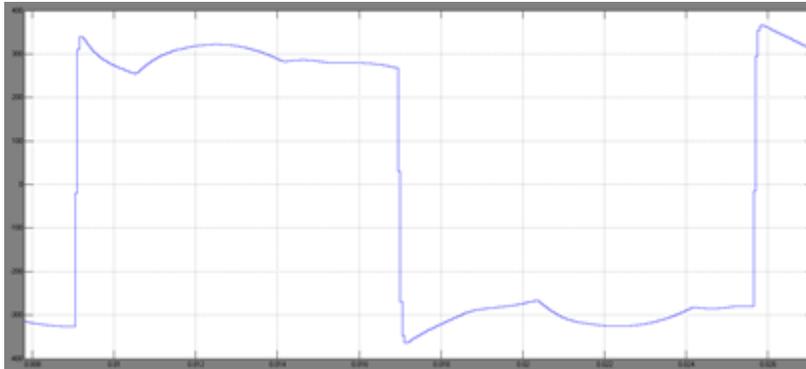
4.5 Percobaan perubahan frekuensi dari 60 ke 50hz

4.5.1. Percobaan nilai P 0.004 dan I 0.004

e. Grafik sinus yang dihasilkan pada output beban.



f. Grafik sinus output beban diperbesar.



Hasil pada grafik menunjukkan periode yaitu selang waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang. Waktu awalan membentuk satu gelombang menunjukkan angka 0.0108 sekon, dan waktu akhir membentuk satu gelombang menunjukkan angka 0.0108.

Dari data di atas dihitung nilai periode, nilai frekuensi, presentase error sebagai berikut :

- Periode

$$\text{Periode (T)} = \frac{T_{\text{Sekon}}}{T_{\text{Jumlah Getaran}}} = \frac{0.0312 - 0.0108}{1} = 0.0204$$

- Frekuensi

$$\text{Frekuensi (F)} = \frac{1}{T_{\text{periode}}} = \frac{1}{0.0204} = 49.01$$

- Presentase Error

$$\text{Error} = \frac{\text{nilai real} - \text{nilai terbaca}}{\text{nilai real}} \times 100\% = \frac{50 - 49.01}{50} \times 100\% = 1.96\%$$

- Akurasi Frekuensi

Akurasi Frekuensi (%) = 100% - presentase error = 100%-1.96=98.04%

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4.23 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi	
T output	T input	(T)				
(T)	(T)		(F)	%	%	
0.0312	0.0108	0.0204	49.02	1.96%	98.04%	
0.0507	0.0312	0.0195	51.28	2.56%	97.43%	
0.0721	0.0516	0.0205	48.78	2.44%	97.56%	
0.0915	0.0721	0.0194	51.55	3.09%	96.90%	
Nilai Rata - Rata			0.0200	50.16	0.31%	97.49%

4.5.2. Percobaan nilai P dan I dinaikan 5%

a) Nilai P dinaikan 5% dan I tetap

Tabel 4.24 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi	
T output	T input	(T)				
(T)	(T)		(F)	%	%	
0.0312	0.0109	0.0203	49.26	1.48%	98.52%	
0.0507	0.0312	0.0195	51.28	2.56%	97.44%	
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%	
0.09135	0.071	0.0204	49.14	1.72%	98.28%	
Nilai Rata - Rata			0.0201	49.74	0.53%	98.19%

b) Nilai P tetap dan I dinaikan 5%

Tabel 4.25 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0042

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi	
T output	T input	(T)				
(T)	(T)		(F)	%	%	
0.03115	0.01085	0.0203	49.26	1.48%	98.52%	
0.05072	0.03115	0.0196	51.10	2.20%	97.80%	
0.071	0.05072	0.0203	49.31	1.38%	98.62%	
0.0906	0.071	0.0196	51.02	2.04%	97.96%	
Nilai Rata - Rata			0.0199	50.17	0.34%	98.23%

c) Nilai P dan I dinaikan 5%

Tabel 4.26 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0042 & I 0.0042

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0312	0.01089	0.0203	49.24	1.53%	98.47%
0.05071	0.0312	0.0195	51.26	2.51%	97.49%
0.071	0.05071	0.0203	49.29	1.43%	98.57%
0.09135	0.071	0.0204	49.14	1.72%	98.28%
Nilai Rata - Rata		0.0201	49.73	0.54%	98.20%

4.5.3. Percobaan nilai P dan I dinaikan 10%

d) Nilai P dinaikan 10% dan I tetap

Tabel 4.27 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0312	0.0109	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.0507	0.0312	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.09139	0.071	0.0204	49.04	1.91%	98.09%
Nilai Rata - Rata		0.0201	49.71	0.58%	98.14%

e) Nilai P tetap dan I dinaikan 10%

Tabel 4.28 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0044

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03115	0.0109	0.0203	49.38	1.23%	98.77%
0.0507	0.03115	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.09055	0.071	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.24	0.47%	98.17%

f) Nilai P dan I dinaikan 10%

Tabel 4.29 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0044 & I 0.0044

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0312	0.01085	0.0204	49.14	1.72%	98.28%
0.0507	0.0312	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.09135	0.071	0.0204	49.14	1.72%	98.28%
Nilai Rata - Rata		0.0201	49.71	0.59%	98.13%

4.5.4. Percobaan nilai P dan I dinaikan 15%

g) Nilai P dinaikan 15% dan I tetap

Tabel 4.30 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 & I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0312	0.01089	0.0203	49.24	1.53%	98.47%
0.05078	0.0312	0.0196	51.07	2.15%	97.85%
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.09135	0.071	0.0204	49.14	1.72%	98.28%
Nilai Rata - Rata		0.0201	49.68	0.64%	98.28%

h) Nilai P tetap dan I dinaikan 15%

Tabel 4.31 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 & I 0.0046

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0311	0.01085	0.0203	49.38	1.23%	98.77%
0.0507	0.0311	0.0196	51.02	2.04%	97.96%
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.09055	0.071	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.20	0.41%	98.24%

i) Nilai P tetap dan I dinaikan 15%

Tabel 4.32 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0046 & I 0.0046

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0312	0.01089	0.0203	49.24	1.53%	98.47%
0.05075	0.0311	0.0197	50.89	1.78%	98.22%
0.071	0.05075	0.0203	49.38	1.23%	98.77%
0.0914	0.071	0.0204	49.02	1.96%	98.04%
Nilai Rata - Rata		0.0202	49.63	0.74%	98.37%

4.5.5. Percobaan nilai P dan I diturunkan 5%

j) Nilai P diturunkan 5% dan I tetap

Tabel 4.33 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03115	0.01085	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.0507	0.03115	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.09055	0.071	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.21	0.41%	98.11%

k) Nilai P tetap dan I diturunkan 5%

Tabel 4.34 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0038

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03119	0.0108	0.0204	49.04	1.91%	98.09%
0.05075	0.03119	0.0196	51.12	2.25%	97.75%
0.071	0.05075	0.0203	49.38	1.23%	98.77%
0.0905	0.071	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.21	0.42%	98.01%

l) Nilai P dan I diturunkan 5%

Tabel 4.35 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0038 & I 0.0038

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03115	0.01089	0.0203	49.36	1.28%	98.72%
0.0507	0.03115	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
0.071	0.0507	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.09055	0.071	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.23	0.46%	98.16%

4.5.6. Percobaan nilai P dan I diturunkan 10%

m) Nilai P diturunkan 10% dan I tetap

Tabel 4.36 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03115	0.0109	0.0203	49.38	1.23%	98.77%
0.0507	0.03115	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
0.0702	0.0507	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
0.09055	0.0702	0.0204	49.14	1.72%	98.28%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.24	0.48%	98.05%

n) Nilai P tetap dan I diturunkan 10%

Tabel 4.37 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0036

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03115	0.01085	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.05078	0.03115	0.0196	50.94	1.88%	98.12%
0.071	0.05078	0.0202	49.46	1.09%	98.91%
0.09055	0.071	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.20	0.41%	98.31%

o) Nilai P dan I diturunkan 10%

Tabel 4.38 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0036 & I 0.0036

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03115	0.01085	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.0507	0.03115	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
0.0702	0.0507	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
0.09055	0.0702	0.0204	49.14	1.72%	99.58%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.21	0.42%	98.31%

4.5.7. Percobaan nilai P dan I diturunkan 15%

p) Nilai P diturunkan 15% dan I tetap

Tabel 4.39 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 dan I 0.004

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0304	0.01085	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
0.0507	0.0304	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.0702	0.0507	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
0.0905	0.0702	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.24	0.48%	98.04%

q) Nilai P tetap dan I diturunkan 15%

Tabel 4.40 Hasil dari data dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0034

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.03115	0.01085	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.0508	0.03115	0.0197	50.89	1.78%	98.22%
0.071	0.0508	0.0202	49.50	0.99%	99.01%
0.09055	0.071	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
Nilai Rata - Rata		0.0199	50.20	0.40%	98.36%

r) Nilai P dan I diturunkan 15%

Tabel 4.41 Hasil dari data dengan percobaan P 0.0034 & I 0.0034

Periode			Frekuensi	Presentase Error	Akurasi Frekuensi
T output	T input	(T)			
(T)	(T)		(F)	%	%
0.0304	0.01085	0.0196	51.15	2.30%	97.70%
0.0507	0.0304	0.0203	49.26	1.48%	98.52%
0.0702	0.0507	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
0.0905	0.071	0.0195	51.28	2.56%	97.44%
Nilai Rata - Rata		0.0197	50.74	1.49%	97.77%

Pada simulasi perubahan frekuensi dari 60 ke 50 hz dapat disimpulkan bahwa nilai konstanta kontroller proporsional dan integral dengan nilai 0.004 dinaikan dan diturunkan mencapai nilai 15% tidak terjadi banyak perubahan yang signifikan, Hasil simulasi tersebut menunjukkan perubahan frekuensi yang baik dan error yang diijinkan pada standar *IEEE std-45*.

Pada tabel 4.22 menunjukkan bahwa terdapat presentase error sebesar 3% yang berarti melebihi batas toleransi standar *IEEE-std-45, page 23* pada konstanta proporsional 0.004 dan konstanta integral 0.004 maka tidak boleh dipakai karena melebihi standar yang telah disebutkan.

Pada hasil simulasi perubahan frekuensi 60 ke 50hz nilai konstanta kontroller yang paling baik yaitu konstanta proporsional 0.0046 dan konstanta integral 0.0046 dikarenakan memiliki presentase error yang paling kecil dan akurasi frekuensi rata – rata sebesar 98.37%, untuk perbedaan tegangan antar gelombang masih pada batas wajar pada standard IEEE toleransi tegangan kurang lebih 5%.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang dilakukan didapatkan hal – hal penting sebagai berikut :

- a. Dari simulasi yang dibuat maka didapatkan rangkaian voltage source inverter yang tepat dengan controller PID, alasan memilih controller PID dikarenakan frekuensi cenderung turun apabila diberi beban sehingga diperlukan pengendali untuk mengatasi perubahan frekuensi.
- b. Pengaturan frekuensi diatur dengan mengatur konstanta masukan *proporsional*, *integral*, *derivatif* menghasilkan pengendali yang bagus dan handal Karena ketiga konstanta tersebut dapat saling melengkapi kekurangan masing – masing. Pengendali PID cocok untuk mengatasi perubahan yang mendadak..
- c. Simulasi perubahan frekuensi 50 hz menuju ke 60hz nilai konstanta controller yang paling baik yaitu konstanta proporsional 0.0042 dan konstanta integral 0.0042 dikarenakan memiliki rata – rata frekuensi paling baik 60,02% presentase error yang paling kecil sebesar 0.135% dan akurasi yang paling tinggi 99,82%
- d. Pada hasil simulasi perubahan frekuensi 60 ke 50hz nilai konstanta controller yang paling baik yaitu konstanta proporsional 0.0046 dan konstanta integral 0.0046 dikarenakan memiliki nilai rata – rata presentase error yang paling kecil sebesar 0.74% dan akurasi frekuensi yang paling tinggi sebesar 98.37%
- e. Pada simulasi pengontrolan frekuensi dengan menggunakan kontrol proporsional, integral, dan derivative tersebut sebenarnya cukup menggunakan kontrol proporsional dan integral saja, pada saat dilakukan pengubahan nilai konstanta derivative pada hasil simulasi menunjukkan respon yang tidak bagus.

5.2 SARAN

Adapun saran agar nanti pada saat melakukan tugas akhir sejenis dengan ini bisa memberikan hasil yang lebih maksimal.

Pada tugas akhir ini hanya menggunakan controller PID saja. Akan lebih baik jika dapat dikembangkan dengan menggunakan controller jenis lainnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi Kurniawan., Hery Hariyanto “*Perencanaan Kontrol PID Pada Motor Induksi Berbasis Matlab Simulink*”, Universitas Semarang, Semarang, 2012.
- [2] Ardiansyah H., Riawan D.C., Anam S. (2012). “Studi Regulasi Output Generator Induksi dengan Voltage Source Inverter”.
- [3] Azmi ,S.A., Ahmed ,K.H, Finney ,S.J. and Williams ,B.W. “Comparative Analysis Between Voltage And Current Source Inverters In Grid - Connected Application”. IEEE.
- [4] Mohan, N., Undeland, T.M., and Robbins, W.P., 1995. *Power Electronics, Converters, Applications, and Design*, Second Edition, John Wiley & Sons, Singapore.
- [5] Shokrollah Hamid, Timorabadi , "Voltage Source Inverter for Voltage Control and Frequency Control of A Stand-Alone Self-Excited Induction Generator"University of Toronto Canada.1998
- [6] Theraja BL., “*A Text-book of Electrical Technology*”, 17th Revised Edition, S. Chand & Company Ltd, Ram Nagar, New Delhi, 1978.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

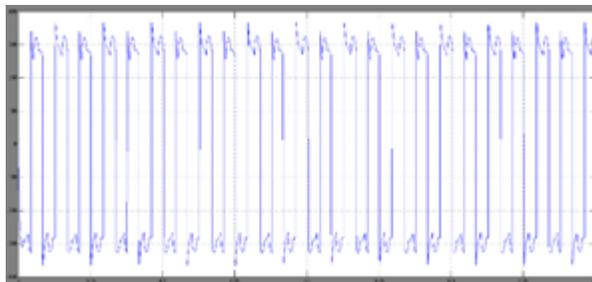
1. Tabel standard IEEE page 23 toleransi frekuensi

Shipboard Electrical Power Systems

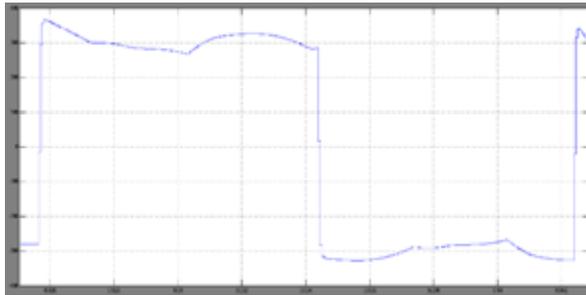
TABLE 13.6
MIL-Std-1399 Type I Power

Characteristic parameter	MIL-Std-1399
Normal frequency tolerance from 60 Hz	±3%
Normal frequency modulation	½%
Transient frequency tolerance	±4%
Transient frequency recovery time	2 sec
Worst-case frequency excursion due to all reasons combined, except under emergency conditions	±5½%
Average of three line-to-line voltages (user voltage)	±5%
Any one line-to-line voltage	±7%
Line voltage unbalance	3%
Line voltage modulation	2%
Transient voltage tolerance	±16%
Transient voltage recovery time	2 sec
Voltage spikes (peak value, including fundamental)	See (a) and (b)
(a) ± 2500 V in 440 V system (b) ± 1000 V in 115 V system	In first column
Worst-case voltage excursion due to all reasons combined	+70%

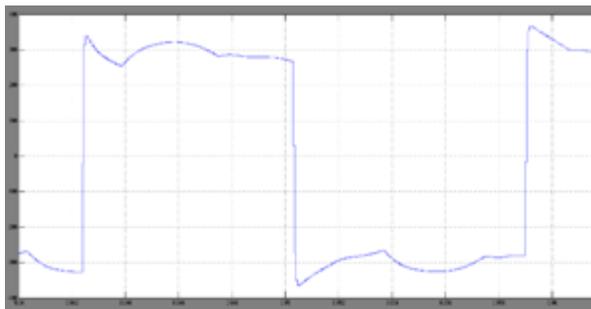
2. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.004 dan I 0.004



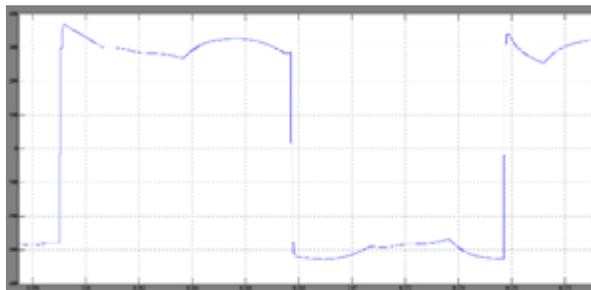
3. T output 0.0423 dan T input 0.0592



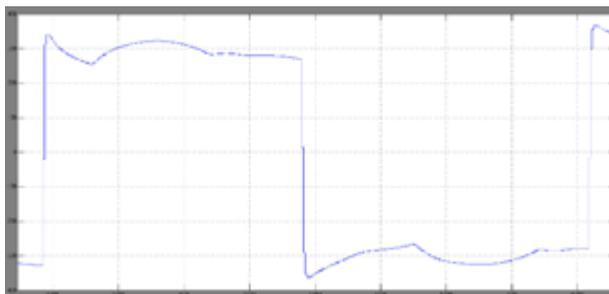
4. T output 0.0592 dan T input 0.0423



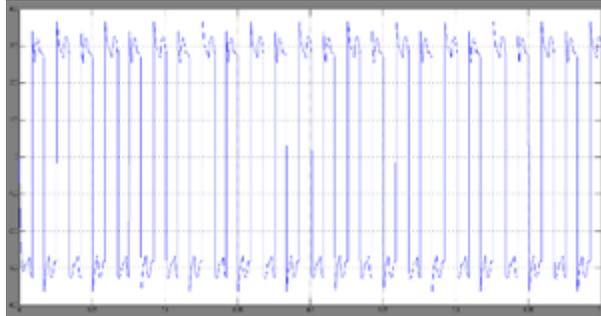
5. T output 0.0758 dan T input 0.0592



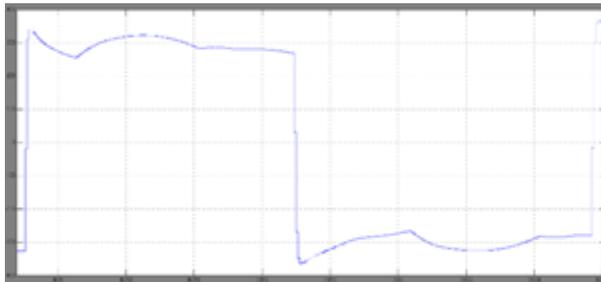
6. T output 0.0925 dan T input 0.0758



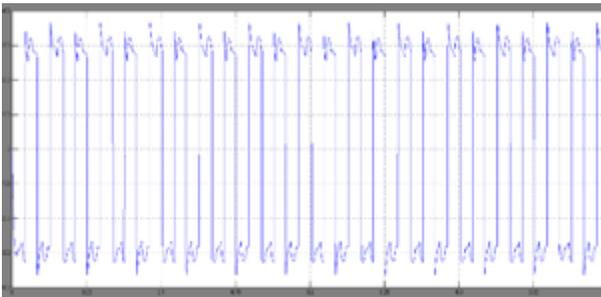
7. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.004



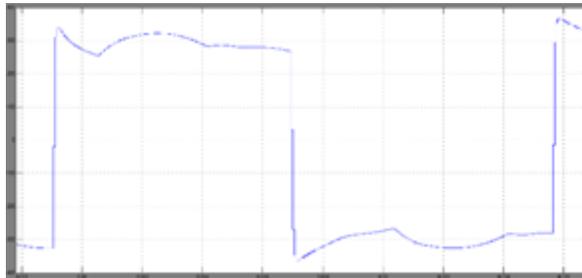
8. T output 0.0257 dan T input 0.00905



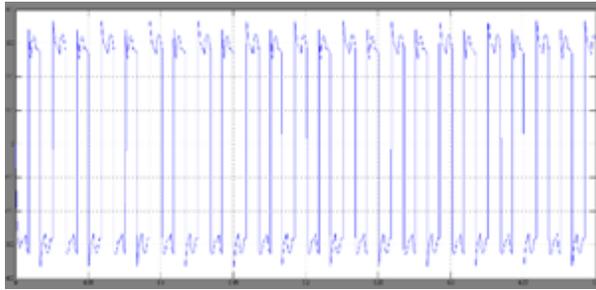
9. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0042



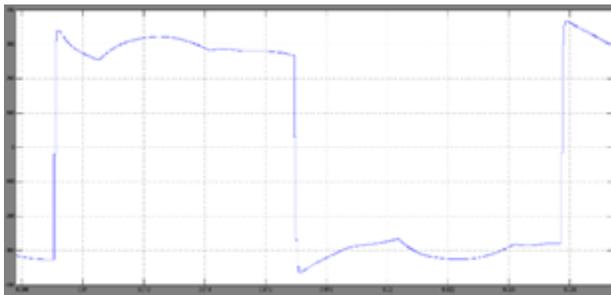
10. T output 0.0256 dan T input 0.009



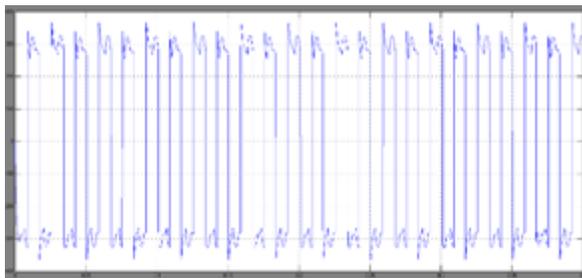
11. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0042 dan I 0.0042



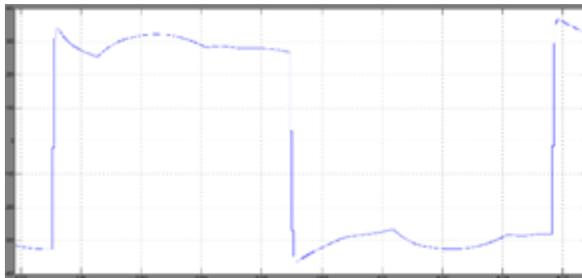
12. T output 0.02573 dan T input 0.00905



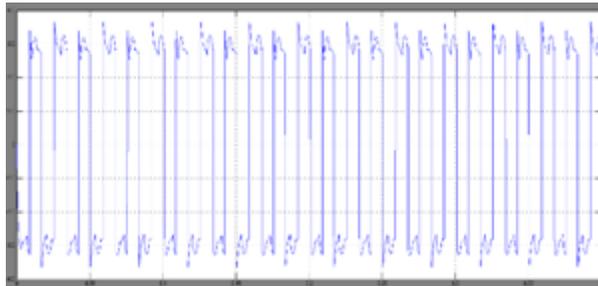
13. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0044



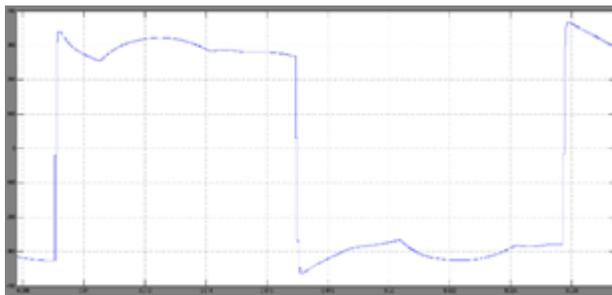
14. T output 0.02565 dan T input 0.00905



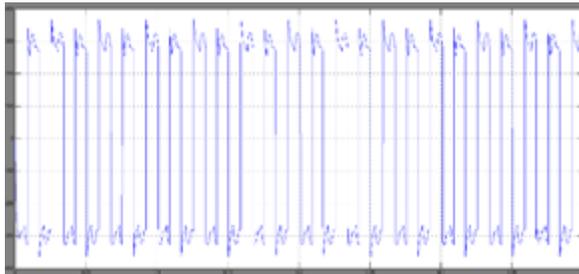
15. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0044 dan I 0.004



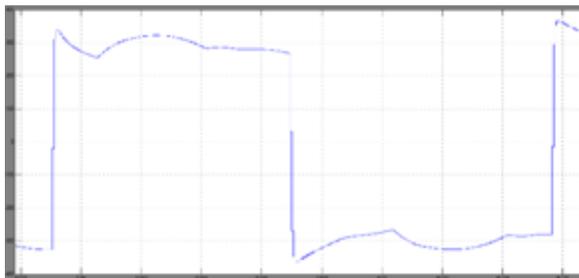
16. T output 0.02572 dan T input 0.00905



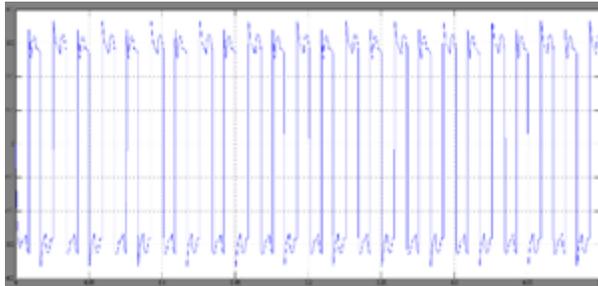
17. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.044 dan I 0.0044



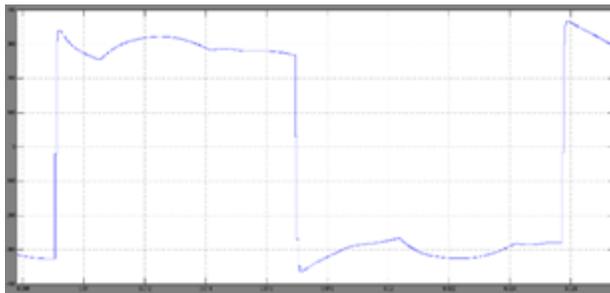
18. T output 0.02575 dan T input 0.00905



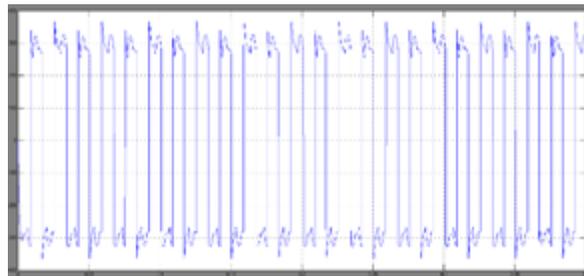
19. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0046 dan I 0.004



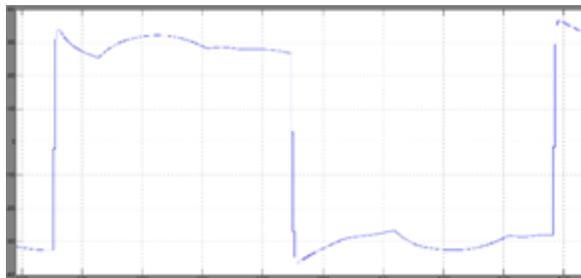
20. T output 0.0257 dan T input 0.00905



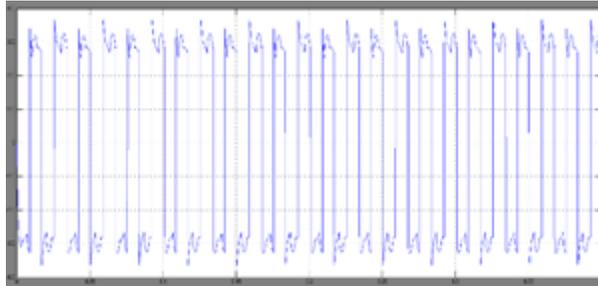
21. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0046



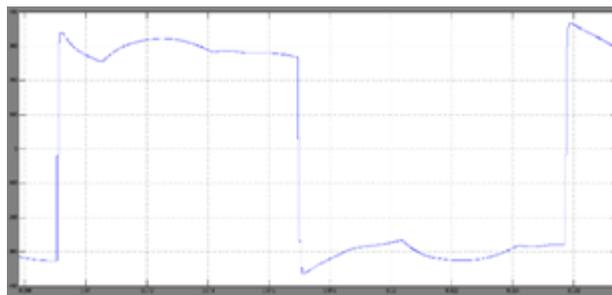
22. T output 0.02569 dan T input 0.00905



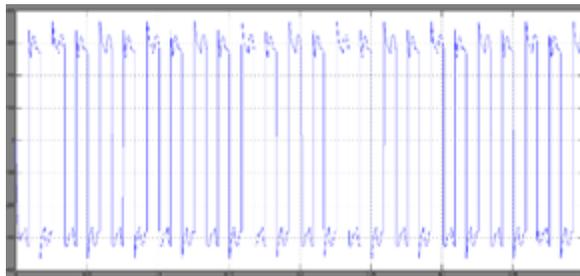
23. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0046 dan I 0.0046



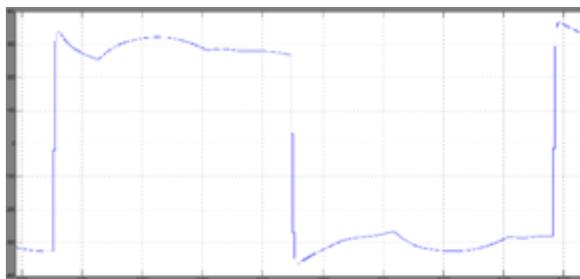
24. T output 0.0257 dan T input 0.00905



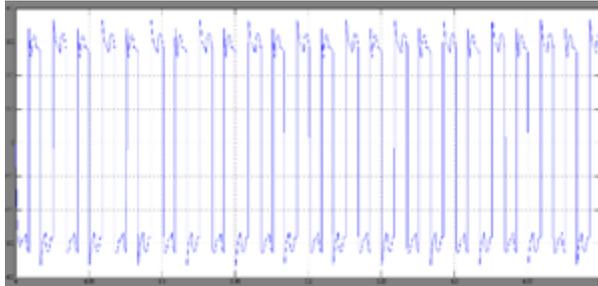
25. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.004



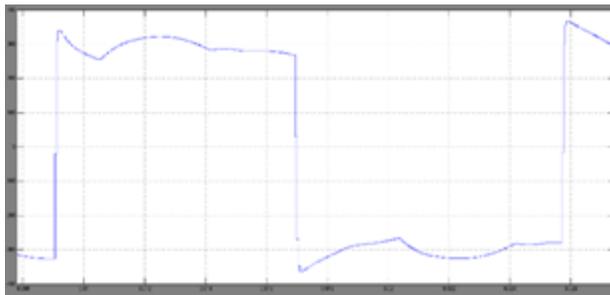
26. T output 0.02569 dan T input 0.0091



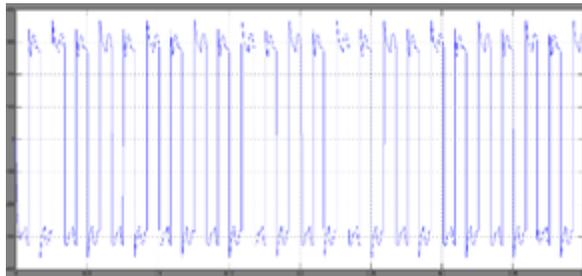
27. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.004 dan I 0.0038



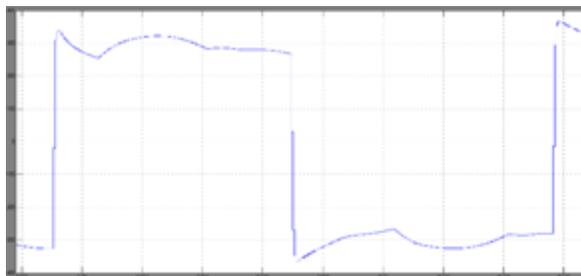
28. T output 0.02569 dan T input 0.0091



29. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.0038



30. Hasil Simulasi dengan percobaan P 0.0038 dan I 0.0038



BIODATA PENULIS



Ilham Wijaya Putra; dilahirkan pada tanggal 30 Oktober 1995 dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Sugeng Wahyudi, SE dan Kris Maha Sari. Bersekolah di TK Darut Taqwa lalu dilanjutkan ke SD Pakis 8 Surabaya. Penulis ini melanjutkan ke SMPN 3 Surabaya lalu meneruskan ke SMAN 1 Surabaya. Setelah lulus pada tahun 2013 penulis meneruskan studi ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tepatnya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Pada tahun kedua penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan dan acara di lingkup jurusan dan fakultas serta diluar kampus. Pada tahun keempat penulis memilih fokus pada bidang Marine Electrical and Automation Systems (MEAS) di departemen dan mengambil skripsi pada bidang tersebut. Penulis mengakhiri masa perkuliahannya pada tahun 2017 bulan September dan tepat 4 tahun.

Ilham Wijaya Putra – 4213100042

Email : putrailhamwijaya@gmail.com