

SKRIPSI

**SISTEM KENDALI *GYROSCOPE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**



Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Oleh :

MUHAMMAD YUSUP

03041281722086

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

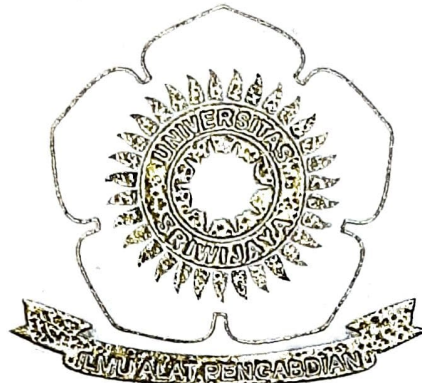
FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**SISTEM KENDALI *GYROSCOPE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**



SKRIPSI

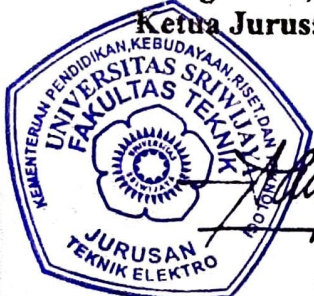
**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

MUHAMMAD YUSUP

03041281722086

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197108141999031005**

**Palembang, 27 Juli 2021
Menyetujui,
Pembimbing Utama**

**Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 197502112003121002**

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Yusup
NIM : 03041281722086
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 18%

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Sistem Kendali *Gyroscope* pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Pengendali PID”. merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Palembang, 27 Juli 2021



Muhammad Yusup

NIM. 03041281722086

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya ruang lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan : 

Pembimbing Utama : Dr. Bhakti Yudho Suproplo, S.T. M.T.

Tanggal : 27 / Juli / 2021

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Yusup

NIM : 03041281722086

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**SISTEM KENDALI *GYROSCOPE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN PENGENDALI PID**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Palembang

Pada tanggal : 27 Juli 2021

Yang menyatakan,



Muhammad Yusup
NIM. 03041281722086

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah ﷻ serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad ﷺ, keluarga dan para sahabat Tuhan yang Maha Esa. Atas Berkat dan Kasih dari Tuhan, keluarga dan para sahabat. Berkat rahmat dan karunia Allah ﷻ, penulis dapat menyelesaikan skripsi “Sistem Kendali *Gyroscope* pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Pengendali PID”.

Pembuatan skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya dan Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan dan memberikan ilmu selama proses penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S. selaku pencetus dan memberikan bimbingan pada tugas akhir ini serta pengembang ide.
4. Dosen pembimbing akademik, bapak Wirawan Adipradana S.T. M.T. yang telah memberikan arahan serta bimbingan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. Orang tua, saudara, keluarga yang selalu memberikan semangat dan memberi dukungan baik secara mental, fisik, maupun finansial.
7. Muhammad Nuraji Abdilah selaku rekan kerja yang selalu bersemangat dalam pembuatan tugas akhir ini.
8. Markus Hermawan, Irvine Valiant Fanthony, Albert Mario, Nyiayu Aisyatul Addawiyah, dan teman-teman satu angkatan konsentrasi Teknik kendali dan

Komputer yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini khususnya.

9. Teman-teman Klub Robotika Unsri yang selalu membantu, menyemangati dan mengisi hari-hari menjadi sangat menyenangkan.
10. Pihak-pihak yang sangat membantu di dalam penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
11. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, for just being me at all times.*

Di dalam penyusunan skripsi ini, masih terdapat kekurangan karena keterbatasan penyusun, oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi evaluasi dan berguna untuk penyusun dimasa yang akan datang.

Palembang, 27 Juli 2021



Muhammad Yusup

NIM. 03041281722086

ABSTRAK

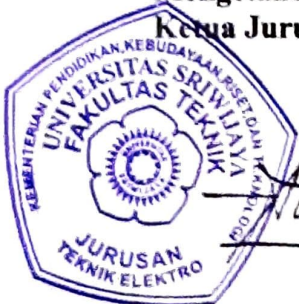
SISTEM KENDALI *GYROSCOPE* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN PENGENDALI PID

(Muhammad Yusup, 03041281722086, 2021, 60 halaman)

Dengan memanfaatkan gelombang laut sebagai energi, pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dapat menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk memberikan suplai ke peralatan listrik. Selama ini gelombang laut merupakan permasalahan dalam pembangkitan PLTGL karena sangat bergantung pada besar kecilnya angin sehingga mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut harus dapat bekerja optimal menghasilkan tenaga listrik sehingga diperlukan pengendalian yang optimal agar dapat menstabilkan keluaran tegangan. Sistem kendali *gyroscope* pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pengendalian PLTGL ini dirancang menggunakan pengendali PID dengan lima jenis pengendali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pengendali PD dengan nilai $K_p = 5,2$ dan $K_d = 0,6$ dapat menghasilkan nilai tegangan pada *power take off* (PTO) generator ketika ada gelombang laut yang membuat pergerakan gimbale menjadi tidak stabil.

Kata kunci: *PID, Gyroscope, PLTGL, Gimbale, dan Flywheel*

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197108141999031005

Palembang, Juli 2021
Menyetujui,
Pembimbing Utama

Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 197502112003121002

ABSTRACT

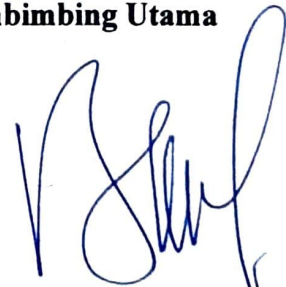
GYROSCOPE CONTROL SYSTEM IN SEA WAVE POWER PLANT USING PID CONTROL

(Muhammad Yusup, 03041281722086, 2021, 60 pages)

By utilizing ocean waves as energy, the sea wave power plant can generate sufficient electrical voltage to provide supply to electrical equipment. So far, sea waves are a problem in the generation of a sea wave power plant because it is very dependent on the size of the wind so that it affects the electrical voltage produced. Sea wave power plants must be able to work optimally to produce electric power, so that optimal control is needed in order to stabilize the voltage output. The gyroscope control system in ocean wave power plant is an example to overcome these problems. Sea wave power plant control is designed using a PID controller with five types of controllers. The results showed that the use of a PD controller with a value of $KP = 5.2$ and $KD = 0.6$ can produce a voltage value on the power take off (PTO) generator when there are ocean waves that make the gimbals movement unstable.

Keyword: PID, Gyroscope, Sea Wave Power Plant, Gimbal, and Flywheel

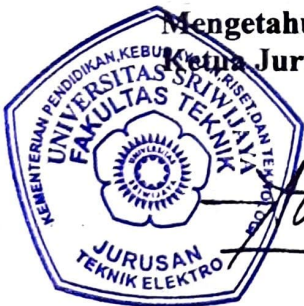
Palembang, Juli 2021
Menyetujui,
Pembimbing Utama



Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 197502112003121002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197108141999031005

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN.....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	2
1.5 Keaslian Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of The Art</i>	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	10
2.3 <i>Gyroscope</i>	13
2.4 Sistem Kendali PID	15
2.4.1 Kendali <i>Proporsional</i>	15
2.4.2 Kendali <i>Integral</i>	15
2.4.3 Kendali <i>Derivative</i>	16

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur.....	17
3.2 Perancangan Sistem.....	18
3.2.1 Perancangan Pemrograman.....	19
3.2.2 Perancangan <i>Hardware</i>	19
3.3 Sistem Kendali Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.....	23
3.4 Pengujian Sistem	23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Alat.....	25
4.2 Penentuan Model Matematika Sistem	26
4.2.1 Penentuan Model Matematika Sistem Servo.....	26
4.2.2 Penentuan Model Matematika Sistem <i>Gyroscope</i>	27
4.2.3 Penentuan Model Matematika Sistem PTO Generator.....	29
4.3 Pengujian Metode PID Pada Model Matematika	32
4.3.1 Sistem Tanpa Pengendali.....	32
4.3.2 Sistem Dengan Pengendali P	33
4.3.3 Sistem Dengan Pengendali PI.....	34
4.3.4 Sistem Dengan Pengendali PD	35
4.3.5 Sistem Dengan Pengendali PID.....	37
4.4 Pengujian Sistem	38
4.4.1 Pengujian Nilai Keluaran Tegangan PLTGL.....	38
4.4.2 Pengujian Pergerakan PLTGL.....	40

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip <i>Gyroscope</i> pada PLTGL	5
Gambar 2.2 Hasil Pengujian Prototipe PLTGL	6
Gambar 2.3 Tampilan 3D Sistem PLTGL	7
Gambar 2.4 Diagram Prinsip Sistem Kendali	7
Gambar 2.5 Diagram Simulasi PLTGL	8
Gambar 2.6 Hasil Simulasi P&O	8
Gambar 2.7 Hasil Simulasi <i>Incremental Conductance</i>	8
Gambar 2.8 PLTGL dengan 1 DOF	9
Gambar 2.9 PLTGL dengan 2 DOF	10
Gambar 2.10 Daya yang Dihasilkan oleh PLTGL	10
Gambar 2.11 PLTGL-OWC	11
Gambar 2.12 PLTGL-AWS	12
Gambar 2.13 PLTGL-Pelamis	12
Gambar 2.14 PLTGL- <i>Duck</i>	13
Gambar 2.15 Struktur dan Prinsip <i>Gyroscope</i>	13
Gambar 2.16 Kendali Loop Terbuka	15
Gambar 2.17 Kendali Loop Tertutup	15
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Langkah Penelitian	17
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Sistem Kendali <i>Gyroscope</i> PLTGL	18
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem PID	19
Gambar 3.4 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	19
Gambar 3.5 Arduino Mega 2560	20
Gambar 3.6 Sensor Kompas HMC5883L	21
Gambar 3.7 Rangkaian Generator AC	22
Gambar 3.8 Rangkaian Generator DC	22
Gambar 3.9 Motor <i>Driver</i> BTS7960	23
Gambar 4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	25
Gambar 4.2 Sistem Pergerakan PLTGL	26
Gambar 4.3 Sistem Pembangkitan PLTGL	26

Gambar 4.4 Kerangka Koordinat <i>Gyroscope</i> 2 DOF.....	28
Gambar 4.5 Sistem PTO Generator	29
Gambar 4.6 Diagram Skematik Sistem PTO Generator	29
Gambar 4.7 Fungsi Alih Sistem Pembangkitan PLTGL.....	31
Gambar 4.8 Tanggapan Sistem Tanpa Pengendali	33
Gambar 4.9 Tanggapan Sistem dengan Pengendali P.....	34
Gambar 4.10 Tanggapan Sistem dengan Pengendali PI	35
Gambar 4.11 Tanggapan Sistem dengan Pengendali PD.....	36
Gambar 4.12 Tanggapan Sistem dengan Pengendali PID	37
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Penggunaan Pengendali	41
Gambar 4.14 Grafik Kestabilan Pelampung Menggunakan Pengendali PD.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Sistem Prototipe PLTGL	6
Tabel 2.2 Parameter Respon PID	16
Tabel 4.1 Nilai Konstanta Model Matematika PLTGL	31
Tabel 4.2 Performansi <i>Close Loop</i> untuk Sistem Tanpa Pengendali	32
Tabel 4.3 Performansi <i>Close Loop</i> untuk Sistem dengan Pengendali P	33
Tabel 4.4 Performansi <i>Close Loop</i> untuk Sistem dengan Pengendali PI.....	34
Tabel 4.5 Performansi <i>Close Loop</i> untuk Sistem dengan Pengendali PD	36
Tabel 4.6 Performansi <i>Close Loop</i> untuk Sistem dengan Pengendali PID	37
Tabel 4.7 Nilai Keluaran Tegangan PLTGL Karena Pengaruh Gelombang	38
Tabel 4.8 Nilai Keluaran Tegangan PLTGL Tidak Ada Gelombang	39

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Program Kode Matlab Sistem Tanpa Pengendali
- Lampiran 2.** Program Kode Matlab Sistem dengan Pengendali P
- Lampiran 3.** Program Kode Matlab Sistem dengan Pengendali PI
- Lampiran 4.** Program Kode Matlab Sistem dengan Pengendali PD
- Lampiran 5.** Program Kode Matlab Sistem dengan Pengendali PID
- Lampiran 6.** Hasil Pembacaan Kompas Digital Terhadap Servo
- Lampiran 7.** *Program Code* Arduino IDE

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara maritim yang memiliki garis pantai sepanjang 95,181 km dan merupakan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada[1]. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, menjadikan laut di Indonesia mempengaruhi pertumbuhan ekonomi global melalui transportasi kapal, dan perkembangan teknologi saat ini dalam konteks sumber energi terbarukan. Gelombang laut merupakan salah satu bentuk sumber energi terbarukan. Gelombang laut tercipta karena adanya gaya pembangkit yang dapat berupa benda yang bergerak di sekitar permukaan laut, angin, gangguan seismik, dan gelombang yang dihasilkan oleh medan gravitasi bulan dan matahari[2].

Dengan memanfaatkan gelombang laut sebagai energi, pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dapat menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk memberikan suplai ke peralatan listrik[3]. Tegangan yang dihasilkan oleh PLTGL sangat bergantung dengan besar-kecilnya gelombang laut. Jika gelombang laut terlalu kecil, maka PTO (*power take off*) Generator dari PLTGL tidak akan mampu menghasilkan tegangan, sehingga diperlukan pengendali yang optimal untuk menjaga tegangan yang dihasilkan oleh PLTGL menjadi stabil.

Pengendalian PLTGL telah diteliti oleh beberapa peneliti, penelitian tersebut meliputi penggunaan *gyroscope* dengan memanfaatkan *flywheel* yang digerakan oleh motor pada gimbale yang berada pada platform 1 DOF (*degree of freedom*)[4], dan gimbale yang berada pada *platform 2 DOF* [5]. Penggunaan gimbale yang berada pada *platform 1 DOF* akan efisien bila disejajarkan dengan gelombang masuk. Sedangkan untuk penggunaan gimbale yang berada platform 2 DOF dapat lebih efisien karena tidak tergantung arah gelombang, akan tetapi penggunaan PTO pada PLTGL nya masih menggunakan PTO jenis pneumatik.

Dari penelitian-penelitian terdahulu [4][5] dapat dikatakan tegangan yang dihasilkan oleh PLTGL belum efektif, keluaran dari PLTGL hampir nol. Maka pada

penelitian ini akan dibahas tentang sistem kendali *gyroscope* pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan pengendali PID. Menurut Bracco, penggunaan gimbal yang berada pada *platform* 1 DOF sudah cukup untuk membangkitkan tegangan keluaran[4].

Pada penelitian ini, PLTGL yang dirancang menggunakan gimbal *platform* 1 DOF dan pelampung *platform* 1 DOF yang menggunakan PID agar posisi dari gelombang dan PLTGL dapat sejajar. Penggunaan sistem kendali PID dipilih karena cocok untuk memperbaiki posisi dari PLTGL sehingga dapat menghasilkan tegangan yang stabil.

1.2 Perumusan Masalah

Pada PLTGL, pengaruh kecepatan angin dan besarnya gelombang akan sangat berpengaruh pada putaran *flywheel* yang menggunakan gimbal *platform* 1 DOF. Perubahan arah angin dan gelombang laut akan sangat menentukan tegangan keluaran PLTGL. Arah angin dan gelombang laut tidak bisa dipastikan besar kecilnya sehingga diperlukan sistem kendali untuk mengatur pergerakan pelampung *platform* 1 DOF agar tegangan yang dihasilkan oleh PTO menjadi stabil. Sistem kendali yang digunakan pada PLTGL akan sangat mempengaruhi hasil kinerja dari PLTGL. Sistem kendali yang dipilih haruslah bersifat sederhana dan memiliki kinerja terbaik untuk digunakan sebagai sistem kendali utama dari PLTGL.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan sistem kendali PID pada pelampung *platform* 1 DOF PLTGL.
2. Menguji sistem kendali PID pada pergerakan *gyroscope* PLTGL.
3. Mendapatkan nilai tegangan keluaran yang stabil.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan sistem kendali PID untuk pergerakan *gyroscope* PLTGL.
2. Menggunakan gimbal *platform* 1 DOF.
3. Menggunakan pelampung *platform* 1 DOF.
4. Menggunakan mikrokontroler Arduino Mega.
5. Sistem kendali posisi menggunakan sensor kompas HMC5883L.
6. Menggunakan bahasa pemrograman Arduino.

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai PLTGL telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti H. Kanki, dkk. dengan menggunakan sistem *gyroscope* [5]. Pada penelitian tersebut membahas prinsip dari sistem penerapan momen *gyroscope* dengan menggunakan gimbal *platform* 1 DOF. Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk melihat bahwa PLTGL yang menggunakan *gyroscope* lebih efisien dari pada PLTGL konvensional. Pada penelitian yang mereka lakukan tidak memiliki sistem kendali yang dapat menstabilkan tegangan keluaran[6].

Pada penelitian yang dilakukan oleh F. Salcedo dkk. mengenai pengujian prototipe dengan skala 1:4. Pada pengujian tersebut dilakukan dalam 7 sesi untuk mendapatkan desain PLTGL yang baik. Sesi tersebut adalah tes mengapung, tes pemutaran *gyroscope*, tes gelombang laut biasa, tes gelombang laut besar, tes gelombang laut kecil, dan tes perubahan periode gelombang. Pada penelitian yang mereka lakukan membutuhkan model yang cukup besar untuk menampung *gyroscope*, PTO dan seluruh instrumentasi[7].

Lalu penelitian yang dilakukan oleh Lisheng Chen, dkk. mengenai kontrol tegangan maksimum pada PLTGL menggunakan prinsip *gyroscope*. Pada penelitian tersebut membandingkan algoritma untuk mencapai tegangan maksimum yaitu algoritma P&O (*perturbation and observation*) mengubah nilai tegangan dan arus dan algoritma *incremental conductance* melihat parameter gelombang laut. Pada penelitian yang mereka lakukan hanya melakukan simulasi melalui Simulink dan belum membuat model fisiknya[8].

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Giovanni Bracco, dkk. pada tahun 2009 mengenai desain model prototipe PLTGL dengan prinsip *gyroscope*. Pada

penelitian tersebut menggunakan sistem gibal *platform* 1 DOF yang di ujung gibal tersebut terdapat PTO untuk menghasilkan energi. Berdasarkan simulasi yang dilakukan didapatkan nilai tegangan keluaran yang dihasilkan mendekati nol. Pada penelitian yang mereka lakukan PLTGL hanya mampu menghasilkan tegangan ketika arah gelombang laut sejajar dengan putaran *flywheel*[4].

Selanjutnya penelitian yang sama dilakukan oleh Giovanni Bracco, dkk pada tahun 2015 mengenai kinerja PLTGL dengan menggunakan sistem gibal *platform* 2 DOF. Pada penelitian tersebut membandingkan PLTGL yang menggunakan sistem gibal *platform* 1 DOF dan gibal *platform* 2 DOF. Berdasarkan simulasi yang dilakukan *gyroscope* yang memiliki gibal *platform* 2 DOF tidak berpatokan dengan arah gelombang karena rotasi *flywheel* ditransmisikan ke *platform* bagian dalam gibal. Pada penelitian yang mereka lakukan menggunakan PTO jenis pneumatik[5].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. A. Pregiwati, "Laut Masa Depan Bangsa, Mari Jaga Bersama," 2019. [Online]. Available: <https://kkp.go.id/artikel/12993-laut-masa-depan-bangsa-mari-jaga-bersama#:~:text=Indonesia%2525memiliki%2525garis%2525pantai%2525sepanjang,71%252525%2525dari%2525keseluruhan%25wilayah%25Indonesia> (Diakses pada tanggal 06 Februari 2021).
- [2] B. Drew, A. R. Plummer, and M. N. Sahinkaya, "A Review Of Wave Energy Converter Technology," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy*, vol. 223, no. 8, pp. 887–902, 2009, doi: 10.1243/09576509JPE782.
- [3] M. Faizal, M. R. Ahmed, and Y. H. Lee, "A Design Outline For Floating Point Absorber Wave Energy Converters," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/846097.
- [4] G. Bracco, E. Giorcelli, G. Mattiazzo, M. Pastorelli, and J. Taylor, "ISWEC: Design of a Prototype Model With Gyroscope," *2009 Int. Conf. Clean Electr. Power, ICCEP 2009*, pp. 57–63, 2009, doi: 10.1109/ICCEP.2009.5212081.
- [5] A. Battezzato, G. Bracco, E. Giorcelli, and G. Mattiazzo, "Performance Assessment of a 2 DOF Gyroscopic Wave Energy Converter," *J. Theor. Appl. Mech.*, vol. 53, no. 1, pp. 195–207, 2015, doi: 10.15632/jtam-pl.53.1.195.
- [6] H. Kanki, S. Arii, T. Furusawa, and T. Otoyo, "Development of Advanced Wave Power Generation System by Applying Gyroscopic Moment," *Test*, pp. 280–283, 2009.
- [7] F. Salcedo, R. Rodriguez, P. Ricci, and M. Santos, "OCEANTEC: Sea Trials of a Quarter Scale Prototype," *Proceed8th Eur. Wave Tidal Energy Conf.*, no. January, pp. 460–465, 2009.
- [8] L. Chen, Z. Pei, and Z. Tang, "Maximum Power Control of Gyroscopic Wave Energy Converter," *E3S Web Conf.*, vol. 118, pp. 4–7, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201911802022.
- [9] O. Farrok, K. Ahmed, A. D. Tahlil, M. M. Farah, M. R. Kiran, and M. R. Islam, "Electrical Power Generation From The Oceanic Wave For

- Sustainable Advancement In Renewable Energy Technologies,” *Sustain.*, vol. 12, no. 6, 2020, doi: 10.3390/su12062178.
- [10] A. Poullikkas, “Technology Prospects of Wave Power Systems,” *Electron. J. Energy Environ.*, no. JANUARY 2014, pp. 47–69, 2014, doi: 10.7770/ejee-V2N1-art662.
- [11] G. Bracco, “ISWEC : a Gyroscopic Wave Energy Converter,” no. January 2014, 2019, doi: 10.6092/polito/porto/2562362.
- [12] S. Pan, F. Z. Xu, L. Chen, W. Huang, and J. Wu, “Coupled Dynamic Modeling and Analysis of the Single Gimbal Control Moment Gyroscope Driven by Ultrasonic Motor,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 146233–146247, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012694.
- [13] A. A. Ibrahim, “Sistem Kendali Posisi Autonomus Unmanned Ground Vehicle Beroda Tank Berbasis PID,” 2019.
- [14] K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1 Edisi Kedua*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1996.
- [15] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, vol. 93, no. 1. New Jersey: Prentice Hall, 1971.
- [16] J. Apkarian and A. Abdossalami, *laboratory Guide: 3 DOF Gyroscope Experiment for MATLAB /Simulink Users*. Ontario: Quanser, 2013.
- [17] K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Bandung: Penerbit Erlangga, 1985.
- [18] H. Saadat, *Computational AIDS in Control Systems Using MATLAB*. Wisconsin: Milwaukee School of Engineering.
- [19] H. D. Laksono, *Sistem Kendali Dengan PID dan Kompensator (Pendekatan Tempat Kedudukan Akar)*. Padang: LPTIK Universitas Andalas, 2019.
- [20] H. D. Laksono, *Kumpulan Kode Matlab Untuk Perancangan Sistem Kendali Dengan PID Dan Kompensator*. Padang: LPTIK Universitas Andalas, 2018.
- [21] H. D. Laksono, *Sistem Kendali dengan PID Perancangan dan Analisis dengan Pendekatan Tanggapan Frekuensi*. Padang: Graha Ilmu, 2014.
- [22] H. D. Laksono, *Kumpulan Program Untuk Pemodelan Dan Analisa Sistem Kendali Buck Boost Converter*. Padang: LPPM Universitas Andalas, 2019.