



SKRIPSI – ME 184834

**PERANCANGAN MEKANISME MODEL SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG AIR
LAUT DI PULAU GILI LABAK, KABUPATEN SUMENEP-
MADURA**

MAULANA RAKHIM
NRP. 0421174600005

Dosen Pembimbing
Juniarko Prananda, S.T., M.T.
Achmad Baidowi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME 184834

***THE DESIGN OF WAVE ENERGY CONVERTER'S
MECHANIC ON GILI LABAK, MADURA***

MAULANA RAKHIM
NRP. 0421174600005

Supervisor
Juniarko Prananda, S.T., M.T.
Achmad Baidowi, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**Perancangan Mekanisme Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga
Gelombang Air Laut Di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Bidang Studi *Marine Fluid Machinery and System (MMS)*

S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MAULANA RAKHIM

NRP : 0421 17 4600 0005

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

- 1. Juniarko Prananda, S.T., M.T.
NIP. 1990 0605 2015 04 1001**
- 2. Achmad Baidowi, S.T., M.T.
NIP. -**

()
()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan Mekanisme Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang
Air Laut Di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Fluid Machinery and System (MMS) Departemen

Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MAULANA RAKHIM

NRP : 0421 17 4600 0005

Disetujui Oleh

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D

NRP 1979 0319 2008 01 1008

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT, yang selalu memberikan rahmat serta hidayah-Nya. Sehingga skripsi dengan judul Perancangan Mekanisme Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut Di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura, ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.

Tugas akhir ini dilaksanakan secara berkelompok dimana penulis membuat rancangan pada bagian mekanisme PLTGL dan melakukan analisa terhadap pengaruh gerakan bandul pada daya yang dihasilkan oleh *piezoelectric* berdasarkan pengujian data yang telah dilakukan.

Tentunya dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Maka dari itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan, sehingga penulis dapat menempuh sarjana tepat waktu.
2. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D selaku ketua jurusan Teknik Sistem Teknik Perkapalan, FTK-ITS yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan tepat waktu.
3. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing 1 dalam tugas akhir ini yang telah memberikan ide, ilmu, arahan dan bimbingan selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Achmad Baidowi, ST., MT. sebagai dosen pembimbing 2 dalam tugas akhir ini yang telah memberikan ide, ilmu, arahan dan bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Alan Budi Pratama Putra dan Pantou Janur Panjogi selaku anggota tim yang selalu memberi dukungan dan semangat yang positif dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Laboratorium Hidrodinamika FTK-ITS, yang telah memberikan bantuan dalam proses pengerjaan.
7. Teman angkatan LJ ganjil 2017 yang telah membantu baik dari segi moral dan materil dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu segala saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan oleh penulis demi kebaikan dan kemajuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua, dan semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dikemudian hari.

Surabaya 27 Januari 2019

(Maulana Rakhim)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Perancangan Mekanisme Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut Di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura

Nama : Maulana Rakhim

NRP : 04211746000005

Pembimbing : 1. Juniarko Prananda, S.T., M.T. (199006052015041001)

2. Achmad Baidowi, ST., MT. -

ABSTRAK

Di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura, masyarakat belum bisa menikmati fasilitas listrik dari PLN, sehingga masyarakat disana menggunakan mesin Diesel milik pribadi sebagai pembangkit listrik. Sehingga dibutuhkan adanya sumber daya alternatif terbarukan yang bisa menggantikan bahan bakar tersebut.

Berdasarkan permasalahan diatas penulis akan merancang PLTGL sistem bandul untuk memanfaatkan gaya gelombang air laut menjadi tenaga listrik dengan skala laboratorium. Dengan adanya gerakan roll poton, beban yang terhubung dengan lengan bandul akan menyebabkan gerakan ayunan bandul. Ayunan bandul menggerakkan poros yang dipasang sudu, ketika sudu bergerak mengikuti gerakan poros maka ujung sudu akan menekan piezoelectric yang ditempatkan pada tabung dan mengelilingi sudu. Defleksi pada piezoelectric yang disebabkan oleh tekanan sudu akan menghasilkan bangkitan energi listrik.

Pada penelitian ini terdapat 3 kondisi jarak lengan cadik yaitu, panjang lengan cadik 0.215 m, 0.220 m, dan 0.225 m, dimana tiap kondisi terdapat 3 variasi jumlah sudu yaitu, 5, 10, dan 20 sudu. Berdasarkan pengujian didapatkan Simpangan terbesar pada kondisi lengan cadik 0.220 m adalah 58.59° pada variasi 5 sudu, 53.43° pada variasi 10 sudu dan 52.14° pada variasi 20 sudu. Pada konsisi 0.225 m adalah 49.02° pada variasi 5 sudu, 54° pada variasi 10 sudu dan 58° pada variasi 20 sudu. Sedangkan daya yang dihasilkan bandul dan piezoelectric terbesar pada kondisi lengan cadik 0.220 m adalah 1,76 dan 0.015 W pada variasi 5 sudu, 1.52 dan 0.013 W pada variasi 10 sudu, dan 1.46 dan 0.013 pada variasi 20 sudu. Pada konsisi 0.225 m adalah 1,01 dan 0.01 W pada variasi 5 sudu, 1.54 dan 0.013 W pada variasi 10 sudu, dan 1.76 dan 0.013 pada variasi 20 sudu.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan besar simpangan bandul bergantung pada panjang lengan cadik semakin kecil panjang lengan maka simpangan semakin besar sehingga daya yang dihasilkan bandul semakin besar, akan tetapi pada variasi 10 sudu pada kedua kondisi cadik bernilai sebaliknya karena dipengaruhi besar gelombang laut yang tidak menentu. Berdasarkan desainnya alat ini akan diterapkan di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura.

Kata kunci: Gelombang air laut, Sistem bandul, Piezoelectric, PLTGL, dan Pontoon.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

The Design Of Wave Energy Converter's Mechanic On Gili Labak, Madura

Name : Maulana Rakhim
NRP : 04211746000005
Supervisor : 1. Juniarko Prananda, S.T., M.T. (199006052015041001)
2. Achmad Baidowi, ST., MT. -

ABSTRACT

The people on Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura, have not get the electric facilities from PLN, so the people use their owned diesel engines as power plants. From this cases, so we need a renewable alternative resource that can replace the fuel.

Based on the problems the writer will design a PLTGL with pendulum system to convert the wave force of sea waves into electric power based on the lab scale. From the roll motion of pontoon, the mass of the pendulum will cause the movement on pendulum or make a swing movement. The pendulum swings and rolled the blade that assmbled with the shaft, when the blade rolled by the pendulum movement, the blade will hold on the edge of piezoelectric and bend the piezoelectric that placed on the tube and surround the blade. The deflection of piezoelectric element that caused by the rolled movement of blade will generate electricity generation.

On this experiment there are 3 conditions on outrigger arm's legh (0.215 m, 0.220 m, and 0.225 m), each condition have 3 variations of blade (5, 10, and 20 blades). Based on the experiment it obtained the largest deviation in the condition of the outrigger arm at 0.220 m length are 58.59° at the variation of 5 blades, 53.43° at the variation of 10 blades and 52.14° at the variation of 20 blades. At 0.225 m of outrigger arm's length the deviations are 49.02° at the variation of 5 blades, 54° at the variation of 10 blades and 58° at the variation of 20 blade. While the largest power that produced by pendulum shaft and piezoelectric at the condition of outrigger arm 0.220 m lengt are 1.76 and 0.015 W at the variation of 5 blades, 1.52 and 0.013 W at the variation of 10 blades, and 1.46 and 0.013 at the variation of 20 blades. At 0.225 m length of outrigger arm the the power that generates are 1.01 and 0.01 W at 5 blades variation, 1.54 and 0.013 W at 10 blades variation, and 1.76 and 0.013 at 20 blades variation.

Based on the testing result the distance of pendulum deviation depends on the length of the outrigger arms, the smaller length of the outrigger arm, the higher result of deviation so that the power produced by the pendulum is also greater, but the deviation on the 10 blades variation in both of outrigger conditions the result is more smaller, because of the sea waves that uncertain periode. Based on the design, this tool will be implemented on Pulau Gili Labak, Sumenep-Madura.

Keywords: Sea waves, pendulum system, Piezoelectric, PLTGL, and Pontoon.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Isi

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL_ID | i |
| HALAMAN JUDUL_EN | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING..... | v |
| LEMBAR PENGESAHAN KETUA JURUSAN..... | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| ABSTRAK..... | xi |
| ABSTRACT..... | xiii |
| Daftar Isi | xv |
| Daftar Gambar | xvii |
| Daftar Tabel | xxi |
| BAB I..... | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 2 |
| BAB II..... | 3 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1 Gelombang Air Laut..... | 3 |
| 2.2 Energi Laut..... | 4 |
| 2.3 Energi Gelombang Air Laut | 5 |
| 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL) | 6 |
| 2.5 Sistem Bandul | 9 |
| 2.6 Momen Gaya (Torsi)..... | 10 |
| 2.7 Gerakan Harmonis..... | 11 |
| 2.8 Perhitungan Bandul..... | 12 |
| 2.9 Pulau Gili Labak | 14 |

| | |
|--|----|
| BAB III | 17 |
| METODOLOGI PENELITIAN..... | 17 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 17 |
| 3.2 Tahapan Penelitian | 19 |
| BAB VI | 21 |
| PERHITUNGAN DAN ANALISA..... | 21 |
| 4.1 Data Piezoelectric..... | 21 |
| 4.2 Desain Bandul | 21 |
| 4.3 Gaya yang Bekerja pada Bandul | 23 |
| 4.4 Contoh Perhitungan Sistem Bandul..... | 23 |
| 4.4.1 Perhitungan Tinggi Simpangan Bandul..... | 23 |
| 4.4.2 Perhitungan Torsi Sistem | 24 |
| 4.4.3 Perhitungan Putaran Sudut | 24 |
| 4.4.4 Perhitungan Kecepatan..... | 25 |
| 4.4.5 Daya yang Dihasilkan Bandul | 25 |
| 4.5 Hasil Pengujian | 25 |
| 4.5.1 Panjang Lengan 0,220 m..... | 25 |
| 4.6.2 Panjang Lengan 0,225 m..... | 43 |
| BAB V | 63 |
| PENUTUP..... | 63 |
| 5.1 Kesimpulan | 63 |
| 5.2 Saran | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA | 65 |
| BIODATA PENULIS | 67 |
| LAMPIRAN..... | 66 |

Daftar Gambar

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Gambar pergerakan air laut | 3 |
| Gambar 2.2. Jumlah Model (Sistem) yang dikembangkan oleh beberapa negara | 5 |
| Gambar 2.3. <i>Flowchart</i> Penangkapan energi Gelombang Laut..... | 6 |
| Gambar 2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Sistem Bandul | 7 |
| Gambar 2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Sistem Piston | 8 |
| Gambar 2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Memanfaatkan Piezoelectric..... | 8 |
| Gambar 2.7. Gerak Harmonik Sederhana Bandul | 9 |
| Gambar 2.8. Gaya Torsi..... | 10 |
| Gambar 2.9. Momen Gaya (Torsi) dengan Arah Gaya Tidak Tegak Lurus.. .. | 11 |
| Gambar 2.10. <i>Scotch Yoke Mechanism</i> | 11 |
| Gambar 2.11. <i>Free Body Diagram</i> Bandul | 12 |
| Gambar 2.12. Tinggi Simpangan | 13 |
| Gambar 2.13. Gambar Pulau Gili Labak | 15 |
| Gambar 2.14. Peta letak pulau Gili Labak | 15 |
| Gambar 4.1. Percobaan Bending <i>Piezoelectric</i> | 21 |
| Gambar 4.2. <i>Voltase</i> <i>Bangkitan Piezoelectric</i> | 22 |
| Gambar 4.3. Bandul..... | 22 |
| Gambar 4.4. Grafik Simpangan vs Torsi Kondisi 1 Variasi 5 Sudu | 26 |
| Gambar 4.5. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 1 Variasi 5 Sudu | 27 |
| Gambar 4.6. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 1 Variasi 5 Sudu | 27 |
| Gambar 4.7. Grafik Torsi vs Daya Bandul Kondisi 1 Variasi 5 Sudu | 28 |
| Gambar 4.8. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 1 Variasi 5 Sudu..... | 29 |
| Gambar 4.9. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Samping Kondisi 1 Variasi 5 Sudu | 30 |
| Gambar 4.10. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Depan Kondisi 1 Variasi 5 Sudu .. | 30 |
| Gambar 4.11. Grafik Simpangan vs Torsi 1 Variasi 10 Sudu | 32 |
| Gambar 4.12. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 10 Sudu | 33 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.13. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 10 Sudu | 33 |
| Gambar 4.14. Grafik Torsi vs Daya Bandul 1 Variasi 10 Sudu..... | 34 |
| Gambar 4.15. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 1 10 Sudu | 35 |
| Gambar 4.16. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Samping Kondisi 1 Variasi 10 Sudu | 36 |
| Gambar 4.17. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Samping Kondisi 1 Variasi 10 Sudu | 37 |
| Gambar 4.18. Grafik Simpangan vs Torsi 1 Variasi 20 Sudu | 38 |
| Gambar 4.19. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 20 Sudu | 39 |
| Gambar 4.20. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 20 Sudu | 39 |
| Gambar 4.21. Grafik Torsi vs Daya Bandul 1 Variasi 20 Sudu..... | 40 |
| Gambar 4.22. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 1 Variasi 20 Sudu..... | 41 |
| Gambar 4.23. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Samping Kondisi 1 Variasi 20 Sudu | 42 |
| Gambar 4.24. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Depan Kondisi 1 Variasi 20 Sudu | 43 |
| Gambar 4.25. Grafik Simpangan vs Torsi Kondisi 2 Variasi 5 Sudu | 44 |
| Gambar 4.26. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 5 Sudu.... | 45 |
| Gambar 4.27. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 5 Sudu | 45 |
| Gambar 4.28. Grafik Torsi vs Daya Bandul Kondisi 2 Variasi 5 Sudu | 46 |
| Gambar 4.29. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 2 Variasi 5 Sudu..... | 47 |
| Gambar 4.30. Variasi 20 Piezoelectric Tampak Samping Kondisi 2 Variasi 5 Sudu | 48 |
| Gambar 4.31. Variasi 20 Piezoelectric Tampak Depan Kondisi 2 Variasi 5 Sudu .. | 49 |
| Gambar 4.32. Grafik Simpangan vs Torsi Kondisi 2 Variasi 10 Sudu | 50 |
| Gambar 4.33. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 10 Sudu.. | 51 |
| Gambar 4.34. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 10 Sudu | 51 |
| Gambar 4.35. Grafik Torsi vs Daya Bandul Kondisi 2 Variasi 10 Sudu | 52 |
| Gambar 4.36. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 2 Variasi 10 Sudu..... | 53 |
| Gambar 4.37. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Samping Kondisi 2 Variasi 10 Sudu | 54 |
| Gambar 4.38. Variasi 10 Piezoelectric Tampak Depan Kondisi 2 Variasi 10 Sudu | 55 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.39. Grafik Simpangan vs Torsi 2 Variasi 20 Sudu | 56 |
| Gambar 4.40. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 20 Sudu.. | 57 |
| Gambar 4.41. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 20 Sudu | 57 |
| Gambar 4.42. Grafik Torsi vs Daya Bandul Kondisi 2 Variasi 20 Sudu | 58 |
| Gambar 4.43. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 2 Variasi 20 Sudu..... | 59 |
| Gambar 4.39. Variasi 5 Piezoelectric Tampak Samping Kondisi 2 Variasi 20 Sudu | 60 |
| Gambar 4.40. Variasi 5 Piezoelectric Tampak Depan Kondisi 2 Variasi 20 Sudu .. | 61 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Tabel

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Potensi energi laut yang ada di dunia hasil statistic IEA-OES tahun 2006..... | 5 |
| Tabel 2.2 Nilai rata-rata data angin, arus dan gelombang air laut di Pulau Gili Labak..... | 15 |
| Tabel 4.1 Voltase Bangkitan <i>Piezoelectric Minisense 100</i> | 21 |
| Tabel 4.3 Kondisi 1 Variasi 5 Sudu..... | 25 |
| Tabel 4.3 Efisiensi Torsi Variasi 5 Sudu | 29 |
| Tabel 4.4 Kondisi 1 Variasi 10 Sudu..... | 31 |
| Tabel 4.5 Efisiensi Torsi Kondisi 1 Variasi 10 Sudu..... | 35 |
| Tabel 4.6 Kondisi 1 Variasi 20 Sudu..... | 37 |
| Tabel 4.7 Efisiensi Torsi Kondisi 1 Variasi 20 Sudu..... | 41 |
| Tabel 4.8 Kondisi 2 Variasi 5 Sudu..... | 43 |
| Tabel 4.9 Efisiensi Torsi Kondisi 2 Variasi 5 Sudu..... | 47 |
| Tabel 4.10 Kondisi 2 Variasi 10 Sudu..... | 49 |
| Tabel 4.11 Efisiensi Torsi Kondisi 2 Variasi 10 Sudu..... | 53 |
| Tabel 4.12 Kondisi 2 Variasi 20 Sudu..... | 55 |
| Tabel 4.13 Efisiensi Torsi Kondisi 2 Variasi 20 Sudu..... | 59 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini penggunaan bahan bakar minyak bumi, batu bara, dan gas alam sebagai tenaga pembangkit listrik tidak efisien. Karena dari ketiga jenis bahan bakar tersebut merupakan jenis bahan bakar yang berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, lambat laun ketersediaannya akan semakin berkurang. Untuk proses produksi sumber daya alam tak terbarukan membutuhkan waktu yang lama hingga jutaan tahun, sedangkan cadangan energi yang dibutuhkan untuk masa yang akan datang semakin menipis. Masalah energi di Indonesia saat ini adalah cadangan energi fosil yang terus menurun dan lebih sulit diakses oleh masyarakat yang bertempat tinggal di wilayah yang belum berkembang dan terpencil (Lasabuda, 2013). Terutama di Pulau Gili Labak, Kecamatan Talango, Kabupaten Sumenep-Madura, masyarakat belum bisa menikmati fasilitas listrik dari PLN, sehingga masyarakat disana menggunakan mesin *Diesel* milik pribadi sebagai pembangkit listrik.[14] Sehingga dibutuhkan adanya sumber daya alternatif terbarukan yang bisa menggantikan bahan bakar tersebut.

Energi alternatif merupakan energi yang digunakan untuk mengganti energi dari minyak bumi. Terdapat bermacam macam energi alternatif yang tersedia di alam, seperti energi matahari, energi air, energi angin, dan energi panas bumi. Dari beberapa contoh energi alternatif tersebut pada tugas akhir ini akan memanfaatkan energi gelombang air laut untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Energi gelombang air laut adalah energi yang dihasilkan oleh pergerakan gelombang air laut menuju daratan dan sebaliknya, serta salah satu bentuk energi yang bisa dimanfaatkan dengan mengetahui tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode waktunya. Pada dasarnya pergerakan laut yang menghasilkan gelombang air laut terjadi akibat pergerakan angin. Angin timbul akibat perbedaan tekanan pada dua titik yang diakibatkan oleh respon pemanasan udara oleh matahari yang berbeda dari kedua titik tersebut. Dari sifat tersebut maka energi gelombang air laut digolongkan sebagai energi terbarukan.

Berdasarkan permasalahan diatas penulis akan merancang *prototype* dengan menggunakan *pontoon* sebagai media untuk memanfaatkan gelombang air laut untuk dikonversikan menjadi tenaga listrik dengan skala laboratorium. Dengan adanya gelombang air laut yang menggerakkan *pontoon*, kemudian gerakan roll dari *pontoon* akibat gelombang air laut akan menggerakkan beban yang terhubung dengan lengan bandul sehingga menyebabkan gerakan mengayun pada lengan bandul. Ayunan bandul menggerakkan poros yang dipasang sudu, ketika sudu bergerak mengikuti gerakan poros maka ujung sudu akan menekan *piezoelectric* yang ditempatkan pada tabung dan mengelilingi sudu. Defleksi pada *piezoelectric* yang disebabkan oleh

tekanan sudu akan menghasilkan bangkitan energi listrik. Pada desain ini *piezoelectric* diletakkan di dalam sebuah *casing* berbentuk tabung yang berfungsi sebagai tempat/dudukan *piezoelectric*. Untuk menahan posisi bangunan agar tidak terbawa oleh arus maka alat ini dilengkapi dengan sistem *mooring* yang tertanam di dasar. Berdasarkan desainnya alat ini akan diterapkan di Pulau Gili Labak, Kecamatan Talango, Kabupaten Sumenep-Madura.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan utama yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana desain model mekanisme pembangkit listrik dengan memanfaatkan gelombang air laut di Pulau Gili Labak?
2. Berapa besar gaya yang dibutuhkan untuk menekan *piezoelectric*?
3. Berapa sudut dari sudu yang paling efisien menekan *piezoelectric*?
4. Berapa beban optimal dari massa bandul yang paling efisien menekan *piezoelectric*?

1.3 Batasan Masalah

Pembuatan tugas akhir ini dibatasi pada masalah tertentu untuk menghindari meluasnya masalah yang dibahas, antara lain:

1. Desain ponton pembangkit listrik tenaga gelombang air laut ini disesuaikan dengan keadaan laut di Gili Labak.
2. Tidak menghitung daya listrik yang dihasilkan *Piezoelectric*.
3. Tidak mendesain sistem *mooring* pada sistem PLTGL.
4. Rancangan desain akan dibuat dengan skala laboratorium.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan desain model mekanisme PLTGL sebagai *study* pembangkit listrik dengan memanfaatkan gelombang air laut di Pulau Gili Labak.
2. Mengetahui besar gaya yang dibutuhkan untuk menekan *Piezoelectric*.
3. Mengetahui sudut dari sudu yang paling efisien menekan *piezoelectric*.
4. Mengetahui beban optimal dari massa bandul yang paling efisien menekan *piezoelectric*

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan:

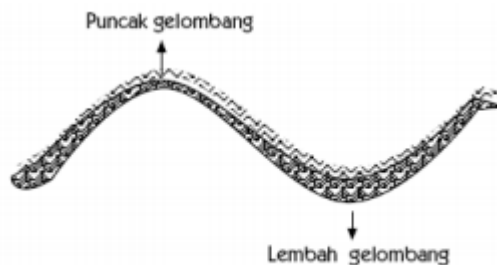
1. Memberikan informasi pemanfaatan potensi gelombang air laut sebagai energi alternatif tebarukan pengganti bahan bakar fosil pembangkit listrik.
2. Sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut pada skala yang sebenarnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Air Laut

Gelombang air laut merupakan gerakan naik turunnya permukaan air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Prinsip dasar terjadinya gelombang air laut adalah “Jika ada 2 massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang gerakanya akan terbentuk gelombang” [13]. Gelombang merupakan gerakan naik turunnya permukaan air, hal ini ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Gambar pergerakan air laut
(Sumber: *Waldopo, 2008*)

Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena sebagai berikut:[5]

- Benda (body) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
- Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
- Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah: gempa bumi, dll.
- Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang-gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Selanjutnya gelombang laut ditinjau dari sifat pengukurannya dibedakan menurut ketinggian kecepatan serta periode gelombang. Dari kebanyakan data yang ada, tinggi gelombang lautan dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan. Gelombang air laut sukar dijabarkan dengan pasti, tetapi dapat diformulasikan dengan pendekatan. Berbagai macam teori pendekatan digunakan untuk memberikan informasi ilmiah tentang sifat gelombang lautan pada suatu tingkat fenomena yang

aktual. Suatu teori sederhana tentang gelombang lautan dikenal sebagai teori dari *airy* atau teori gelombang linier.

Berdasarkan sifatnya gelombang air laut dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Gelombang air laut pembangun/pembentuk pantai (*Constructive Wave*), merupakan jenis gelombang dengan ketinggian kecil, kecepatan rendah, dan saat gelombang tersebut pecah di pantai akan mengangkut sedimen (material pantai).
2. Gelombang air laut merusak pantai (*Destructive Wave*), Merupakan gelombang air laut dengan ketinggian dan cepat rambat yang besar, ketika gelombang ini menghantam pantai akan banyak volume air yang terkumpul dan membawa material pantai ke tengah laut

Berdasarkan ukurannya gelombang air laut dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Gelombang kapiler (*Capillary Wave*), jenis gelombang ini memiliki panjang gelombang sekitar 0,7 meter, periode kurang dari 0,2 detik, dan disebabkan tegangan permukaan dan tiupan angin yang tidak terlalu kuat.
2. Gelombang angin (*Seas/Wind Wave*), merupakan jenis gelombang air laut dengan panjang gelombang air laut mencapai 130 meter dan periode gelombang 0,2-0,9 detik.

Berdasarkan pengelompokan gelombang air laut menurut ukuran ketinggian dan periodenya, maka gelombang air laut bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Salah satunya adalah pemanfaatan gelombang air laut sebagai pembangkit listrik. Kita dapat merancang alat pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik suatu tempat dengan menyesuaikan dengan beban kebutuhan listrik, kondisi gelombang air laut dan lingkungan sekitar. Selain memanfaatkan gelombang air laut sebagai energi alternatif pembangkit listrik, gelombang air laut juga dikenal energi alternatif yang ramah lingkungan. Selain itu dengan memanfaatkan gelombang air laut sebagai energi pembangkit listrik, dapat menghemat ketersediaan bahan bakar minyak bumi.

2.2 Energi Laut

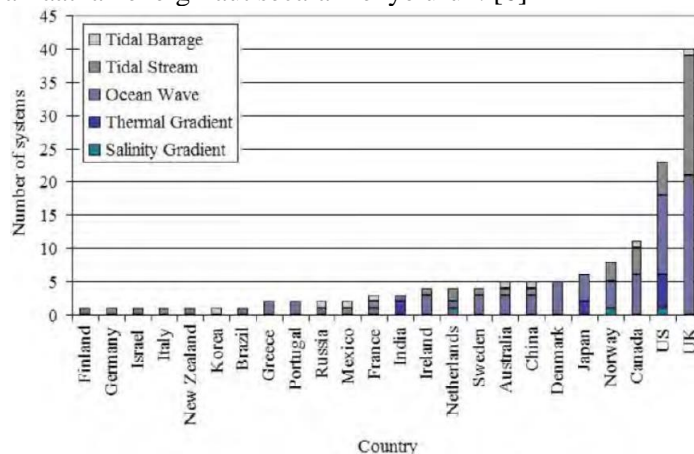
Pemanfaatan Energi laut mulai diperhatikan secara serius mulai tahun 1981, dimana sebelumnya energi laut belum dikelola secara optimal. Menurut survey organisasi internasional (IEA OES), yang bergerak di bidang pengembangan energi laut terdapat empat macam bentuk pemanfaatan energi laut yaitu *Ocean Wave*, *Tides*, *Tidal Current*, *OTEC* dan *Salinity Gradient*. Berikut Merupakan tabel potensi energi laut yang ada dan perkiraan yang bisa di serap.

Tabel 2.1 Potensi energi laut yang ada di dunia hasil statistic IEA-OES tahun 2006.[7]

| Sistem Energi Laut | Estimasi Ketersediaan Energi (Twh/Year) | Total Potensi Energi Laut yang Bisa Diserap (Twh/Year) |
|-------------------------------|---|--|
| <i>Ocean Wave</i> | 80.000 | 17.400 |
| <i>Tidal (Marine) Current</i> | 800+ | |
| <i>Tide</i> | 300+ | |
| <i>Thermal Gradient</i> | 10.000 | |
| <i>Salinity Gradient</i> | 2.000 | |

*)Twh = Tera Watt Hours

Berdasarkan model sistem energi laut yang terbanyak dimanfaatkan oleh beberapa negara atau industry adalah energi gelombang laut (*Ocean Wave*), hal ini disebabkan karena faktor ketersediaan gelombang laut yang lebih banyak, mudah cara beroperasi, lebih murah dari sisi produksi dan perawatan dibandingkan dengan sistem model energi laut lainnya. Gambar 1 menjelaskan tentang banyaknya tipe energi laut yang dikembangkan oleh beberapa negara, di mana UK (United Kingdom) merupakan negara yang terbanyak yang menghasilkan berbagai model yaitu sebanyak 40 model. Sayangnya Indonesia masih belum tercatat atau bisa dikata belum memanfaatkan energi laut secara menyeluruh. [6]



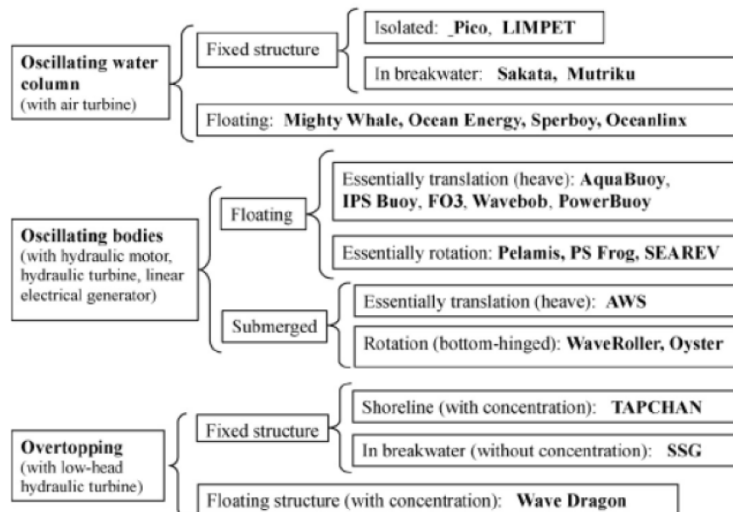
Gambar 2.2 Jumlah Model (Sistem) yang dikembangkan oleh beberapa negara (Sumber: Pandika Darmawan, 2016)

2.3 Energi Gelombang Air Laut

Dilihat dari kondisi geografis negara Indonesia yang sebagian besar wilayahnya terdiri dari lautan, maka dilakukan pengembangan pemanfaatan energi kelautan dengan memanfaatkan kekuatan ombak sebagai energi pembangkit listrik. Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu, sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi.

Pergerakan laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dorongan pergerakan angin. Angin timbul akibat perbedaan tekanan pada 2 titik yang diakibatkan oleh respons pemanasan udara oleh matahari yang berbeda di kedua titik tersebut. Mengingat sifat tersebut maka energi gelombang laut dapat dikategorikan sebagai energi terbarukan.

Keuntungan pemanfaatan energi gelombang ini adalah Energi ini bebas, tidak perlu bahan bakar, tidak ada limbah/polusi, Sumber energi yang dapat diperbaharui, Dapat menghasilkan banyak energi, Biaya tidak mahal. Sedangkan kelemahannya adalah Sangat tergantung dengan karakteristik gelombang, kadang-kadang bisa menghasilkan energi yang besar, kadang-kadang tidak ada Perlu satu lokasi yang tepat dimana gelombangnya konsisten besar; Alatnya harus kokoh sehingga tahan terhadap kondisi cuaca yang buruk. Energi gelombang laut beberapa dekade terakhir ini memiliki tiga karakter cara penangkapan energi gelombang laut, lebih detailnya dapat dilihat di gambar berikut.



Gambar 2.3 Flowchart penangkapan energi gelombang laut (Sumber: Rudianto, 2013)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL)

Pembangkit listrik tenaga gelombang air laut merupakan sebuah alat yang memanfaatkan energy gelombang dari air laut untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Untuk dapat bekerja dengan baik PLTGL tersebut harus menyesuaikan dengan pergerakan gelombang. Ide dasar Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLGTL) adalah mengubah energi potensial menjadi energi kinetik yang di teruskan menjadi energi listrik seperti yang di harapkan. Dengan kata lain sistem ini harus mendapat gaya dari gelombang sebesar mungkin namun masih tetap stabil agar daya listrik yang dihasilkan dapat optimal. Ada berbagai macam sistem pembangkit listrik tenaga gelombang air laut berdasarkan sistem kerjanya yaitu:

a. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Sistem Bandul

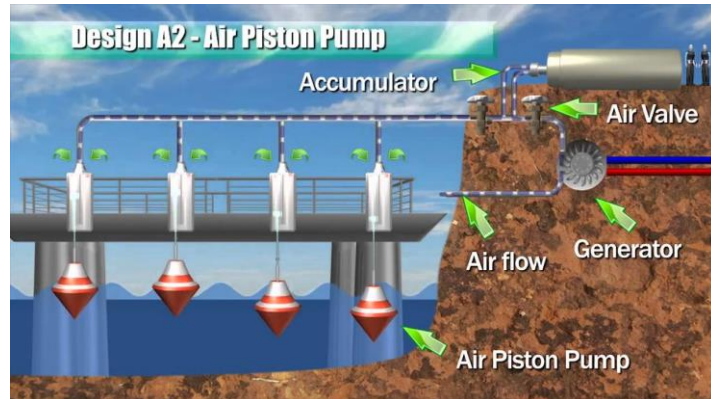
Pada pembangkit jenis ini memanfaatkan putaran dari lengan yang telah bandul dengan beban yang telah direncanakan untuk memutar generator. Putaran dari bandul diakibatkan oleh akibat gerakan *Rolling* dan *Pitching* dari ponton, kemudian putaran dari lengan bandul akan ditransmisikan menuju generator. Akan tetapi sistem ini memiliki kelemahan yaitu putaran dari bandul tidak konsisten (satu arah) karena, datangnya gelombang air laut dari berbagai arah sehingga arah putaran bandul tidak konsisten. Hal ini membuat kerja dari generator tidak efisien karena arah putaran bandul yang berubah-ubah.



Gambar 2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Sistem Bandul
(Sumber: <https://www.goodnewsfromindonesia.id/> Diakses pada tanggal 10 September 2019)

b. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Sistem Piston

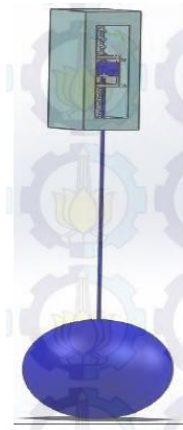
Pada pembangkit jenis ini memanfaatkan tekanan udara yang dihasilkan oleh piston untuk memutar sudu turbin yang terhubung dengan poros generator. *Connecting Rod* pada piston terhubung dengan ponton, kemudian gerakan naik turun (*Heave*) akibat gelombang air laut menggerakkan piston secara translasi sehingga piston menghasilkan udara bertekanan. Kemudian udara bertekanan dialirkan menuju *vane*/sudu sehingga menghasilkan gerakan rotasi pada sudu. Gerakan rotasi tersebut kemudian ditransmisikan menuju generator untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Dalam desainnya alat ini tergantung pada ketinggian permukaan dan gelombang air laut agar piston dapat menghasilkan tekanan udara yang maksimal untuk memutar sudu dan menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan.



Gambar 2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Sistem Piston
(Sumber: <https://i.ytimg.com/> Diakses pada tanggal 10 September 2019)

c. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Memanfaatkan *Piezoelectric*

Pada pembangkit jenis ini memanfaatkan gaya tekan yang dihasilkan oleh beban untuk menekan *Piezoelectric* sehingga *Piezoelectric* menghasilkan energi listrik. Sistem kerja dari alat ini adalah dengan memanfaatkan gerakan lengan ponton yang terdorong oleh gelombang air laut. Lengan yang terhubung dengan sebuah bidang/massa akan terdorong dan menekan *Piezoelectric* sehingga menghasilkan listrik. Sama halnya dengan sistem piston sistem ini tergantung pada tinggi gelombang dan permukaan air laut. Berdasarkan pengaplikasiannya alat ini digunakan untuk kebutuhan listrik skala kecil.

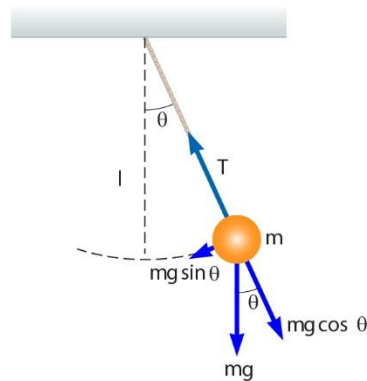


Gambar 2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut dengan Memanfaatkan *Piezoelectric*

(Sumber: Yabes David Losong. (2016). *Pemodelan Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Model Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Pltgl) Tipe Pelampung-Piezoelectric*)

2.5 Sistem Bandul

Cara kerja sistem bandul memanfaatkan gerakan mengayun secara periodik beberapa massa yang masing-masing massa terhubung dengan lengan bandul, gerakan bandul ini dipengaruhi gaya awal yang mengenai massa. Gerakan periodik bandul termasuk gerakan harmonik sederhana, yang mana pada praktiknya sebuah massa yang terhubung dengan lengan bandul akan menghasilkan simpangan dengan sudut tertentu tergantung dengan ruang gerak dan gaya yang mengenainya.



Gambar 2.7. Gerak Harmonik Sederhana Bandul

(Sumber: <https://myrightspot.com/> Diakses pada tanggal 5 November 2019)

Pada Gambar 2.7. menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada bandul, gaya yang bekerja pada sumbu x merupakan gaya yang menuju titik setimbang atau juga disebut gaya pemulih, arah gaya ini berlawanan dengan arah simpangan. Sehingga dapat ditulisdengan persamaan:

$$x = L \sin \alpha \dots\dots\dots (2.1)$$

atau,

$$\alpha = \frac{x}{L} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada arah sumbu y gaya dipengaruhi oleh massa dan diimbangi oleh tegangan tali sehingga gaya yang bekerja pada sumbu y bernilai nol. Sedangkan nilai θ adalah perbandingan antara jarak linear x dengan dengan jari-jari lingkaran (r), karena lintasan bandul berupa lingkaran. Jika massa (m) menyimpang sejauh x dengan posisi awal pada titik setimbang, maka gaya pemulihan yang terjadi pada massa bandul tersebut dapat dihitung dengan:

$$F = m x g \sin \alpha \approx m x g \alpha = x \dots\dots\dots (2.3)$$

Berhubung gaya pemulih sebanding dengan simpangan makakita dapat membandingkan gaya pemulih pada pegas dan system bandul sederhana.

Pada pegas gaya dapat dihitung dengan rumus $F = k \cdot X$, sedangkan pada bandul berlaku rumus $F = X$, sehingga pada konstanta pada bandul dapat diasumsikan

sebagai konstanta pegas (k). Secara umum persamaan simpangan dari getaran selaras adalah:

$$x = A \sin \omega t \dots\dots\dots (2.4)$$

Turunan kedua terhadap waktu dari persamaan diatas adalah:

$$\frac{dx^2}{dt^2} = \omega A^2 \sin \omega t = -\omega^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Seandainya Gerakan massa (m) ditentukan oleh Panjang lengan bandul, sehingga dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{d\theta^2}{dt^2} = -mg \sin \theta \dots\dots\dots (2.6)$$

Dalam hal ini kecepatan beban adalah $V(t) = L \times \dot{\theta}$, $\sin \theta$ merupakan gaya yang searah dengan gaya grafitasi dari gaya yang bekerja pada beban padaarah θ . Kemudian dengan menghilangkan m dari kedua sisi persamaan sebelumnya dapat diperoleh rumus:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

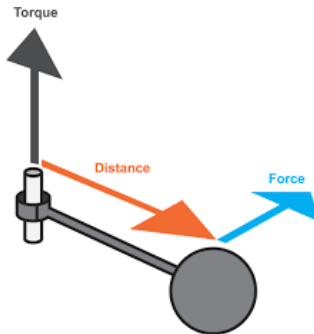
(merupakan persamaan differensial dengan tak linear untuk θ)

Berdasarkan bandul fisis periode dipengaruhi oleh Panjang tali dan percepatan gravitasi, sehingga dapat dituliskan dengan rumus:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.6 Momen Gaya (Torsi)

Momen Gaya (Torsi) merupakan gaya yang bekerja pada benda sehingga membuat benda tersebut berotasi. Dalam hal ini terdapat 2 faktor yang mempengaruhi gerak rotasi, besar gaya yang bekerja, dan jarak jarak antara sumbu dengan pusat gaya. Momen gaya (torsi) dihasilkan oleh perkalian gaya (F) dengan panjang lengan yang merupakan jarak antara pusat/sumbu rotasi dengan letak beban/gaya. Sehingga rumus momen dapat ditulis sebagai berikut:



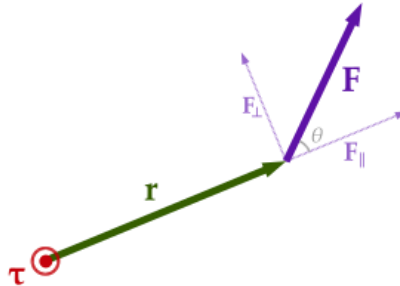
Gambar 2.8. Gaya Torsi

(Sumber: <https://allboutcircuits.com/> Diakses pada tanggal 10 September 2019)

$$\tau = L \times F \dots\dots\dots (2.9)$$

Apabila posisi lengan dengan gaya tidak tegak lurus maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = L \times F \sin \alpha \dots\dots\dots(2.10)$$



Gambar 2.9. Gaya Torsi dengan Arah Gaya Tidak Tegak Lurus
 (Sumber: <https://wikibooks.org/> Diakses pada tanggal 10 September 2019)
 Dimana: τ = Momen gaya (Nm)

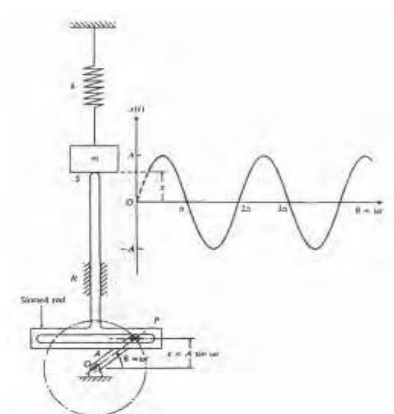
L = Panjang lengan (m)

F = Gaya (N)

$\sin \alpha$ = Sudut antara lengan dan gaya

2.7 Gerakan Harmonis

Gerakan harmonis merupakan salah satu tipe paling sederhana dari gerakan periodik, Gerakan periodik sendiri merupakan gerakan yang berulang secara teratur dalam interval waktu yang sama.



Gambar 2.10. *Scotch yoke mechanism*
 (Sumber: Pandika Darmawan, 2016)

Gambar diatas merupakan *scotch yoke mechanism* yang menunjukkan contoh sederhana dari gerakan harmonis dari gerakan massa yang diakibatkan oleh gerakan mekanisme. Engkol dengan radius A berputar terhadap titik O kemudian pada salah satu ujungnya yaitu titik P engkol meluncur pada *slotted rod* sehingga dapat bergerak bolak balik secara vertikal pada *guide R*. Kemudian titik S pada slotted link dan masa m dari sistem pegas mass (spring-mass system) akan berpindah sejauh X dalam waktu tertentu, pada saat engkol berputar dengan kecepatan sudut ω

Perpindahan:

$$X = A \sin \theta = A \sin \omega t \dots \dots \dots (2.11)$$

Kecepatan:

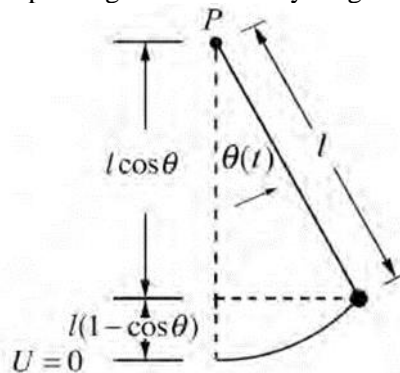
$$\frac{dx}{dt} = \omega A \cos \omega t \dots \dots \dots (2.12)$$

Percepatan:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x \dots \dots \dots (2.13)$$

2.8 Perhitungan Bandul

Dalam perhitungan torsi dan daya output bandul, sebelumnya harus dilakukan penggambaran freebody diagram bandul. Sehingga selanjutnya bias dilakukan perhitungan torsi bandul, kecepatan sudut dan daya yang dihasilkan oleh bandul. Dibawah ini merupakan gambar freebody diagram bandul:



Gambar 2.11. *Freebody Diagram* Bandul
(sumber: <https://ds055uzetaobb.cloudfront.net>)

a. Persamaan Tinggi Simpangan Bandul

Tinggi simpangan bandul merupakan jarak bandul ke lantai saat berayun. Dalam menghitung tinggi simpangan bandul didapatkan dari rumus dibawah ini:

$$h = L - L \cos \alpha \dots\dots\dots(2.14)$$

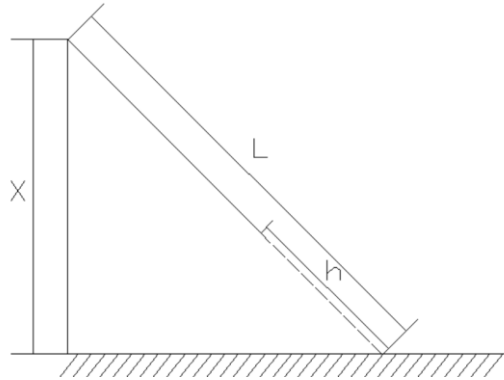
dimana:

h = jarak antara sisi bawah lengan dengan alas bandul

L = Panjang lengan bandul dihitung dari poros

α = Sudut simpangan lengan bandul

Sesuai rumus diatas katakanlah panjang bandul “ L ” maka ketika bandul berayun sebesar sudut α maka berdasarkan rumus trigonometri:



Gambar 2.12. Tinggi Simpangan

$$\cos \alpha = \frac{\text{sisi samping}}{\text{sisi miring}} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{L} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\cos \alpha = \frac{L-h}{L} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$L - h = L \times \cos \alpha \dots\dots\dots(2.18)$$

$$h = L - L \times \cos \alpha \dots\dots\dots(2.19)$$

b. Putaran Sudut Bandul

Putaran sudut bandul dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L \text{ lengan}}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

ω = Putaran sudut (rad/s)

g = Percepatan gravitasi

h = jarak sisi bawah lengan bandul dengan alas

L = Panjang lengan bandul dihitung dari poros

c. Kecepatan

Dalam menentukan kecepatan, menggunakan rumus berikut:

$$V = \sqrt{2gh} = \omega \times L_{\text{lengan}} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana:

V = Kecepatan sudut

g = Percepatan gravitasi

h = jarak sisi bawah lengan bandul dengan alas

ω = Putaran sudut (rad/s)

L = Panjang lengan bandul dihitung dari poros

Rumus diatas merupakan rumus gerak jatuh bebas yang berasal dari rumus turunan:

$$mgh = \frac{1}{2} m \times v^2 \dots \dots \dots (2.21)$$

$$2mgh = m \times v^2 \dots \dots \dots (2.22)$$

$$v = \sqrt{2 \times g \times h} \dots \dots \dots (2.23)$$

d. Daya Output Poros Bandul

Daya output poros bandul dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$SHP = \tau \times \omega \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana:

SHP = *Shaft power* dari poros bandul (W)

ω = Putaran sudut (rad/s)

τ = Torsi

2.9 Pulau Gili Labak

Pulau Gili Labak merupakan bagian dari wilayah pemerintah Kabupaten Sumenep, provinsi Jawa Timur. Secara administratif, Pulau Gili Labak lebih tepatnya masuk dalam wilayah Dusun Lembana, Desa Kombang, Kecamatan Talango. Secara koordinat, Gili Labak terletak pada titik 7012'10-3" lintang selatan dan 114002"47-4" bujur timur. Pulau kecil ini terletak di sebelah tenggara Pulau Madura. Dengan luas wilayah sekitar 5 ha, hanya dalam 30 menit bisa mengelilingi pulau kecil ini dengan berjalan kaki. Pulau berbentuk kecil melingkar ini berada di sebelah tenggara dari Pulau Madura.



Gambar 2.13. Gambar Pulau Gili Labak
(Sumber: Salsabila Dela Kautsar, 2017)

Tabel 2.2 Nilai rata-rata data angin, arus dan gelombang air laut di Pulau Gili Labak.[11]

| Koordinat | Wind Spd (Knot) | Current Spd (Cm/S) | Wave Height (m) | Wave Length (m) | P (S) |
|------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Timur Laut | 5.434 | 19.613 | 1.148 | 54.091 | 5.877 |
| Timur | 4.370 | 14.125 | 0.931 | 52.758 | 5.806 |
| Tenggara | 5.411 | 19.586 | 1.146 | 54.116 | 5.878 |
| Selatan | 5.403 | 19.581 | 1.144 | 54.071 | 5.876 |

(Sumber: Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya, 2019)

Dari data diatas terdapat 4 koordinat yang diambil berdasarkan kondisi geografis di sekitar laut. Kreteria geogafis yang dipilih adalah letak pulau yang berdekatan dengan titik koordinat yang dipilih, semakin jauh titik koordinat dengan daratan maka semakin baik nilai yang didapat, karena daratan yang saling berdekatan akan menyebabkan arah dan kecepatan gelombang air laut menjadi tidak signifikan.



Gambar 2.14. Peta Letak Pulau Gili Labak
(Sumber: Poltekpel Surabaya,2018)

Ada sekitar 37 Kepala Keluarga yang sudah menetap di Pulau Gili Labak. Total penduduk yang menetap di Pulau Gili Labak saat ini adalah 122 penduduk, dengan penduduk laki-laki 67 orang, perempuan 33 orang, dan anak-anak 12 orang (Data Kepala Desa Pulau Gili Labak). Namun untuk fasilitas listrik menggunakan sistem listrik bertenaga surya dan sistem listrik generator.

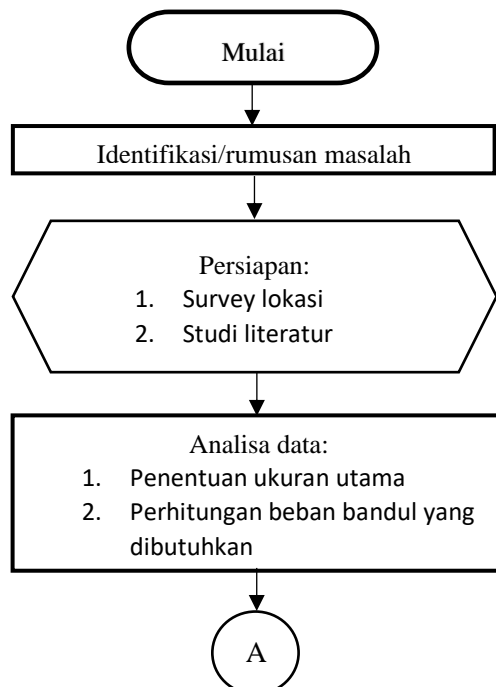
BAB III

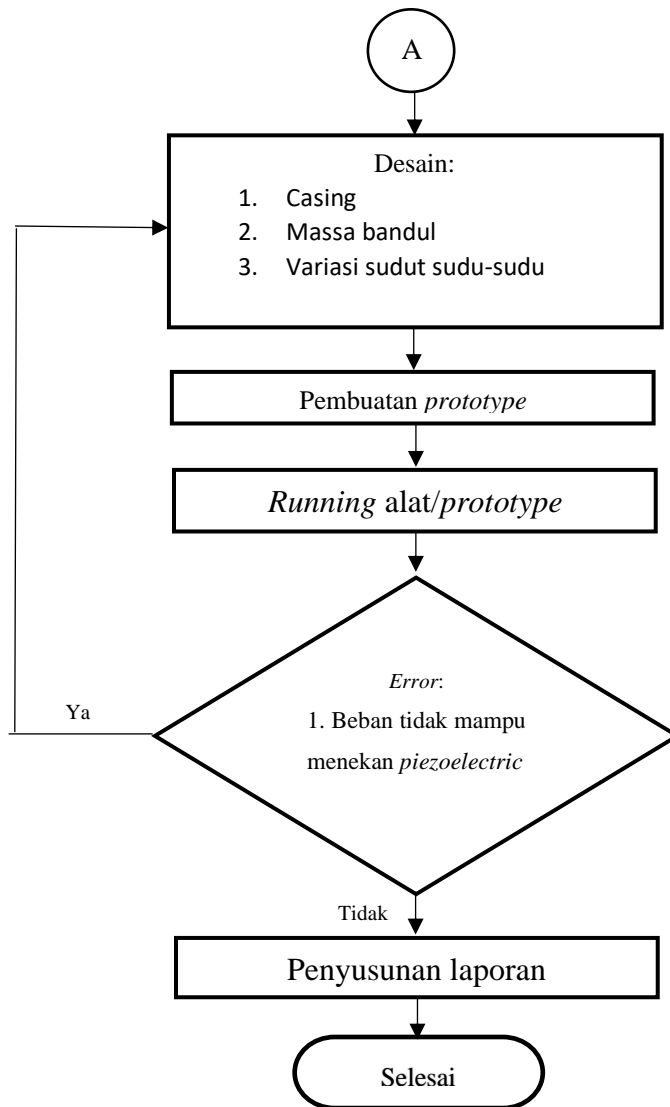
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir merupakan proses atau cara ilmiah untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk keperluan penelitian. Pada bab ini akan dibahas mengenai metode pengerjaan dari penelitian yang akan dilakukan. Berdasarkan rumusan masalah yang telah didapatkan, tujuan dari penelitian ini adalah mendesain *piezoelectric* sesuai dengan keadaan lingkungan Gili Labak sebagai lokasi penelitian agar sistem ini dapat mensuplai kebutuhan listrik di daerah tersebut. Penentuan lokasi penelitian dilatarbelakangi oleh, solusi energi alternatif gelombang air laut sebagai PLTGL untuk pengganti energi minyak bumi. Sehingga pada penelitian ini terdapat beberapa langkah pengerjaan yang akan dilakukan yaitu:

- a. Identifikasi/rumusan masalah
- b. Persiapan
- c. Analisa data
- d. Desain
- e. Pembuatan *prototype*
- f. *Running prototype*
- g. Penyusunan laporan





Gambar 3.1. Diagram alir

Dalam pengerjaannya terdapat beberapa literatur yang digunakan sebagai acuan dalam mendesain sistem ini. Acuan yang digunakan berasal dari berbagai sumber penelitian, *rules* maupun data lingkungan. Beberapa acuan yang digunakan untuk merancang alat ini adalah kondisi perairan di pulau Gili Labak sebagai data lingkungan, mekanisme aktuator dan struktur *cantilever* serta analisa beban yang terjadi sebagai referensi mekanisme dari sistem. Sehingga diharapkan *prototype* dapat bekerja sesuai fungsinya. Pada proses perancangannya sistem ini akan dibagi menjadi beberapa tahap agar pengerjaan *prototype* dapat dikontrol dan mendapatkan hasil yang sesuai.

3.2 Tahapan Penelitian

Terdapat beberapa tahap pengerjaan dalam perancangan *prototype* pada sistem ini. Langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam penyelesaian penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Rumusan Masalah

Pada tahap ini akan dilakukan identifikasi dan perencanaan tahap penelitian, dimana tahapan penelitian harus sesuai dengan rumusan masalah pada bab 1 yaitu:

1. Bagaimana desain pembangkit listrik dengan memanfaatkan gelombang air laut di Pulau Gili Labak?
2. Berapa besar gaya yang dibutuhkan untuk menekan *piezoelectric*?
3. Berapa sudut dari sudu yang paling efisien menekan *piezoelectric*?
4. Berapa beban optimal dari massa bandul yang paling efisien menekan *piezoelectric*?

b. Persiapan

Pada tahap ini akan dilakukan persiapan data yang dibutuhkan untuk merancang *prototype*. Data yang digunakan merupakan tempat yang telah ditentukan sebagai objek penelitian dari tugas akhir ini yaitu di perairan Gili Labak. Data lokasi yang dibutuhkan untuk penelitian ini antara lain:

- a. Tinggi dan panjang gelombang air laut
- b. Arus
- c. Kecepatan angin

Selain data tempat juga dibutuhkan beberapa literatur untuk perancangan alat ini. Literatur yang digunakan yaitu:

- a. Karakteristik gelombang air laut
- b. Jenis-jenis PLTGL yang telah dirancang pada penelitian sebelumnya
- c. Sistem bandul sebagai mekanisme sistem lengan dari PLTGL serta beban yang dikenainya

Selain berfungsi sebagai data perhitungan dalam perancangan *prototype* literatur tersebut juga akan digunakan sebagai materi dalam penyusunan tinjauan pustaka pada laporan. Literatur yang digunakan berasal dari buku, jurnal, makalah, thesis, maupun website yang berdekatan dengan judul tugas akhir yang bersangkutan. Sehingga dapat digunakan sebagai referensi ataupun acuan.

c. Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa dari data yang telah diperoleh. Tujuan dari tahap ini adalah sebagai penentuan ukuran dari PLTGL. Data-data tersebut meliputi, rata-rata gelombang air laut, arus, dan kecepatan angin. Untuk menentukan ukuran *casing piezoelectric*, dan massa beban penekan *piezoelectric* juga dibutuhkan data gelombang air laut karena komponen ini berhubungan dengan besar gaya yang

diberikan oleh gelombang terhadap ponton. Dari hasil analisa tersebut nantinya akan digunakan sebagai penentuan ukuran model alat pada tahap desain.

d. Desain

Pada tahap ini dilakukan desain PLTGL sesuai dengan analisa data yang telah dilakukan. Dalam prosesnya desain alat ini menggunakan *software autodesk inventor*. Desain pada tahap ini berupa:

- a. *Casing*
- b. Sudu penekan *piezoelectric*
- c. Mekanisme sistem bandul.

Setelah melakukan analisa data dan mendapatkan skala desain sesuai laboratorium maka akan dilakukan desain model.

e. Pembuatan model

Pada tahap ini akan dibuat model alat pada PLTGL berdasarkan ukuran pada desain yang telah diskala. Dalam perencanaannya alat ini akan dibuat menggunakan bahan akrilik sebagai *casing*, lengan bandul, sudu, dan *casing piezoelectric*, material timah sebagai massa bandul, dan pipa aluminium sebagai poros.

f. *Running* alat/model

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian alat pada laboratorium *flume tank* ITS. Dalam pengujiannya alat ini harus memenuhi beberapa parameter/fungsi agar sistem ini bekerja dengan baik. Parameter yang digunakan yaitu kemampuan beban menekan *piezoelectric* untuk menyalakan beban lampu, dan kemampuan material *piezoelectric* dan *casing* menahan beban. Alat akan diuji dengan kondisi perairan sesuai dengan data lokasi yang telah diskala sesuai laboratorium. Apabila salah satu parameter tidak terpenuhi, maka akan dilakukan evaluasi pada tahap desain alat dan apabila sistem dapat bekerja sesuai fungsi maka akan dilanjutkan pada tahap selanjutnya.

g. Penyusunan Laporan

Pada tahap penyusunan laporan akan dilakukan analisa hasil pengujian *prototype*. Analisa yang dilakukan berupa besar beban yang dibutuhkan untuk menekan *Piezoelectric*. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian kemudian dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan fungsi dari *prototype* yang telah dibuat.

BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Data Piezoelectric

Berdasarkan percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh Joenta Indraswara dalam tugas akhirnya yang berjudul “Studi Karakteristik Energi Bangkitan Menggunakan Metode Piezoelectric-Pengungkit dengan Variasi Blade Pemukul dan Frekuensi Sumber Getar”[8] didapatkan hasil tegangan piezoelectric minisense 100 berdasarkan defleksi yang yang dikenai:

Tabel 4.1 Voltase Bangkitan *Piezoelectric Minisense 100*

| No | Xp (mm) | VRMS (V) |
|----|---------|----------|
| 1 | 2 | 0.1626 |
| 2 | 4 | 0.1695 |
| 3 | 6 | 1.637 |
| 4 | 8 | 8.8629 |

Berdasarkan data diatas semakin besar defleksi yang diberikan terhadap *piezoelectric* maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Dari percobaan tersebut dapat disimpulkan semakin besar gaya yang diberikan untuk untuk menimbulkan defleksi pada *piezoelectric minisense 100* semakin besar pula voltase yang dihasilkan. Pada model ini gaya yang dihasilkan berasal dari sistem bandul, berdasarkan desainnya system bandul akan dirancang sesuai perhitungan berikut:

4.2 Desain Bandul

Dalam menentukan spesifikasi bandul, pertama yang dilakukan adalah mengetahui gaya yang efisien yang dibutuhkan *piezoelectric*, berdasarkan percobaan yang dilakukan *piezoelectric minisense 100* membutuhkan bending sebesar 40° dengan voltase rata-rata yang didapat sebesar 3V.



Gambar 4.1. Percobaan *Bending Piezoelectric*

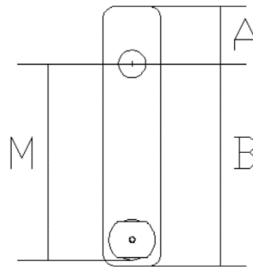


Gambar 4.2. Voltase Bangkitan *Piezoelectric*

Berdasarkan percobaan yang dilakukan untuk mencapai bending sebesar 40° dibutuhkan massa sebesar 0.015 kg atau 0.147 N berdasarkan data percobaan maka dapat diketahui torsi reaksi yang dihasilkan elemen *piezoelectric* berdasarkan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}\tau &= 0.147 \times 0.0128 \times \sin 40^\circ \\ &= 0.0012 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka ditentukan spesifikasi bandul seperti berikut:



Gambar 4.3. Bandul

- Panjang total bandul = 0.225 m
- Massa beban bandul = $0,07 \text{ kg}$
- Panjang lengan bandul (A) = 0.175 m
- Panjang lengan bandul (B) = 0.05 m
- Jarak beban ke poros bandul = 0.170 m
- Diameter massa bandul = $0,035 \text{ m}$
- Massa beban bandul = $0,07 \text{ kg} = 0.687 \text{ N}$
- Massa lengan bandul (A) = $0.0149 \text{ kg} = 0.146 \text{ N}$
- Massa lengan bandul (B) = $0.045 \text{ kg} = 0.437 \text{ N}$

4.3 Gaya yang Bekerja pada Bandul

Berdasarkan spesifikasi bandul diatas maka dapat kita ketahui gaya torsi yang bekerja pada bandul:

$$\tau = m \times L_{lengan} \times g \dots\dots\dots(4.1)$$

- a. Torsi Lengan Bandul A

$$\begin{aligned} \tau &= 0.0149 \times 0,05 \times 9.81 \\ &= 0.007 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- b. Torsi Lengan Bandul B

$$\begin{aligned} \tau &= 0.045 \times 0,175 \times 9.81 \\ &= 0.077 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- c. Torsi Beban Bandul

$$\begin{aligned} \tau &= 0.07 \times 0,170 \times 9.81 \\ &= 0.117 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- d. Torsi Total Bandul

$$\begin{aligned} \tau_{total} &= (\tau_B - \tau_A) + \tau_{Beban} \\ \tau_{total} &= (0.077 - 0.007) + 0.117 \\ &= 0.186 \text{ Nm} \\ \tau_{2 \text{ bandul}} &= 0.186 \times 2 \\ &= 0.372 \text{ Nm} \end{aligned}$$

4.4 Contoh Perhitungan Sistem Bandul

4.4.1 Perhitungan Tinggi Simpangan Bandul

Gerakan ayunan bandul akibat respon gerakan ponton terhadap pengaruh gerakan gelombang air laut, menghasilkan tinggi simpangan yang berbeda tergantung Gerakan *roll* ponton, sehingga menghasilkan sudut simpangan yang terjadi. Berikut perhitungan dalam menentukan tinggi simpangan bandul:

$$h = L - L \cos \alpha$$

$$h = 0,175 - 0,175 \cos 58.59$$

$$= 0.08 \text{ m}$$

4.4.2 Perhitungan Torsi Sistem

Torsi merupakan gaya yang dapat menyebabkan benda dapat melingkar. Dibawah ini merupakan perhitungantorsi yang terjadi pada lengan bandul dan massa bandul:

$$\begin{aligned}\tau_{massa\ bandul} &= m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha \\ &= 0,07 \times 0,170 \times 9,81 \times \sin 58.59\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 0.0996\ Nm \\ \tau_{lengan\ A} &= m_{lengan} \times L_{lengan} \times g \times \sin \alpha \\ &= 0,015 \times 0,05 \times 9,81 \times \sin 58.59 \\ &= 0.006\ Nm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{lengan\ B} &= m_{lengan} \times L_{lengan} \times g \times \sin \alpha \\ &= 0,045 \times 0,175 \times 9,81 \times \sin 58.59 \\ &= 0.07\ Nm\end{aligned}$$

Total torsi pada system bandul:

$$\begin{aligned}\tau_{sistem} &= (\tau_{lenganB} - \tau_{lenganA}) + \tau_{massa\ bandul} \\ &= ((0.07 - 0.006) + 0.0996) \times 2\ (\text{karena 2 bandul}) \\ &= 0.32\ Nm\end{aligned}$$

4.4.3 Perhitungan Putaran Sudut

Putaran sudut pada bandul dapat ditentukan menggunakan perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned}\omega &= \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L_{lengan}}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 0.08}{0.175}} \\ &= 7.33\ \text{Rad/s}\end{aligned}$$

4.4.4 Perhitungan Kecepatan

Dalam hal ini kecepatan yang dimaksud merupakan hasil dari perhitungan dari putaran sudut dengan Panjang lengan. Berikut merupakan perhitungan kecepatan sudut system bandul:

$$V = \omega \times L_{lengan}$$

$$V = 7.33 \times 0.175$$

$$= 1.28 \text{ m/s}$$

4.4.5 Daya yang Dihasilkan Bandul

Daya yang ditransmisikan bandul dapat diketahui dengan perhitungan dibawah ini:

$$P = \omega \times \tau$$

$$P = 7.33 \times 0.32$$

$$= 2.33 \text{ W}$$

4.5 Hasil Pengujian

Data pada tabel berikut merupakan daya yang dihasilkan system berdasarkan variasi sudut penekan *piezoelectric* yang didapatkan dari penujian model yang dilakukan :

4.5.1 Panjang Lengan 0,220 m

- a. Variasi 5 Sudu

Tabel pengujian variasi 5 sudu

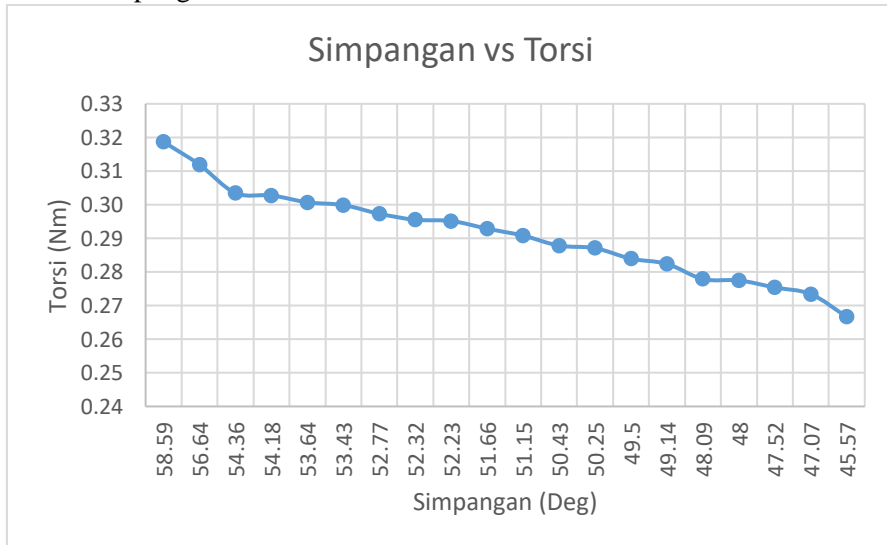
Tabel 4.2 Kondisi 1 Variasi 5 Sudu

| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 1 | 58.59 | 0.08 | 0.32 | 7.33 | 1.28 | 2.33 | 7.23 |
| 2 | 56.64 | 0.08 | 0.31 | 7.10 | 1.24 | 2.22 | 5 |
| 3 | 54.36 | 0.07 | 0.30 | 6.84 | 1.20 | 2.08 | 5 |
| 4 | 54.18 | 0.07 | 0.30 | 6.82 | 1.19 | 2.06 | 5 |
| 5 | 53.64 | 0.07 | 0.30 | 6.76 | 1.18 | 2.03 | 5 |
| 6 | 53.43 | 0.07 | 0.30 | 6.73 | 1.18 | 2.02 | 5 |
| 7 | 52.77 | 0.07 | 0.30 | 6.65 | 1.16 | 1.98 | 5 |
| 8 | 52.32 | 0.07 | 0.30 | 6.60 | 1.16 | 1.95 | 5 |
| 9 | 52.23 | 0.07 | 0.30 | 6.59 | 1.15 | 1.95 | 5 |
| 10 | 51.66 | 0.07 | 0.29 | 6.52 | 1.14 | 1.91 | 5 |
| 11 | 51.15 | 0.07 | 0.29 | 6.46 | 1.13 | 1.88 | 5 |
| 12 | 50.43 | 0.06 | 0.29 | 6.38 | 1.12 | 1.84 | 5 |
| 13 | 50.25 | 0.06 | 0.29 | 6.36 | 1.11 | 1.83 | 5 |

| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 14 | 49.5 | 0.06 | 0.28 | 6.27 | 1.10 | 1.78 | 5 |
| 15 | 49.14 | 0.06 | 0.28 | 6.23 | 1.09 | 1.76 | 5 |
| 16 | 48.09 | 0.06 | 0.28 | 6.10 | 1.07 | 1.70 | 5 |
| 17 | 48 | 0.06 | 0.28 | 6.09 | 1.07 | 1.69 | 5 |
| 18 | 47.52 | 0.06 | 0.28 | 6.03 | 1.06 | 1.66 | 5 |
| 19 | 47.07 | 0.06 | 0.27 | 5.98 | 1.05 | 1.63 | 5 |
| 20 | 45.57 | 0.05 | 0.27 | 5.80 | 1.01 | 1.55 | 1.42 |

Ket:

- h = tinggi simpangan (m)
 - τ = torsi system bandul (N/m)
 - ω = putaran sudut (deg)
 - V = kecepatan sudut (rad/s)
 - W_b = daya yang dihasilkan bandul (Watt)
 - V_p = tegangan *piezoelectric* (V)
- Grafik Simpangan vs Torsi

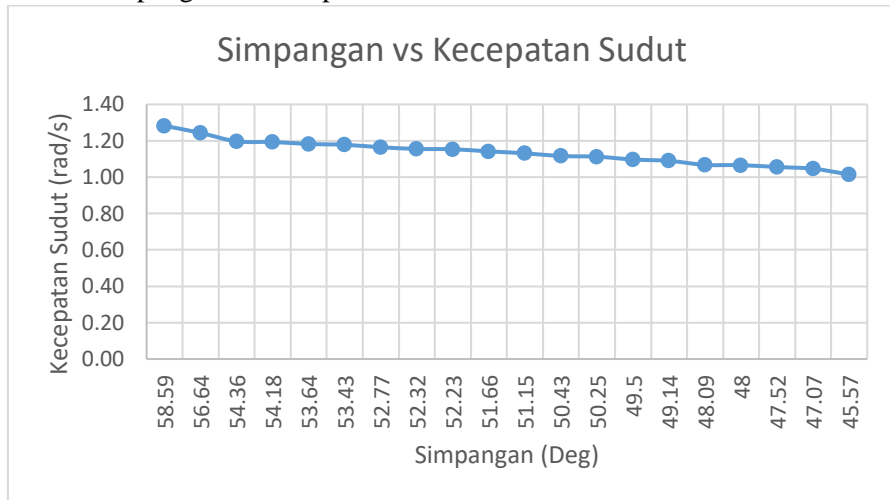


Gambar 4.4. Grafik Simpangan vs Torsi Kondisi 1 Variasi 5 Sudu
 Dapat kita lihat pada grafik diatas hubungan simpangam dengan torsi
 berbanding lurus, hal ini sesuai dengan perhitungan:

$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

Sehingga dapat kita ketahui semakin besar sudut simpangan maka torsi yang
 didapatkan semakin besar.

- Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.5. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 1 Variasi 5 Sudu
 Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara simpangan dengan kecepatan sudut, dimana nilai pada simpangan berbanding lurus, dengan kecepatan sudut, hal ini dikarenakan besarnya simpangan mempengaruhi nilai “h” yang berlaku pada rumus:

$$h = L - L \cos \alpha$$

untuk mencari nilai kecepatan dapat dihitung dengan rumus:

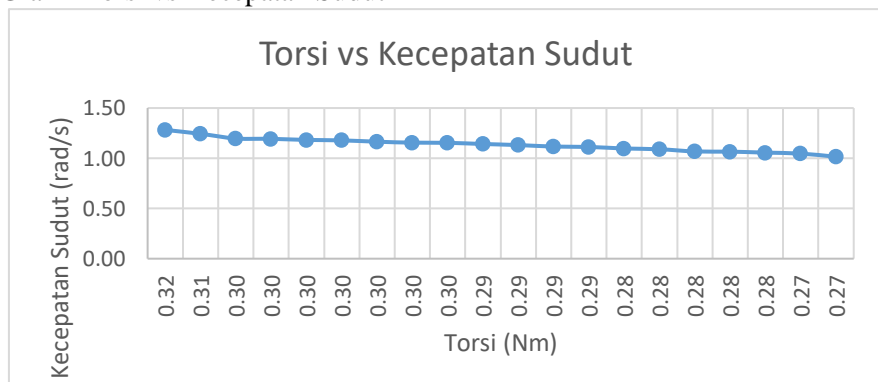
$$V = \omega \times L_{lengan}$$

sedangkan,

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L_{lengan}}}$$

sehingga dapat kita ketahui semakin besar nilai simpangan maka kecepatan sudut yang didapatkan semakin besar

- Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.6. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 1 Variasi 5 Sudu

Grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan kecepatan sudut yang didapatkan berdasarkan pengujian. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan sudutnya semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan keduanya memanfaatkan panjang lengan bandul, torsi:

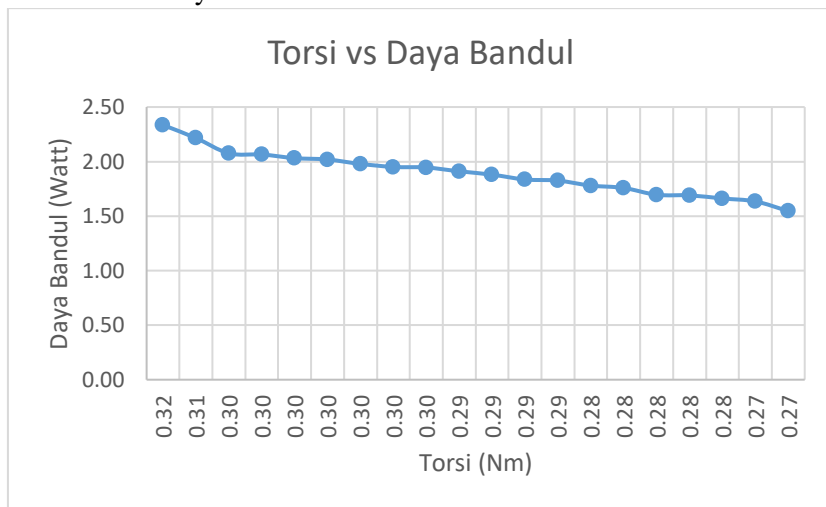
$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

kecepatan sudut:

$$V = \omega \times L_{lengan}$$

sehingga semakin panjang lengan bandul maka semakin besar nilai torsi dan kecepatan sudut.

- Grafik Torsi vs Daya Bandul



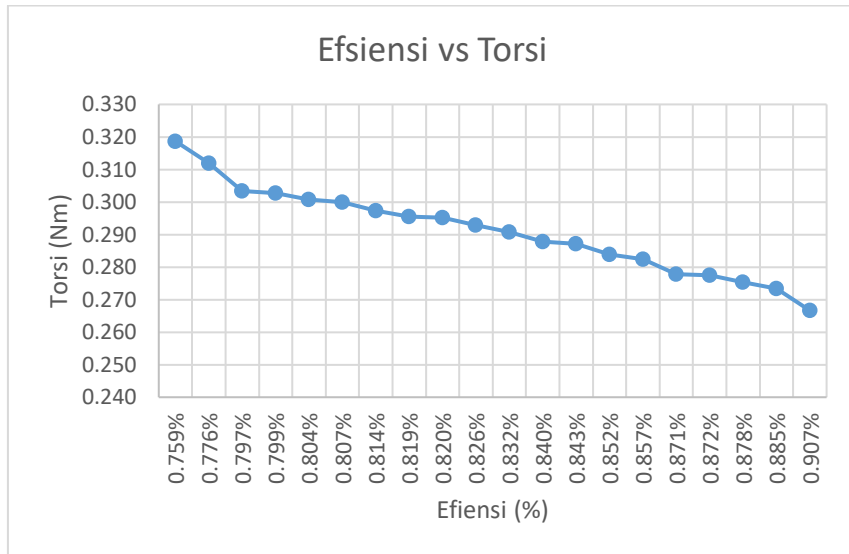
Gambar 4.7. Grafik Torsi vs Daya Bandul Kondisi 1 Variasi 5 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan daya yang disalurkan oleh lengan bandul pada poros bandul. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan maka daya yang dihasilkan semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan

$$P = \omega \times \tau$$

Sehingga semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin besar daya yang dihasilkan bandul.

- Efisiensi Torsi Bandul



Gambar 4.8. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 1 Variasi 5 Sudu

Grafik diatas menunjukkan perbandingan antara torsi yang dihasilkan bandul dengan efisiensi torsi bandul akibat bersinggungan dengan *piezoelectric*. Dimana Semakin tinggi torsi yang dihasilkan maka semakin rendah nilai efisiensinya. Hal ini dikarenakan ketika sudu bersinggungan dengan *piezoelectric* maka torsi yang dihasilkan mengalami penurunan karena *piezoelectric* memiliki gaya pegas yang arahnya berlawanan dengan sudu, akan tetapi untuk berdasarkan jumlah *piezoelectric* yang berjumlah 2 buah, sehingga gaya torsi yang dihasilkan bandul tidak seluruhnya terpakai. Berikut ini tabel yang menunjukkan efisiensi torsi yang dihasilkan oleh sudu:

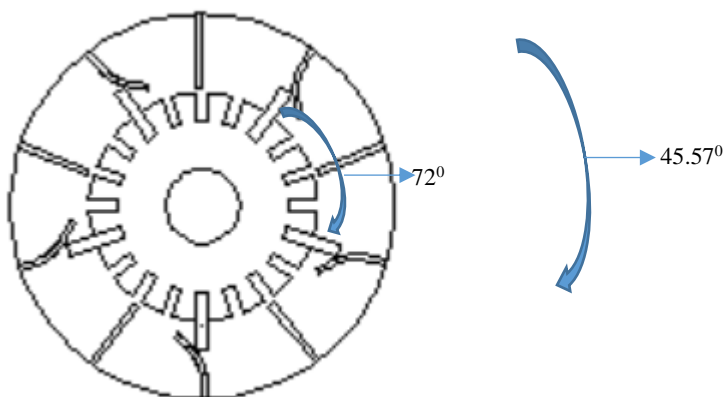
Tabel 4.3 Efisiensi Torsi Variasi 5 Sudu

| Variasi 5 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ Reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ Output (Nm) | τ Losses (Nm) | Eff(%) |
| 58.59 | 0.319 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.316 | 0.759% |
| 56.64 | 0.312 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.309 | 0.776% |
| 54.36 | 0.303 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.301 | 0.797% |
| 54.18 | 0.303 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.300 | 0.799% |
| 53.64 | 0.301 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.298 | 0.804% |
| 53.43 | 0.300 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.297 | 0.807% |
| 52.77 | 0.297 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.295 | 0.814% |
| 52.32 | 0.296 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.293 | 0.819% |
| 52.23 | 0.295 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.293 | 0.820% |

| Variasi 5 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ Reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ Output (Nm) | τ Losses (Nm) | Eff(%) |
| 51.66 | 0.293 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.290 | 0.826% |
| 51.15 | 0.291 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.288 | 0.832% |
| 50.43 | 0.288 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.285 | 0.840% |
| 50.25 | 0.287 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.285 | 0.843% |
| 49.5 | 0.284 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.282 | 0.852% |
| 49.14 | 0.282 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.280 | 0.857% |
| 48.09 | 0.278 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.275 | 0.871% |
| 48 | 0.277 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.275 | 0.872% |
| 47.52 | 0.275 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.273 | 0.878% |
| 47.07 | 0.273 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.271 | 0.885% |
| 45.57 | 0.267 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.264 | 0.907% |

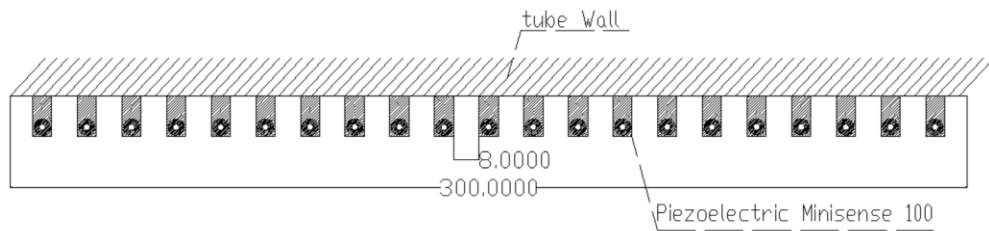
Berdasarkan tabel diatas didapatkan nilai tertinggi dari efisiensi yaitu 0.907% pada gaya input bandul sebesar 0.267 Nm dan gaya yang tidak terpakai sebesar 0.288 Nm sedangkan efisiensi terendah 0.759% pada gaya input bandul sebesar 0.319 Nm dan gaya yang tidak terpaai sebesar 0.316 Nm, dari data tersebut dapat kita ketahui nilai gaya bandul yang terbuang mendekati nilai gaya inputnya yang artinya semakin banyak gaya yang terbuang semakin kecil efisiensi dari alat tersebut. Efisiensi dapat dinaikkan dengan menambahkan jumlah *piezoelectric* dengan besar simpangan sebagai acuan sehingga gaya output meningkat dan gaya yang terbuang `menurun. Berikut desain penambahan jumlah *piezoelectric*:

- Simpangan minimum: 45.57°



Gambar 4.9. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Samping Kondisi 1 Variasi 5 Sudu Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui 1 sudu dapat menjangkau 2 *piezoelectric*, sementara pada desain ini jumlah *piezoelectric* yang direncanakan 10 *piezoelectric*, sehingga didapatkan τ output sebesar:

- τ output 1 *piezoelectric*: 0.0012 Nm
- Total τ output: $10 \times 0.0012 \text{ Nm} = 0.012 \text{ Nm}$
berdasarkan total torsi diatas dan lebar *piezoelectric* 0.006 m sementara ukuran tabung *piezoelectric* pada model adalah 0.3 m maka, direncanakan 1 baris *piezoelectric* berjumlah 21 deret dengan asumsi perhitungan berikut:
- Total τ output 21 deret sudu = 21×0.012
= 0.252 Nm
- Efisiensi τ pada simpangan minimum = $\frac{0.252}{0.267} \times 100$
= 94.4%



Gambar 4.10. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Depan Kondisi 1 Variasi 5 Sudu

Berdasarkan perencanaan diatas maka jarak tiap deret *piezoelectric* adalah 8 mm.

b. Variasi 10 Sudu

Tabel variasi 10 sudu

Tabel 4.4 Kondisi 1 Variasi 10 Sudu

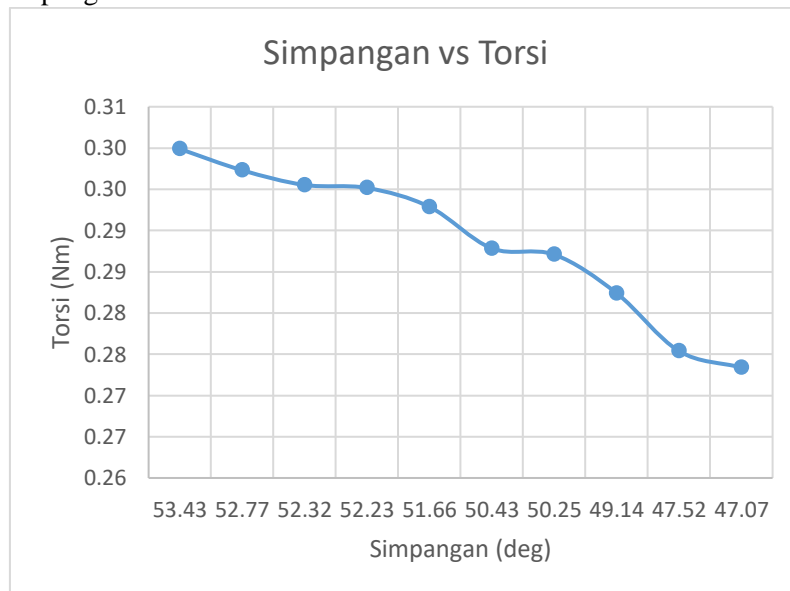
| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 1 | 53.43 | 0.07 | 0.30 | 6.73 | 1.18 | 2.02 | 5 |
| 2 | 52.77 | 0.07 | 0.30 | 6.65 | 1.16 | 1.98 | 5 |
| 3 | 52.32 | 0.07 | 0.30 | 6.60 | 1.16 | 1.95 | 5 |
| 4 | 52.23 | 0.07 | 0.30 | 6.59 | 1.15 | 1.95 | 5 |
| 5 | 51.66 | 0.07 | 0.29 | 6.52 | 1.14 | 1.91 | 5 |
| 6 | 50.43 | 0.06 | 0.29 | 6.38 | 1.12 | 1.84 | 5 |
| 7 | 50.25 | 0.06 | 0.29 | 6.36 | 1.11 | 1.83 | 5 |
| 8 | 49.14 | 0.06 | 0.28 | 6.23 | 1.09 | 1.76 | 5 |
| 9 | 47.52 | 0.06 | 0.28 | 6.03 | 1.06 | 1.66 | 4.11 |
| 10 | 47.07 | 0.06 | 0.27 | 5.98 | 1.05 | 1.63 | 4.05 |
| 11 | 43.23 | 0.05 | 0.26 | 5.52 | 0.97 | 1.41 | 3.44 |
| 12 | 41.64 | 0.04 | 0.25 | 5.32 | 0.93 | 1.32 | 3.44 |
| 13 | 41.34 | 0.04 | 0.25 | 5.29 | 0.92 | 1.30 | 3.22 |
| 14 | 40.5 | 0.04 | 0.24 | 5.18 | 0.91 | 1.26 | 3.01 |
| 15 | 40.5 | 0.04 | 0.24 | 5.18 | 0.91 | 1.26 | 2.22 |

| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 16 | 40.02 | 0.04 | 0.24 | 5.12 | 0.90 | 1.23 | 2.22 |
| 17 | 39.57 | 0.04 | 0.24 | 5.07 | 0.89 | 1.21 | 1.55 |
| 18 | 39.09 | 0.04 | 0.24 | 5.01 | 0.88 | 1.18 | 1.55 |
| 19 | 39.09 | 0.04 | 0.24 | 5.01 | 0.88 | 1.18 | 1.44 |
| 20 | 38.91 | 0.04 | 0.23 | 4.99 | 0.87 | 1.17 | 1.22 |

Ket:

- h = tinggi simpangan (m)
- τ = torsi system bandul (N/m)
- ω = putaran sudut (deg)
- V = kecepatan sudut (rad/s)
- W_b = daya yang dihasilkan bandul (Watt)
- V_p = tegangan *piezoelectric* (V)

- Grafik Simpangan vs Torsi



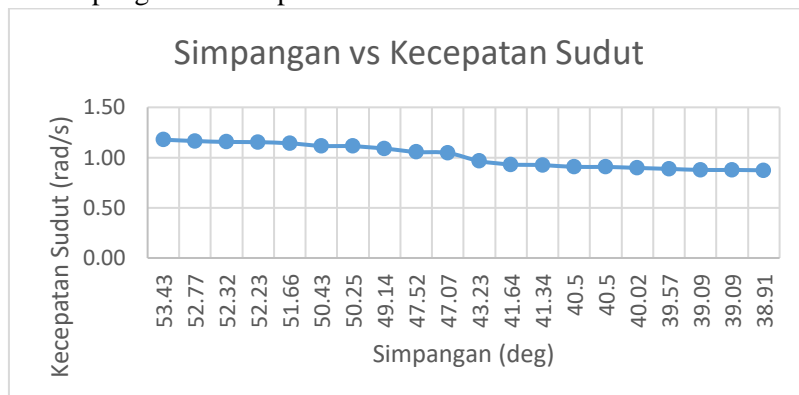
Gambar 4.11. Grafik Simpangan vs Torsi 1 Variasi 10 Sudu

Dapat kita lihat pada grafik diatas hubungan simpangam dengan torsi berbanding lurus, hal ini sesuai dengan perhitungan:

$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

Sehingga dapat kita ketahui semakin besar sudut simpangan maka torsi yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.12. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 10 Sudu
 Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara simpangan dengan kecepatan sudut, dimana nilai pada simpangan berbanding lurus, dengan kecepatan sudut, hal ini dikarenakan besarnya simpangan mempengaruhi nilai “h” yang berlaku pada rumus:

$$h = L - L \cos \alpha$$

untuk mencari nilai kecepatan dapat dihitung dengan rumus:

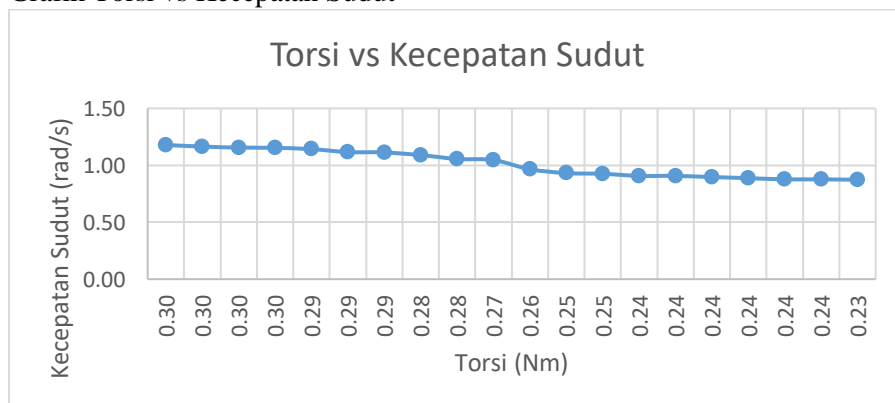
$$V = \omega \times L_{lengan}$$

sedangkan,

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L_{lengan}}}$$

sehingga dapat kita ketahui semakin besar nilai simpangan maka kecepatan sudut yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.13. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 10 Sudu

Grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan kecepatan sudut yang didapatkan berdasarkan pengujian. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan sudutnya semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan keduanya memanfaatkan panjang lengan bandul, torsi:

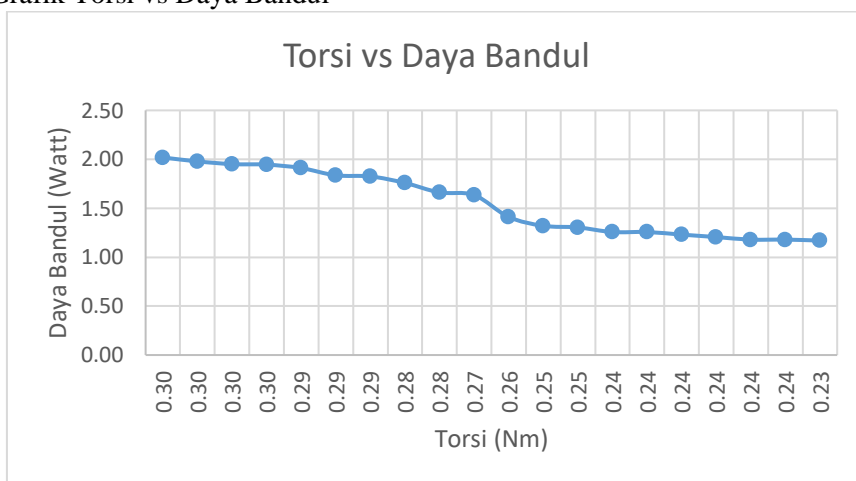
$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

kecepatan sudut:

$$V = \omega \times L_{lengan}$$

sehingga semakin panjang lengan bandul maka semakin besar nilai torsi dan kecepatan sudut.

- Grafik Torsi vs Daya Bandul



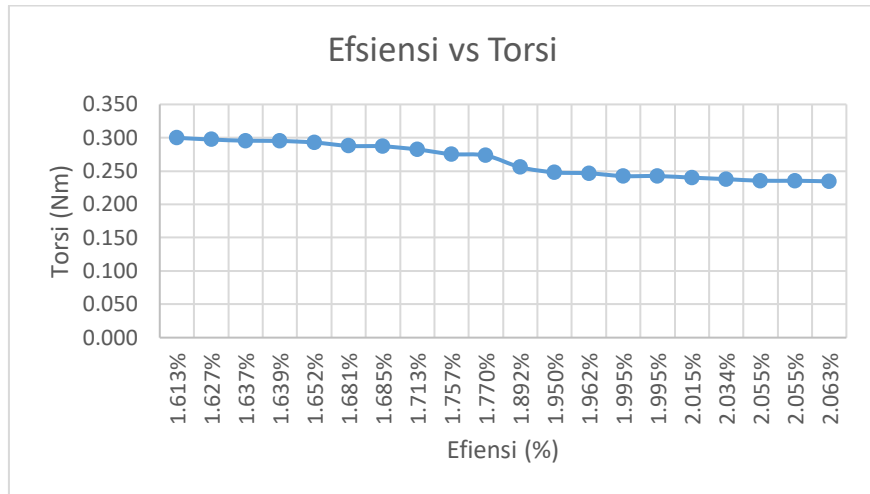
Gambar 4.14. Grafik Torsi vs Daya Bandul 1 Variasi 10 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan daya yang disalurkan oleh lengan bandul pada poros bandul. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan maka daya yang dihasilkan semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan

$$P = \omega \times \tau$$

Sehingga semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin besar daya yang dihasilkan bandul.

- Efisiensi Torsi Bandul



Gambar 4.15. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 1 10 Sudu

Grafik diatas menunjukkan perbandingan antara torsi yang dihasilkan bandul dengan efisiensi torsi bandul akibat bersinggungan dengan *piezoelectric*. Dimana Semakin tinggi torsi yang dihasilkan maka semakin rendah nilai efisiensinya. Hal ini dikarenakan ketika sudu bersinggungan dengan *piezoelectric* maka torsi yang dihasilkan mengalami penurunan karena *piezoelectric* memiliki gaya pegas yang arahnya berlawanan dengan sudu, akan tetapi untuk berdasarkan jumlah *piezoelectric* yang berjumlah 2 buah, sehingga gaya torsi yang dihasilkan bandul tidak seluruhnya terpakai. Berikut ini tabel yang menunjukkan efisiensi torsi yang dihasilkan oleh sudu:

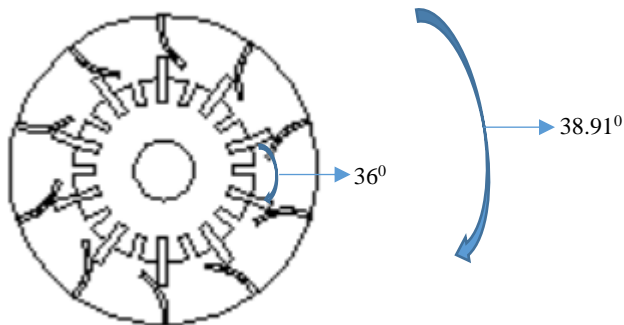
Tabel 4.5 Efisiensi Torsi Kondisi 1 Variasi 10 Sudu

| Variasi 10 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses (Nm) | Eff(%) |
| 53.43 | 0.300 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.295 | 1.613% |
| 52.77 | 0.297 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.292 | 1.627% |
| 52.32 | 0.296 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.291 | 1.637% |
| 52.23 | 0.295 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.290 | 1.639% |
| 51.66 | 0.293 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.288 | 1.652% |
| 50.43 | 0.288 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.283 | 1.681% |
| 50.25 | 0.287 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.282 | 1.685% |
| 49.14 | 0.282 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.278 | 1.713% |
| 47.52 | 0.275 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.271 | 1.757% |
| 47.07 | 0.273 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.269 | 1.770% |
| 43.23 | 0.256 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.251 | 1.892% |

| Variasi 10 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses (Nm) | Eff(%) |
| 41.64 | 0.248 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.243 | 1.950% |
| 41.34 | 0.247 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.242 | 1.962% |
| 40.5 | 0.242 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.238 | 1.995% |
| 40.5 | 0.242 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.238 | 1.995% |
| 40.02 | 0.240 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.235 | 2.015% |
| 39.57 | 0.238 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.233 | 2.034% |
| 39.09 | 0.235 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.231 | 2.055% |
| 39.09 | 0.235 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.231 | 2.055% |
| 38.91 | 0.235 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.230 | 2.063% |

Berdasarkan tabel diatas didapatkan nilai tertinggi dari efisiensi yaitu 2.063% pada gaya input bandul sebesar 0.235 Nm dan gaya yang tidak terpakai sebesar 0.230 Nm sedangkan efisiensi terendah 0.613% pada gaya input bandul sebesar 0.300 Nm dan gaya yang tidak terpaai sebesar 0.295 Nm, dari data tersebut dapat kita ketahui nilai gaya bandul yang terbuang mendekati nilai gaya inputnya yang artinya semakin banyak gaya yang terbuang semakin kecil efisiensi dari alat tersebut. Efisiensi dapat dinaikkan dengan menambahkan jumlah *piezoelectric* sehingga gaya output meningkat dan gaya yang terbuang menurun. Berikut desain penambahan jumlah *piezoelectric*:

- Simpangan minimum: 38.91°



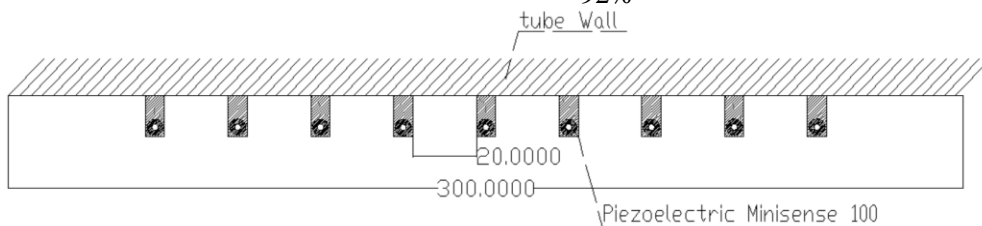
Gambar 4.16. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Samping Kondisi 1 Variasi 10 Sudu

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui 1 sudu dapat menjangkau 2 *piezoelectric*, sementara pada desain ini jumlah *piezoelectric* yang direncanakan 10 *piezoelectric*, sehingga didapatkan τ output sebesar:

- τ output 1 *piezoelectric*: 0.0012 Nm
- Total τ output: $20 \times 0.0012 \text{ Nm} = 0.024 \text{ Nm}$
berdasarkan total torsi diatas dan lebar *piezoelectric* 0.006 m sementara ukuran tabung *piezoelectric* pada model adalah 0.3 m maka, direncanakan

1 baris *piezoelectric* berjumlah 9 deret dengan asumsi perhitungan berikut:

- Total τ output 9 deret sudu = 9×0.024
= 0.216 Nm
- Efisiensi pada τ pada simpangan minimum = $\frac{0.216}{0.235} \times 100$
= 92%



Gambar 4.17. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Depan Kondisi 1 Variasi 10 Sudu

Berdasarkan perencanaan diatas maka jarak tiap deret *piezoelectric* adalah 20 mm.

c. Variasi 20 Sudu

Tabel variasi 20 sudu

Tabel 4.6 Kondisi 1 Variasi 20 Sudu

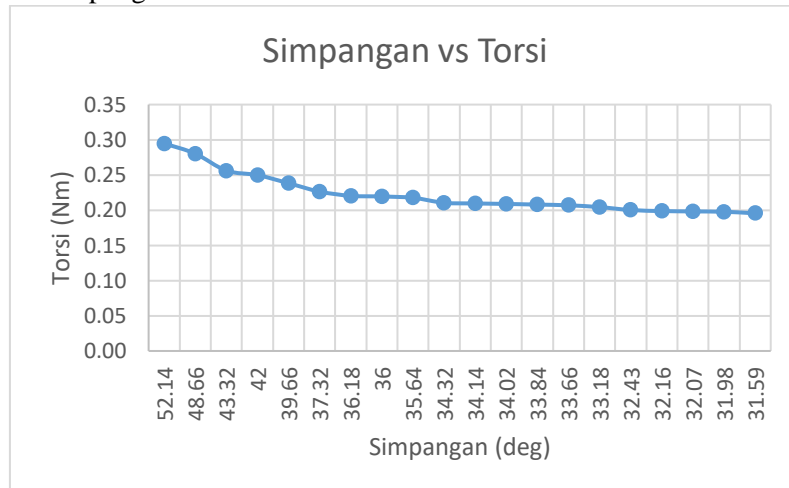
| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 1 | 52.14 | 0.07 | 0.29 | 6.58 | 1.15 | 1.94 | 5 |
| 2 | 48.66 | 0.06 | 0.28 | 6.17 | 1.08 | 1.73 | 5 |
| 3 | 43.32 | 0.05 | 0.26 | 5.53 | 0.97 | 1.42 | 5 |
| 4 | 42 | 0.04 | 0.25 | 5.37 | 0.94 | 1.34 | 5 |
| 5 | 39.66 | 0.04 | 0.24 | 5.08 | 0.89 | 1.21 | 5 |
| 6 | 37.32 | 0.04 | 0.23 | 4.79 | 0.84 | 1.08 | 5 |
| 7 | 36.18 | 0.03 | 0.22 | 4.65 | 0.81 | 1.02 | 5 |
| 8 | 36 | 0.03 | 0.22 | 4.63 | 0.81 | 1.02 | 5 |
| 9 | 35.64 | 0.03 | 0.22 | 4.58 | 0.80 | 1.00 | 5 |
| 10 | 34.32 | 0.03 | 0.21 | 4.42 | 0.77 | 0.93 | 5 |
| 11 | 34.14 | 0.03 | 0.21 | 4.40 | 0.77 | 0.92 | 5 |
| 12 | 34.02 | 0.03 | 0.21 | 4.38 | 0.77 | 0.92 | 5 |
| 13 | 33.84 | 0.03 | 0.21 | 4.36 | 0.76 | 0.91 | 5 |
| 14 | 33.66 | 0.03 | 0.21 | 4.34 | 0.76 | 0.90 | 5 |
| 15 | 33.18 | 0.03 | 0.20 | 4.28 | 0.75 | 0.87 | 5 |
| 16 | 32.43 | 0.03 | 0.20 | 4.18 | 0.73 | 0.84 | 4.41 |
| 17 | 32.16 | 0.03 | 0.20 | 4.15 | 0.73 | 0.82 | 4.4 |
| 18 | 32.07 | 0.03 | 0.20 | 4.14 | 0.72 | 0.82 | 3.16 |

| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 19 | 31.98 | 0.03 | 0.20 | 4.12 | 0.72 | 0.82 | 2.58 |
| 20 | 31.59 | 0.03 | 0.20 | 4.08 | 0.71 | 0.80 | 2.5 |

Ket:

- h = tinggi simpangan (m)
- τ = torsi system bandul (N/m)
- ω = putaran sudut (deg)
- V = kecepatan sudut (rad/s)
- W_b = daya yang dihasilkan bandul (Watt)
- V_p = tegangan *piezoelectric* (V)

- Grafik Simpangan vs Torsi



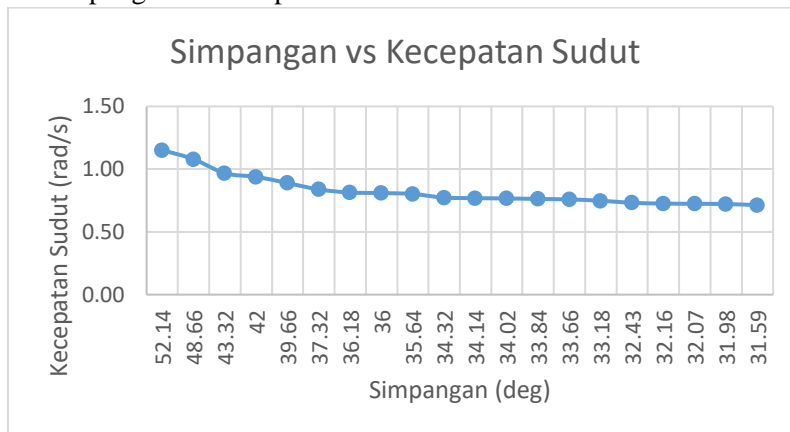
Gambar 4.18. Grafik Simpangan vs Torsi 1 Variasi 20 Sudu

Dapat kita lihat pada grafik diatas hubungan simpangam dengan torsi berbanding lurus, hal ini sesuai dengan perhitungan:

$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

Sehingga dapat kita ketahui semakin besar sudut simpangan maka torsi yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.19. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 20 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara simpangam dengan kecepatan sudut, dimana nilai pada simpangan berbanding lurus, dengan kecepatan sudut, hal ini dikarenakan besarnya simpangan mempengaruhi nilai “h” yang berlaku pada rumus:

$$h = L - L \cos \alpha$$

untuk mencari nilai kecepatan dapat dihitung dengan rumus:

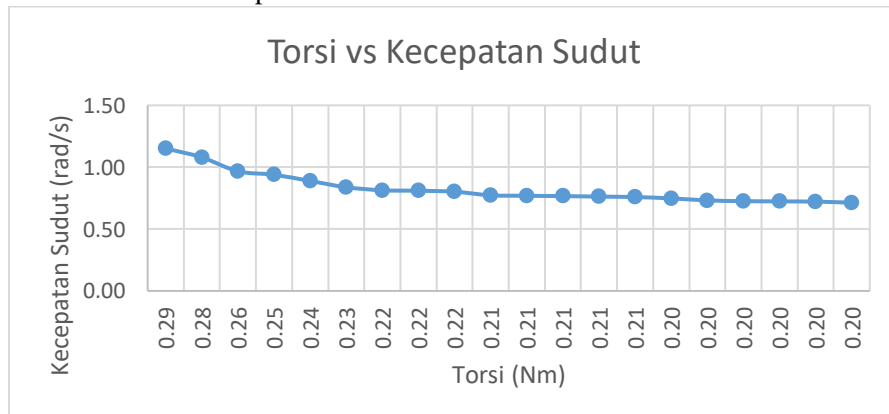
$$V = \omega \times L_{lengan}$$

sedangkan,

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L_{lengan}}}$$

sehingga dapat kita ketahui semakin besar nilai simpangan maka kecepatan sudut yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.20. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut 1 Variasi 20 Sudu

Grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan kecepatan sudut yang didapatkan berdasarkan pengujian. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan sudutnya semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan keduanya memanfaatkan panjang lengan bandul, torsi:

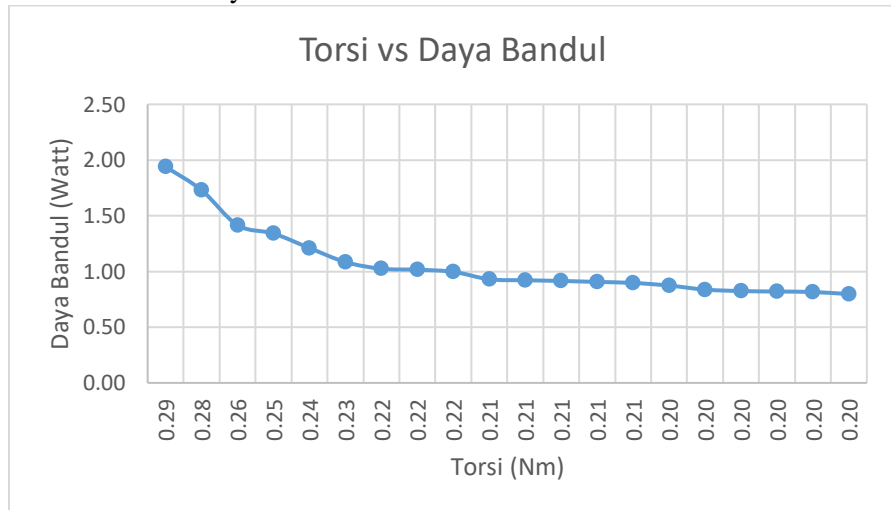
$$\tau_{\text{massa bandul}} = m_{\text{bandul}} \times L_{\text{massa}} \times g \times \sin \alpha$$

kecepatan sudut:

$$V = \omega \times L_{\text{lengan}}$$

sehingga semakin panjang lengan bandul maka semakin besar nilai torsi dan kecepatan sudut.

- Grafik Torsi vs Daya Bandul



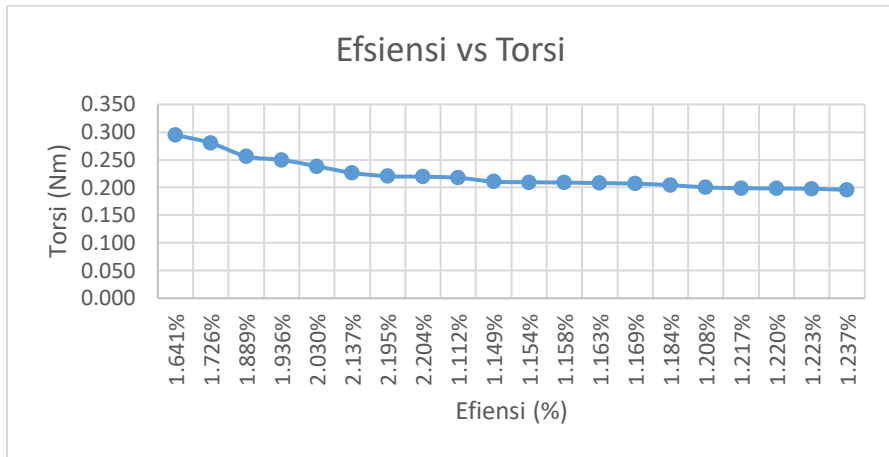
Gambar 4.21. Grafik Torsi vs Daya Bandul 1 Variasi 20 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan daya yang disalurkan oleh lengan bandul pada poros bandul. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan maka daya yang dihasilkan semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan

$$P = \omega \times \tau$$

Sehingga semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin besar daya yang dihasilkan bandul.

- Efisiensi Torsi Bandul



Gambar 4.22. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 1 Variasi 20 Sudu

Grafik diatas menunjukkan perbandingan antara torsi yang dihasilkan bandul dengan efisiensi torsi bandul akibat bersinggungan dengan *piezoelectric*. Berbeda dengan tabel sebelumnya dimana Semakin tinggi torsi yang dihasilkan maka semakin tinggi nilai efisiensinya, akan tetapi terdapat perbedaan pada beberapa data dimana mengalami peningkatan peningkatan efisiensi sebesar 2 %. Hal ini dikarenakan jumlah sudu yang bersinggungan dengan *piezoelectric* lebih banyak sehingga torsi dibutuhkan semakin meningkat dan torsi yang terbuang semakin kecil. Berikut ini tabel yang menunjukkan efisiensi torsi yang dihasilkan oleh sudu:

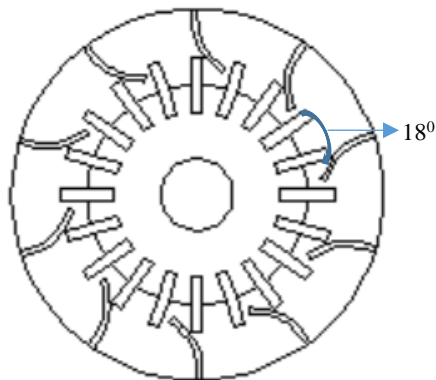
Tabel 4.7 Efisiensi Torsi Kondisi 1 Variasi 20 Sudu

| Variasi 20 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses (Nm) | Eff(%) |
| 52.14 | 0.295 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.290 | 1.641% |
| 48.66 | 0.280 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.276 | 1.726% |
| 43.32 | 0.256 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.251 | 1.889% |
| 42 | 0.250 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.245 | 1.936% |
| 39.66 | 0.238 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.233 | 2.030% |
| 37.32 | 0.226 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.222 | 2.137% |
| 36.18 | 0.220 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.216 | 2.195% |
| 36 | 0.219 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.215 | 2.204% |
| 35.64 | 0.218 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.215 | 1.112% |
| 34.32 | 0.211 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.208 | 1.149% |
| 34.14 | 0.210 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.207 | 1.154% |
| 34.02 | 0.209 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.206 | 1.158% |

| Variasi 20 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses (Nm) | Eff(%) |
| 33.84 | 0.208 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.206 | 1.163% |
| 33.66 | 0.207 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.205 | 1.169% |
| 33.18 | 0.204 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.202 | 1.184% |
| 32.43 | 0.200 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.198 | 1.208% |
| 32.16 | 0.199 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.196 | 1.217% |
| 32.07 | 0.198 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.196 | 1.220% |
| 31.98 | 0.198 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.195 | 1.223% |
| 31.59 | 0.196 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.193 | 1.237% |

Berdasarkan tabel diatas didapatkan nilai tertinggi dari efisiensi yaitu 2.204% pada gaya input bandul sebesar 0.219 Nm dan gaya yang tidak terpakai sebesar 0.196 Nm sedangkan efisiensi terendah 0.237% pada gaya input bandul sebesar 0.196 Nm dan gaya yang tidak terpaai sebesar 0.193 Nm, dari data tersebut dapat kita ketahui nilai gaya bandul yang terbuang mendekati nilai gaya inputnya yang artinya semakin banyak gaya yang terbuang semakin kecil efisiensi dari alat tersebut. Efisiensi dapat dinaikkan dengan menambahkan jumlah *piezoelectric* sehingga gaya output meningkat dan gaya yang terbuang menurun. Berikut desain penambahan jumlah *piezoelectric*:

- Simpangan minimum: 31.59°

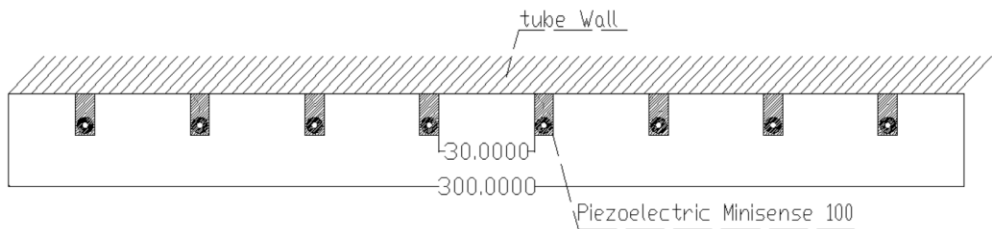


Gambar 4.23. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Samping Kondisi 1 Variasi 20 Sudu

- Berdasarkan gambar diatas jumlah *piezoelectric* yang direncanakan berjumlah 10 *piezoelectric* dapat diketahui, pada simpangan maksimum 1 *piezoelectric* dikenai oleh 3 sudu, sehingga didapatkan τ output sebesar:
 - τ output 1 *piezoelectric*: 0.0012 Nm
 - Total τ output pada simpangan minimum = 20×0.0012
= 0.024 Nm

berdasarkan total torsi diatas dan lebar *piezoelectric* 0.006 m sementara ukuran tabung *piezoelectric* pada model adalah 0.3 m maka, direncanakan 1 baris *piezoelectric* berjumlah 8 deret dengan asumsi perhitungan berikut:

- Total τ output 8 baris sudu pada simpangan minimum:
 $\tau = 8 \times 0.024$
 $= 0.192 \text{ Nm}$
- Efisiensi pada τ input minimum $= \frac{0.192}{0.196} \times 100$
 $= 98\%$



Gambar 4.24. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Depan Kondisi 1 Variasi 10 Sudu

Berdasarkan perencanaan diatas maka jarak tiap deret *piezoelectric* adalah 30 mm.

4.5.2 Panjang Lengan 0,225 m

d. Variasi 5 Sudu

Tabel variasi 5 sudu

Tabel 4.8 Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

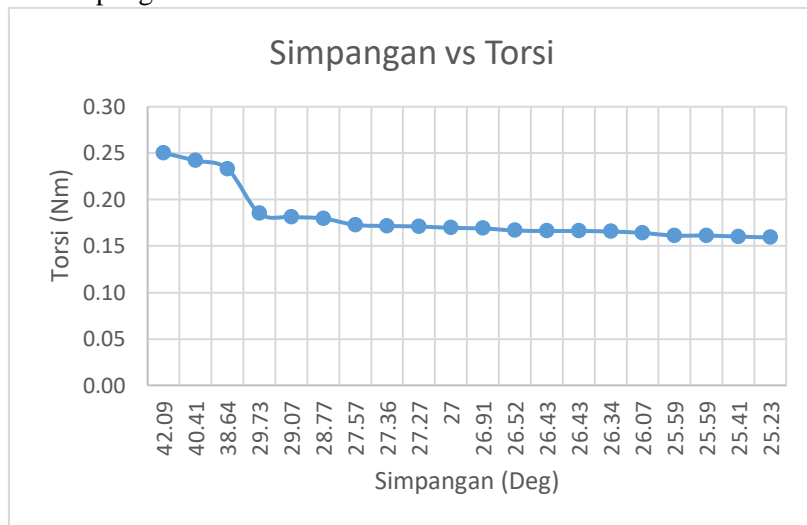
| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 1 | 42.09 | 0.05 | 0.25 | 5.38 | 0.94 | 1.35 | 4 |
| 2 | 40.41 | 0.04 | 0.24 | 5.17 | 0.91 | 1.25 | 3.35 |
| 3 | 38.64 | 0.04 | 0.23 | 4.95 | 0.87 | 1.16 | 3.31 |
| 4 | 29.73 | 0.02 | 0.19 | 3.84 | 0.67 | 0.71 | 3.24 |
| 5 | 29.07 | 0.02 | 0.18 | 3.76 | 0.66 | 0.68 | 2.44 |
| 6 | 28.77 | 0.02 | 0.18 | 3.72 | 0.65 | 0.67 | 2.4 |
| 7 | 27.57 | 0.02 | 0.17 | 3.57 | 0.62 | 0.62 | 2.27 |
| 8 | 27.36 | 0.02 | 0.17 | 3.54 | 0.62 | 0.61 | 2.23 |
| 9 | 27.27 | 0.02 | 0.17 | 3.53 | 0.62 | 0.60 | 2.17 |
| 10 | 27 | 0.02 | 0.17 | 3.50 | 0.61 | 0.59 | 2.16 |
| 11 | 26.91 | 0.02 | 0.17 | 3.48 | 0.61 | 0.59 | 2.09 |
| 12 | 26.52 | 0.02 | 0.17 | 3.43 | 0.60 | 0.57 | 2.09 |
| 13 | 26.43 | 0.02 | 0.17 | 3.42 | 0.60 | 0.57 | 2.01 |
| 14 | 26.43 | 0.02 | 0.17 | 3.42 | 0.60 | 0.57 | 1.55 |
| 15 | 26.34 | 0.02 | 0.17 | 3.41 | 0.60 | 0.57 | 1.54 |

| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 16 | 26.07 | 0.02 | 0.16 | 3.38 | 0.59 | 0.55 | 1.51 |
| 17 | 25.59 | 0.02 | 0.16 | 3.32 | 0.58 | 0.53 | 1.48 |
| 18 | 25.59 | 0.02 | 0.16 | 3.32 | 0.58 | 0.53 | 1.45 |
| 19 | 25.41 | 0.02 | 0.16 | 3.29 | 0.58 | 0.53 | 1.44 |
| 20 | 25.23 | 0.02 | 0.16 | 3.27 | 0.57 | 0.52 | 1.42 |

Ket:

- h = tinggi simpangan (m)
- τ = torsi system bandul (N/m)
- ω = putaran sudut (deg)
- V = kecepatan sudut (rad/s)
- W_b = daya yang dihasilkan bandul (Watt)
- V_p = tegangan *piezoelectric* (V)

- Grafik Simpangan vs Torsi



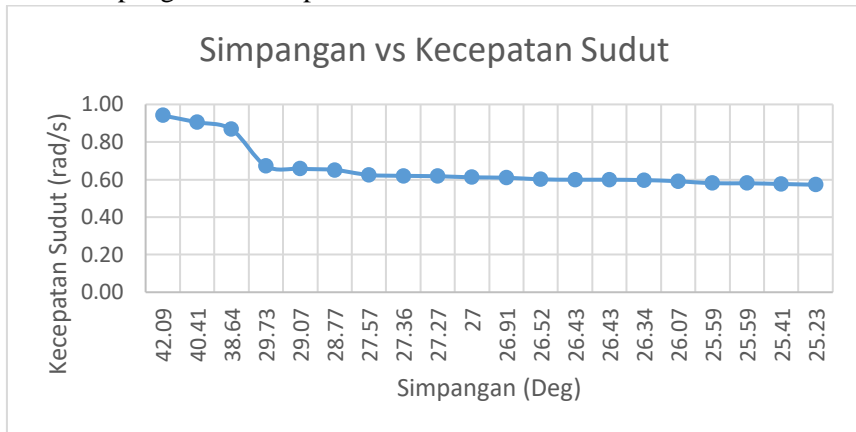
Gambar 4.25. Grafik Simpangan vs Torsi Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

Dapat kita lihat pada grafik diatas hubungan simpangan dengan torsi berbanding lurus, hal ini sesuai dengan perhitungan:

$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

Sehingga dapat kita ketahui semakin besar sudut simpangan maka torsi yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.26. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara simpangam dengan kecepatan sudut, dimana nilai pada simpangan berbanding lurus, dengan kecepatan sudut, hal ini dikarenakan besarnya simpangan mempengaruhi nilai “h” yang berlaku pada rumus:

$$h = L - L \cos \alpha$$

untuk mencari nilai kecepatan dapat dihitung dengan rumus:

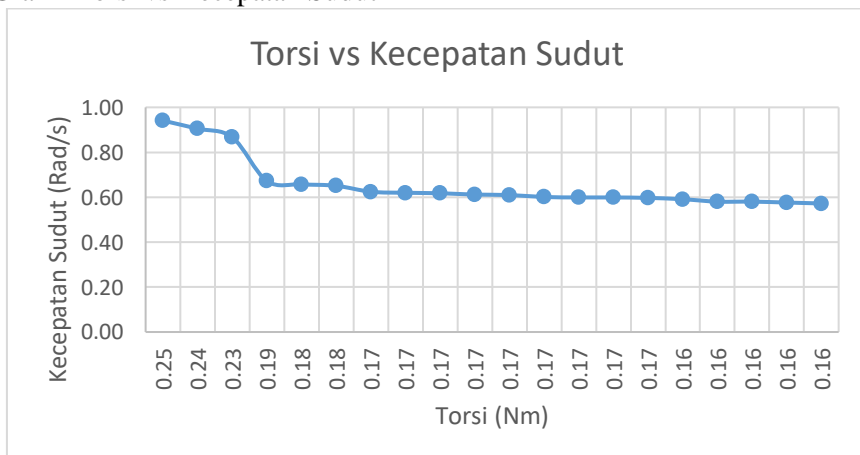
$$V = \omega \times L_{lengan}$$

sedangkan,

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L_{lengan}}}$$

sehingga dapat kita ketahui semakin besar nilai simpangan maka kecepatan sudut yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.27. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

Grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan kecepatan sudut yang didapatkan berdasarkan pengujian. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan sudutnya semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan keduanya memanfaatkan panjang lengan bandul, torsi:

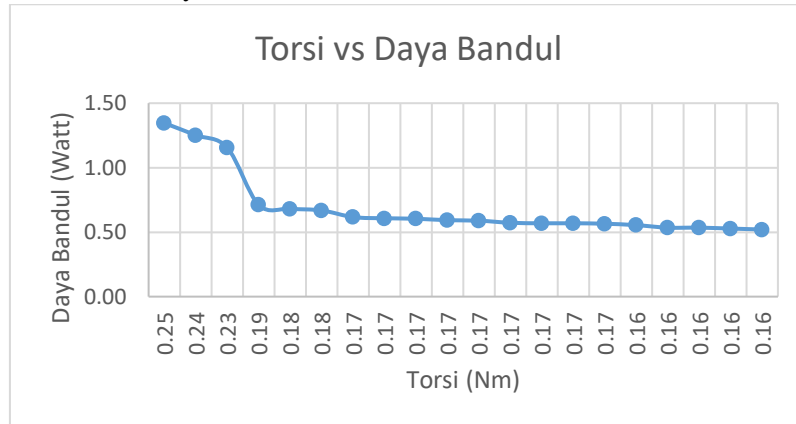
$$\tau_{\text{massa bandul}} = m_{\text{bandul}} \times L_{\text{massa}} \times g \times \sin \alpha$$

kecepatan sudut:

$$V = \omega \times L_{\text{lengan}}$$

sehingga semakin panjang lengan bandul maka semakin besar nilai torsi dan kecepatan sudut.

- Grafik Torsi vs Daya Bandul



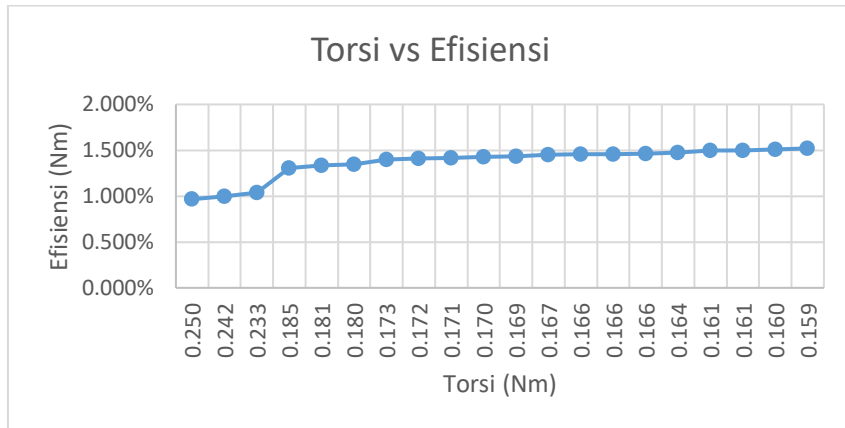
Gambar 4.28. Grafik Torsi vs Daya Bandul Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara nilai torsi dan daya yang disalurkan oleh lengan bandul pada poros bandul. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai torsi maka kecepatan maka daya yang dihasilkan semakin besar (berbanding lurus). Jika mengacu pada perhitungan

$$P = \omega \times \tau$$

Sehingga semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin besar daya yang dihasilkan bandul.

- Efisiensi Torsi Bandul



Gambar 4.29. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

Grafik diatas menunjukkan perbandingan antara torsi yang dihasilkan bandul dengan efisiensi torsi bandul akibat bersinggungan dengan *piezoelectric*. Dimana Semakin tinggi torsi yang dihasilkan maka semakin rendah nilai efisiensinya. Hal ini dikarenakan ketika sudu bersinggungan dengan *piezoelectric* maka torsi yang dihasilkan mengalami penurunan karena *piezoelectric* memiliki gaya pegas yang arahnya berlawanan dengan sudu, akan tetapi untuk berdasarkan jumlah *piezoelectric* yang berjumlah 2 buah, sehingga gaya torsi yang dihasilkan bandul tidak seluruhnya terpakai. Berikut ini tabel yang menunjukkan efisiensi torsi yang dihasilkan oleh sudu:

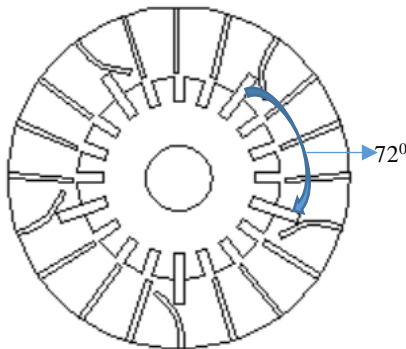
Tabel 4.9 Efisiensi Torsi Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

| Variasi 5 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses(Nm) | Eff(%) |
| 42.09 | 0.250 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.248 | 0.966% |
| 40.41 | 0.242 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.240 | 0.999% |
| 38.64 | 0.233 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.231 | 1.037% |
| 29.73 | 0.185 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.183 | 1.306% |
| 29.07 | 0.181 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.179 | 1.333% |
| 28.77 | 0.180 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.177 | 1.346% |
| 27.57 | 0.173 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.170 | 1.400% |
| 27.36 | 0.172 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.169 | 1.410% |
| 27.27 | 0.171 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.169 | 1.414% |
| 27 | 0.170 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.167 | 1.427% |
| 26.91 | 0.169 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.167 | 1.431% |
| 26.52 | 0.167 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.164 | 1.451% |
| 26.43 | 0.166 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.164 | 1.455% |

| Variasi 5 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses(Nm) | Eff(%) |
| 26.43 | 0.166 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.164 | 1.455% |
| 26.34 | 0.166 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.163 | 1.460% |
| 26.07 | 0.164 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.162 | 1.474% |
| 25.59 | 0.161 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.159 | 1.500% |
| 25.59 | 0.161 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.159 | 1.500% |
| 25.41 | 0.160 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.158 | 1.510% |
| 25.23 | 0.159 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.157 | 1.520% |

Berdasarkan tabel diatas didapatkan nilai tertinggi dari efisiensi yaitu 1.520% pada gaya input bandul sebesar 0.159 Nm dan gaya yang tidak terpakai sebesar 0.157 Nm sedangkan efisiensi terendah 0.966% pada gaya input bandul sebesar 0.250 Nm dan gaya yang tidak terpaai sebesar 0.248 Nm, dari data tersebut dapat kita ketahui nilai gaya bandul yang terbuang mendekati nilai gaya inputnya yang artinya semakin banyak gaya yang terbuang semakin kecil efisiensi dari alat tersebut. Efisiensi dapat dinaikkan dengan menambahkan jumlah *piezoelectric* sehingga gaya output meningkat dan gaya yang terbuang menurun. Berikut desain penambahan jumlah *piezoelectric*:

- Simpangan minimum: 25.23°



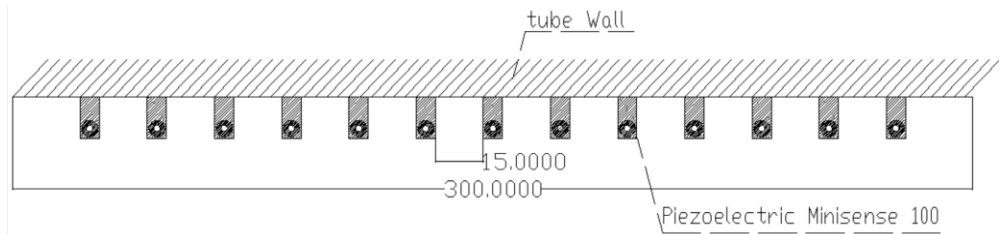
Gambar 4.30. Variasi 20 *Piezoelectric* Tampak Samping Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

- Berdasarkan gambar diatas jumlah *piezoelectric* yang direncanakan berjumlah 20 *piezoelectric* dapat diketahui, pada simpangan minimum 1 sudu dapat menjangkau 2 *piezoelectric*, sehingga didapatkan τ output sebesar:
- τ output 1 *piezoelectric*: 0.0012 Nm
- Total τ output pada simpangan minimum = 10×0.0012
= 0.012 Nm

berdasarkan total torsi diatas dan lebar *piezoelectric* 0.006 m sementara ukuran tabung *piezoelectric* pada model adalah 0.3 m maka,

direncanakan 1 baris *piezoelectric* berjumlah 13 deret dengan asumsi perhitungan berikut:

- Total τ output 13 baris sudu pada simpangan minimum:
 $\tau = 13 \times 0.012$
 $= 0.156 \text{ Nm}$
- Efisiensi τ pada simpangan minimum $= \frac{0.156}{0.159} \times 100$
 $= 98.1\%$



Gambar 4.31. Variasi 20 *Piezoelectric* Tampak Depan Kondisi 2 Variasi 5 Sudu

Berdasarkan perencanaan diatas maka jarak tiap deret *piezoelectric* adalah 15 mm.

- e. Variasi 10 Sudu
Tabel variasi 10 sudu

Tabel 4.10 Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

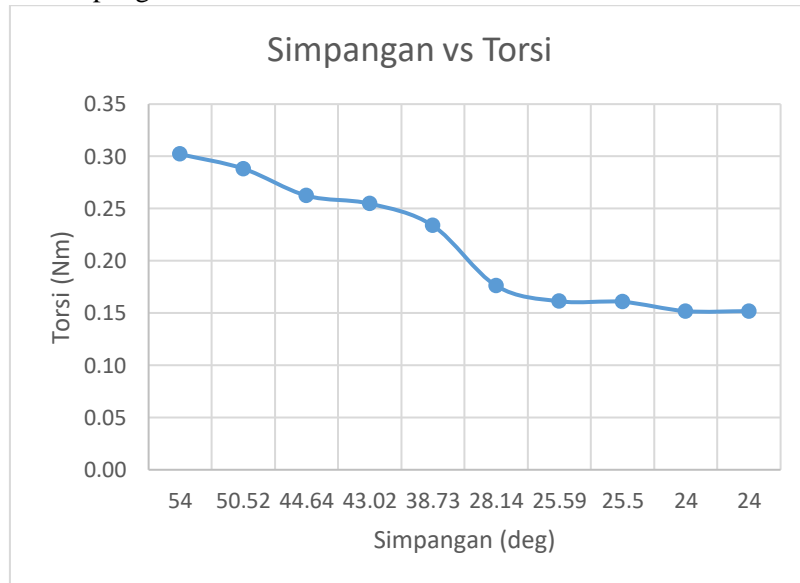
| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 1 | 54 | 0.07 | 0.30 | 6.80 | 1.19 | 2.05 | 5 |
| 2 | 50.52 | 0.06 | 0.29 | 6.39 | 1.12 | 1.84 | 1.58 |
| 3 | 44.64 | 0.05 | 0.26 | 5.69 | 1.00 | 1.49 | 1.55 |
| 4 | 43.02 | 0.05 | 0.25 | 5.49 | 0.96 | 1.40 | 1.54 |
| 5 | 38.73 | 0.04 | 0.23 | 4.97 | 0.87 | 1.16 | 1.54 |
| 6 | 28.14 | 0.02 | 0.18 | 3.64 | 0.64 | 0.64 | 1.54 |
| 7 | 25.59 | 0.02 | 0.16 | 3.32 | 0.58 | 0.53 | 1.52 |
| 8 | 25.5 | 0.02 | 0.16 | 3.30 | 0.58 | 0.53 | 1.51 |
| 9 | 24 | 0.02 | 0.15 | 3.11 | 0.54 | 0.47 | 1.48 |
| 10 | 24 | 0.02 | 0.15 | 3.11 | 0.54 | 0.47 | 1.48 |
| 11 | 23.34 | 0.01 | 0.15 | 3.03 | 0.53 | 0.45 | 1.47 |
| 12 | 23.07 | 0.01 | 0.15 | 2.99 | 0.52 | 0.44 | 1.46 |
| 13 | 22.68 | 0.01 | 0.14 | 2.94 | 0.52 | 0.42 | 1.45 |
| 14 | 22.59 | 0.01 | 0.14 | 2.93 | 0.51 | 0.42 | 1.44 |
| 15 | 22.32 | 0.01 | 0.14 | 2.90 | 0.51 | 0.41 | 1.44 |
| 16 | 22.23 | 0.01 | 0.14 | 2.89 | 0.51 | 0.41 | 1.42 |

| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 17 | 22.14 | 0.01 | 0.14 | 2.88 | 0.50 | 0.40 | 1.42 |
| 18 | 22.14 | 0.01 | 0.14 | 2.88 | 0.50 | 0.40 | 1.42 |
| 19 | 21.66 | 0.01 | 0.14 | 2.81 | 0.49 | 0.39 | 1.42 |
| 20 | 21.66 | 0.01 | 0.14 | 2.81 | 0.49 | 0.39 | 1.41 |

Ket:

- h = tinggi simpangan (m)
- τ = torsi system bandul (N/m)
- ω = putaran sudut (deg)
- V = kecepatan sudut (rad/s)
- W_b = daya yang dihasilkan bandul (Watt)
- V_p = tegangan *piezoelectric* (V)

- Grafik Simpangan vs Torsi



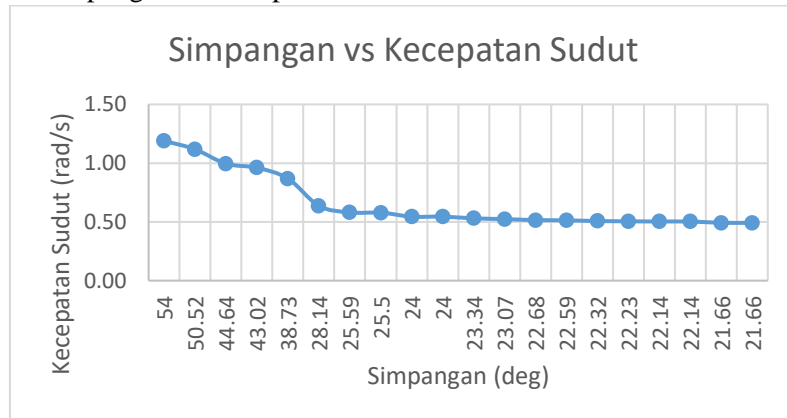
Gambar 4.32. Grafik Simpangan vs Torsi Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

Dapat kita lihat pada grafik diatas hubungan simpangan dengan torsi berbanding lurus, hal ini sesuai dengan perhitungan:

$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

Sehingga dapat kita ketahui semakin besar sudut simpangan maka torsi yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.33. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara simpangan dengan kecepatan sudut, dimana nilai pada simpangan berbanding lurus, dengan kecepatan sudut, hal ini dikarenakan besarnya simpangan mempengaruhi nilai “h” yang berlaku pada rumus:

$$h = L - L \cos \alpha$$

untuk mencari nilai kecepatan dapat dihitung dengan rumus:

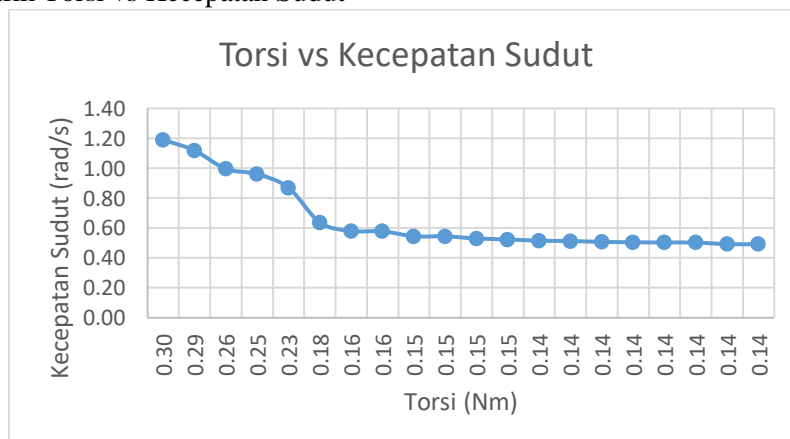
$$V = \omega \times L_{tangan}$$

sedangkan,

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L_{tangan}}}$$

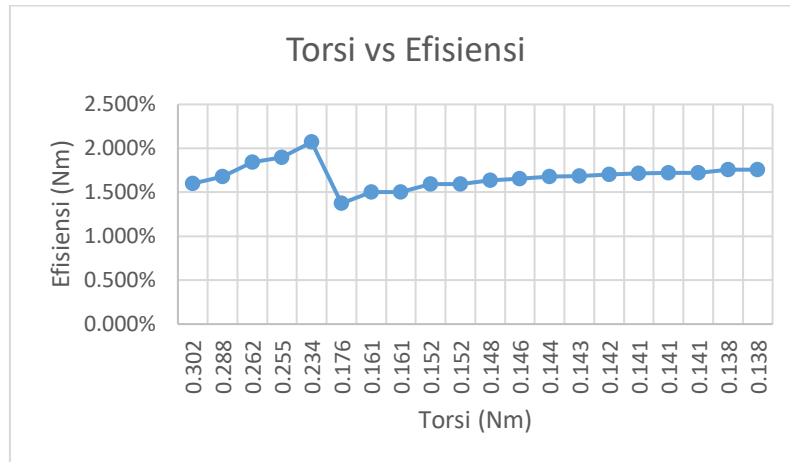
sehingga dapat kita ketahui semakin besar nilai simpangan maka kecepatan sudut yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.34. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

- Efisiensi Torsi Bandul



Gambar 4.36. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

Grafik diatas menunjukkan perbandingan antara torsi yang dihasilkan bandul dengan efisiensi torsi bandul akibat bersinggungan dengan *piezoelectric*. Berbeda dengan tabel sebelumnya dimana Semakin tinggi torsi yang dihasilkan maka semakin tinggi nilai efisiensinya, akan tetapi terdapat perbedaan pada beberapa data dimana mengalami peningkatan peningkatan efisiensi lebih dari 2%. Hal ini dikarenakan jumlah sudu yang bersinggungan dengan *piezoelectric* lebih banyak sehingga torsi dibutuhkan semakin meningkat dan torsi yang terbuang semakin kecil. Berikut ini tabel yang menunjukkan efisiensi torsi yang dihasilkan oleh sudu:

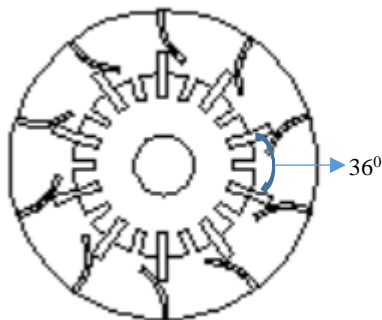
Tabel 4.11 Efisiensi Torsi Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

| Variasi 10 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ Reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ Output (Nm) | τ Losses(Nm) | Eff(%) |
| 54 | 0.302 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.297 | 1.602% |
| 50.52 | 0.288 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.283 | 1.679% |
| 44.64 | 0.262 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.258 | 1.844% |
| 43.02 | 0.255 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.250 | 1.899% |
| 38.73 | 0.234 | 0.0012 | 4 | 0.0048 | 0.229 | 2.071% |
| 28.14 | 0.176 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.174 | 1.374% |
| 25.59 | 0.161 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.159 | 1.500% |
| 25.5 | 0.161 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.158 | 1.505% |
| 24 | 0.152 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.149 | 1.593% |
| 24 | 0.152 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.149 | 1.593% |
| 23.34 | 0.148 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.146 | 1.635% |
| 23.07 | 0.146 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.144 | 1.653% |

| Variasi 10 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ Reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ Output (Nm) | τ Losses(Nm) | Eff(%) |
| 22.68 | 0.144 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.142 | 1.680% |
| 22.59 | 0.143 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.141 | 1.686% |
| 22.32 | 0.142 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.139 | 1.706% |
| 22.23 | 0.141 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.139 | 1.712% |
| 22.14 | 0.141 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.138 | 1.719% |
| 22.14 | 0.141 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.138 | 1.719% |
| 21.66 | 0.138 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.135 | 1.755% |
| 21.66 | 0.138 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.135 | 1.755% |

Berdasarkan tabel diatas didapatkan nilai tertinggi dari efisiensi yaitu 2.071% pada gaya input bandul sebesar 0.234 Nm dan gaya yang tidak terpakai sebesar 0.229 Nm sedangkan efisiensi terendah 1.602% pada gaya input bandul sebesar 0.302 Nm dan gaya yang tidak terpaai sebesar 0.297 Nm, dari data tersebut dapat kita ketahui nilai gaya bandul yang terbuang mendekati nilai gaya inputnya yang artinya semakin banyak gaya yang terbuang semakin kecil efisiensi dari alat tersebut. Efisiensi dapat dinaikkan dengan menambahkan jumlah *piezoelectric* sehingga gaya output meningkat dan gaya yang terbuang menurun. Berikut desain penambahan jumlah *piezoelectric*:

- Simpangan minimum: 21.66°



Gambar 4.37. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Samping Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

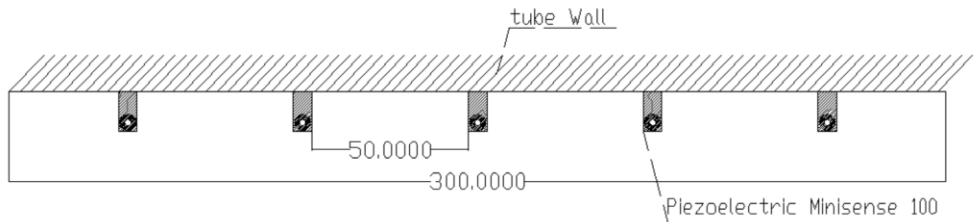
Berdasarkan gambar diatas jumlah *piezoelectric* yang direncanakan berjumlah 10 *piezoelectric* dapat diketahui, pada simpangan minimum 1 sudu dapat menjangkau 2 *piezoelectric*, sehingga didapatkan τ output sebesar:

- τ output 1 *piezoelectric*: 0.0012 Nm
- Total τ output pada simpangan minimum = 20 x 0.0012
= 0.024 Nm

berdasarkan total torsi diatas dan lebar *piezoelectric* 0.006 m sementara ukuran tabung *piezoelectric* pada model adalah 0.3 m maka,

direncanakan 1 baris *piezoelectric* berjumlah 5 deret dengan asumsi perhitungan berikut:

- Total τ output 5 baris sudu pada simpangan minimum:
- $\tau = 5 \times 0.024$
= 0.12 Nm
- Efisiensi τ pada simpangan minimum = $\frac{0.12}{0.138} \times 100$
= 79.5%



Gambar 4.38. Variasi 10 *Piezoelectric* Tampak Depan Kondisi 2 Variasi 10 Sudu

Berdasarkan perencanaan diatas maka jarak tiap deret *piezoelectric* adalah 50 mm.

- f. Variasi 20 Sudu
Tabel variasi 20 sudu

Tabel 4.12 Kondisi 2 Variasi 20 Sudu

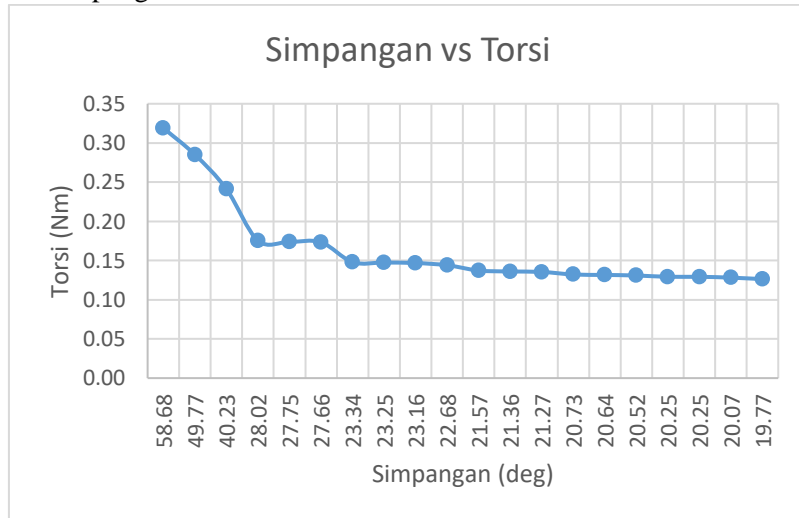
| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 1 | 58.68 | 0.08 | 0.32 | 7.34 | 1.28 | 2.34 | 5 |
| 2 | 49.77 | 0.06 | 0.29 | 6.30 | 1.10 | 1.80 | 4.51 |
| 3 | 40.23 | 0.04 | 0.24 | 5.15 | 0.90 | 1.24 | 4 |
| 4 | 28.02 | 0.02 | 0.18 | 3.63 | 0.63 | 0.64 | 3.55 |
| 5 | 27.75 | 0.02 | 0.17 | 3.59 | 0.63 | 0.62 | 3.19 |
| 6 | 27.66 | 0.02 | 0.17 | 3.58 | 0.63 | 0.62 | 2.52 |
| 7 | 23.34 | 0.01 | 0.15 | 3.03 | 0.53 | 0.45 | 2.26 |
| 8 | 23.25 | 0.01 | 0.15 | 3.02 | 0.53 | 0.44 | 1.57 |
| 9 | 23.16 | 0.01 | 0.15 | 3.01 | 0.53 | 0.44 | 1.56 |
| 10 | 22.68 | 0.01 | 0.14 | 2.94 | 0.52 | 0.42 | 1.54 |
| 11 | 21.57 | 0.01 | 0.14 | 2.80 | 0.49 | 0.38 | 1.53 |
| 12 | 21.36 | 0.01 | 0.14 | 2.78 | 0.49 | 0.38 | 1.53 |
| 13 | 21.27 | 0.01 | 0.14 | 2.76 | 0.48 | 0.37 | 1.53 |
| 14 | 20.73 | 0.01 | 0.13 | 2.69 | 0.47 | 0.36 | 1.53 |
| 15 | 20.64 | 0.01 | 0.13 | 2.68 | 0.47 | 0.35 | 1.53 |
| 16 | 20.52 | 0.01 | 0.13 | 2.67 | 0.47 | 0.35 | 1.52 |

| No. | Simpangan (deg) | h (m) | τ (Nm) | ω (rad/s) | V (m/s) | W_b | V_p (V) |
|-----|-----------------|---------|-------------|------------------|-----------|-------|-----------|
| 17 | 20.25 | 0.01 | 0.13 | 2.63 | 0.46 | 0.34 | 1.52 |
| 18 | 20.25 | 0.01 | 0.13 | 2.63 | 0.46 | 0.34 | 1.52 |
| 19 | 20.07 | 0.01 | 0.13 | 2.61 | 0.46 | 0.33 | 1.51 |
| 20 | 19.77 | 0.01 | 0.13 | 2.57 | 0.45 | 0.32 | 1.51 |

Ket:

- h = tinggi simpangan (m)
- τ = torsi system bandul (N/m)
- ω = putaran sudut (deg)
- V = kecepatan sudut (rad/s)
- W_b = daya yang dihasilkan bandul (Watt)
- V_p = tegangan *piezoelectric* (V)

• Grafik Simpangan vs Torsi



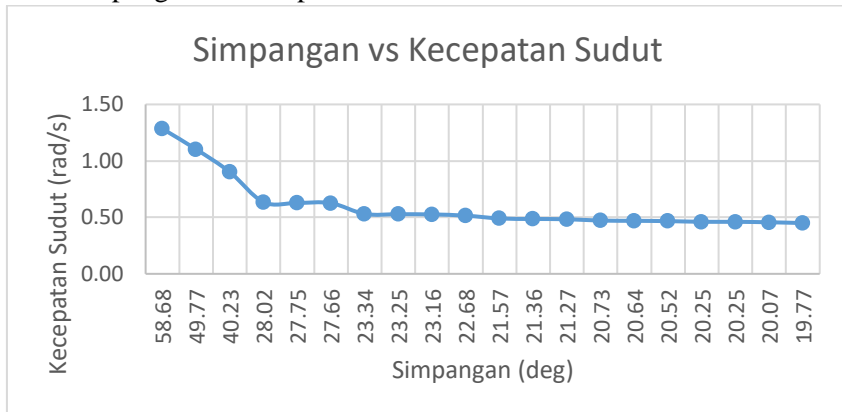
Gambar 4.39. Grafik Simpangan vs Torsi 2 Variasi 20 Sudu

Dapat kita lihat pada grafik diatas hubungan simpangan dengan torsi berbanding lurus, hal ini sesuai dengan perhitungan:

$$\tau_{massa\ bandul} = m_{bandul} \times L_{massa} \times g \times \sin \alpha$$

Sehingga dapat kita ketahui semakin besar sudut simpangan maka torsi yang didapatkan semakin besar.

- Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.40. Grafik Simpangan vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 20 Sudu

Pada grafik diatas menunjukkan hubungan antara simpangam dengan kecepatan sudut, dimana nilai pada simpangan berbanding lurus, dengan kecepatan sudut, hal ini dikarenakan besarnya simpangan mempengaruhi nilai “h” yang berlaku pada rumus:

$$h = L - L \cos \alpha$$

untuk mencari nilai kecepatan dapat dihitung dengan rumus:

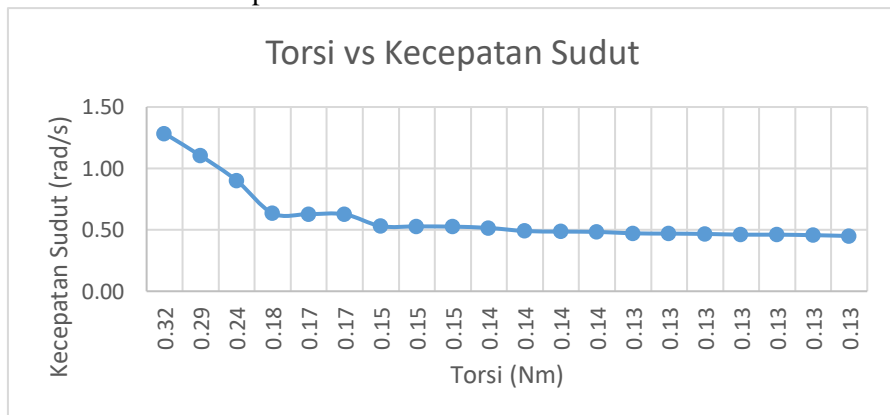
$$V = \omega \times L_{lengan}$$

sedangkan,

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{L_{lengan}}}$$

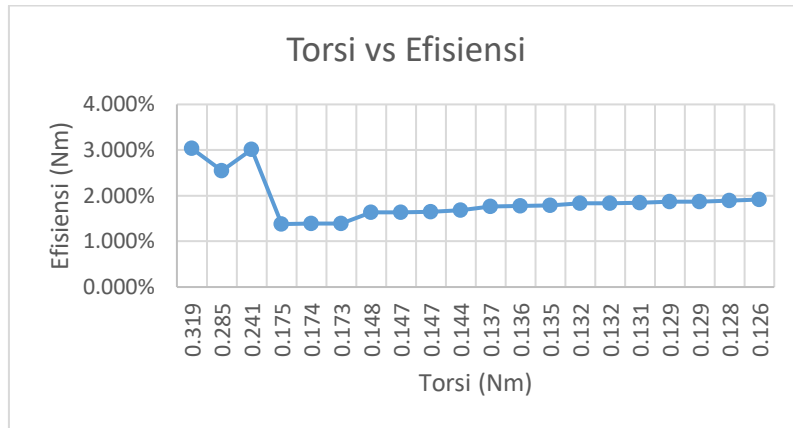
sehingga dapat kita ketahui semakin besar nilai simpangan maka kecepatan sudut yang didapatkan semakin besar

- Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut



Gambar 4.41. Grafik Torsi vs Kecepatan Sudut Kondisi 2 Variasi 20 Sudu

- Efisiensi Torsi Bandul



Gambar 4.43. Grafik Torsi Bandul vs Efisiensi Kondisi 2 Variasi 20 Sudu

Grafik diatas menunjukkan perbandingan antara torsi yang dihasilkan bandul dengan efisiensi torsi bandul akibat bersinggungan dengan *piezoelectric*. Dimana Semakin tinggi torsi yang dihasilkan maka semakin rendah nilai efisiensinya, akan tetapi pada nilai torsi 0.319, 0.285, dan 0.241 Nm grafik mengalami peningkatan efisiensi yang tidak stabil. Pada torsi input 0.319 Nm mendapatkan nilai efisiensi terbesar dikarenakan perbedaan jumlah sudu yang bersinggungan dengan *piezoelectric* secara yang berjumlah 8 buah sehingga torsi dibutuhkan semakin meningkat dan torsi yang terbuang semakin kecil. Akan tetapi pada nilai torsi 0.285 dan 0.241 Nm, dengan jumlah 6 buah sudu yang bekerja, mengalami perbedaan nilai efisiensi dimana pada nilai torsi 0.285 Nm mengalami penurunan dikarenakan dengan torsi yang lebih tinggi dan jumlah sudu yang sama sehingga gaya yang terbuang semakin besar sebaliknya pada nilai torsi 0.241 mengalami peningkatan efisiensi karena *losses* gaya torsi yang lebih kecil. Berikut ini tabel yang menunjukkan efisiensi torsi yang dihasilkan oleh sudu:

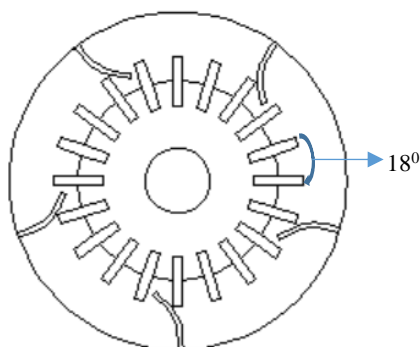
Tabel 4.13 Efisiensi Torsi Kondisi 2 Variasi 20 Sudu

| Variasi 10 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses(Nm) | Eff(%) |
| 58.68 | 0.319 | 0.0012 | 8 | 0.0097 | 0.309 | 3.033% |
| 49.77 | 0.285 | 0.0012 | 6 | 0.0073 | 0.278 | 2.546% |
| 40.23 | 0.241 | 0.0012 | 6 | 0.0073 | 0.234 | 3.009% |
| 28.02 | 0.175 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.173 | 1.379% |
| 27.75 | 0.174 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.171 | 1.391% |
| 27.66 | 0.173 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.171 | 1.396% |
| 23.34 | 0.148 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.146 | 1.635% |

| Variasi 10 Sudu | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|
| Simpangan (deg) | τ Bandul(Nm) | τ reaksi(Nm) | Sudu yang Bekerja | τ output (Nm) | τ losses(Nm) | Eff(%) |
| 23.25 | 0.147 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.145 | 1.641% |
| 23.16 | 0.147 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.144 | 1.647% |
| 22.68 | 0.144 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.142 | 1.680% |
| 21.57 | 0.137 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.135 | 1.762% |
| 21.36 | 0.136 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.134 | 1.779% |
| 21.27 | 0.135 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.133 | 1.786% |
| 20.73 | 0.132 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.130 | 1.830% |
| 20.64 | 0.132 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.129 | 1.838% |
| 20.52 | 0.131 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.128 | 1.848% |
| 20.25 | 0.129 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.127 | 1.872% |
| 20.25 | 0.129 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.127 | 1.872% |
| 20.07 | 0.128 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.126 | 1.888% |
| 19.77 | 0.126 | 0.0012 | 2 | 0.0024 | 0.124 | 1.915% |

Berdasarkan tabel diatas didapatkan nilai tertinggi dari efisiensi yaitu 3.033% pada gaya input bandul sebesar 0.319 Nm dan gaya yang tidak terpakai sebesar 0.309 Nm sedangkan efisiensi terendah 1.379% pada gaya input bandul sebesar 0.175 Nm dan gaya yang tidak terpaai sebesar 0.173 Nm, dari data tersebut dapat kita ketahui nilai gaya bandul yang terbuang mendekati nilai gaya inputnya yang artinya semakin banyak gaya yang terbuang semakin kecil efisiensi dari alat tersebut. Efisiensi dapat dinaikkan dengan menambahkan jumlah *piezoelectric* sehingga gaya output meningkat dan gaya yang terbuang menurun. Berikut desain penambahan jumlah *piezoelectric*:

- Simpangan minimum: 19.77°



Gambar 4.44. Variasi 5 *Piezoelectric* Tampak Samping Kondisi 2 Variasi 20 Sudu

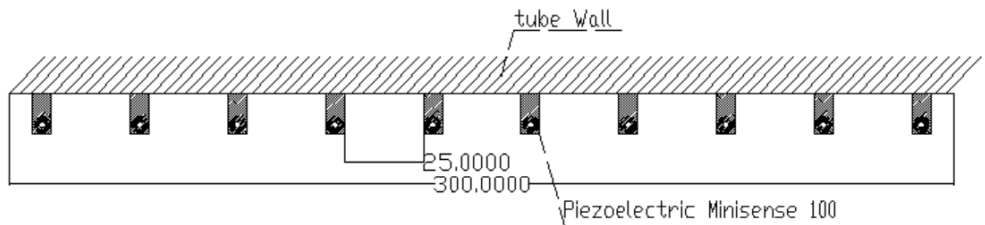
Berdasarkan gambar diatas jumlah *piezoelectric* yang direncanakan berjumlah 5 *piezoelectric* dapat diketahui, pada simpangan minimum 1 *piezoelectric* dikenai oleh 2 sudu, sehingga didapatkan τ output sebesar:

- τ output 1 *piezoelectric*: 0.0012 Nm
- Total τ output pada simpangan minimum = 10×0.0012
= 0.012 Nm

berdasarkan total torsi diatas dan lebar *piezoelectric* 0.006 m sementara ukuran tabung *piezoelectric* pada model adalah 0.3 m maka, direncanakan 1 baris *piezoelectric* berjumlah 10 deret dengan asumsi perhitungan berikut:

- Total τ output 10 baris *piezoelectric* pada simpangan minimum:
- $\tau = 10 \times 0.012$
= 0.12 Nm

- Efisiensi pada τ simpangan minimum = $\frac{0.12}{0.126} \times 100$
= 95.2%



Gambar 4.45. Variasi 5 *Piezoelectric* Tampak Depan Kondisi 2 Variasi 20 Sudu

Berdasarkan perencanaan diatas maka jarak tiap deret *piezoelectric* adalah 25 mm.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Desain model mekanisme alat pembangkit listrik tenaga gelombang air laut, menggunakan 2 sistem bandul dimana keduanya bergerak secara bersamaan untuk menggerakkan sudu yang telah terpasang pada poros bandul dan berfungsi memberikan tekanan terhadap piezoelectric. Sistem bandul ini diletakkan diatas ponton yang mana akan terkena gaya gelombang air laut sehingga ponton mengalami roll. Gerakan roll pada ponton menyebabkan ayunan pada bandul sehingga menghasilkan simpangan, gerakan pada bandul ini akan dimanfaatkan untuk memutar sudu sehingga menghasilkan gaya untuk menekan piezoelectric sehingga elemen piezoelectric menghasilkan voltase bangkitan. Semakin besar simpangan pada system bandul maka semakin besar pula daya yang dihasilkan.
2. Gaya torsi terbesar pada kondisi lengan cadik 0.220 m adalah 0.32 Nm pada variasi 5 sudu, 0.30 pada variasi 10 sudu dan 0.29^o pada variasi 20 sudu. Pada konsisi 0.225 m adalah 0.25 pada variasi 5 sudu, 0.30^o pada variasi 10 sudu dan 0.32 pada variasi 20 sudu. Pada tiap variasi besar simpangan bandul bergantung pada panjang lengan cadik semakin kecil panjang lengan cadik, massa bandul dan simpangan bandul semakin besar ketiganya maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar pula. Akan tetapi dengan dimensi bandul yang sama terdapat perbedaan dari kedua kondisi dikarenakan gelombang laut yang tidak menentu sehingga simpangan yang dihasilkan tidak menentu. Besarnya daya yang dihasilkan oleh sistem bandul dipengaruhi oleh besarnya torsi dan kecepatan sudut (berbanding lurus), sehingga daya terbesar dihasilkan ketika nilai simpangan terbesar yaitu pada saat tinggi gelombang terbesar.
3. Simpangan terbesar pada kondisi lengan cadik 0.220 m adalah 58.59^o pada variasi 5 sudu, 53.43^o pada variasi 10 sudu dan 52.14^o pada variasi 20 sudu. Pada konsisi 0.225 m adalah 49.02^o pada variasi 5 sudu, 54^o pada variasi 10 sudu dan 58^o pada variasi 20 sudu. Pada tiap variasi besar simpangan bandul bergantung pada panjang lengan cadik semakin kecil panjang lengan cadik maka sudut rol dari ponton semakin besar sehingga simpangan bandul semakin besar akan tetapi simpangan pada variasi 10 sudu pada kedua kondisi cadik bernilai sebaliknya karena dipengaruhi besar gelombang laut yang tidak menentu.
4. Daya yang dihasilkan bandul terbesar pada kondisi lengan cadik 0.220 m adalah 1,76 W pada variasi 5 sudu, 1.52 W pada variasi 10 sudu, dan 1.46 W

pada variasi 20 sudu. Pada konsisi 0.225 m adalah 1,01 W pada variasi 5 sudu, 1.54 W pada variasi 10 sudu, dan 1.76 W pada variasi 20 sudu. Berdasarkan kondisi cadik besar daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh panjang lengan cadik semakin kecil panjang lengan cadik maka simpangan bandul semakin besar sehingga daya yang dihasilkan semakin besar akan tetapi simpangan pada variasi 10 sudu pada kedua kondisi cadik bernilai sebaliknya karena besar gelombang laut yang tidak menentu.

5.2 Saran

1. Dalam pengambilan data seharusnya *mooring* dibuat dengan 2 utas tali tiap titik dengan sudut 45°.
2. Pengujian sebaiknya dilakukan di laboratorium agar didapatkan ukuran gelombang yang akurat dan konstan.
3. Sebaiknya dilakukan pengukuran sudut simpangan yang lebih akurat untuk penelitian selanjutnya.
4. Dilakukan variasi jumlah *piezoelectric*.
5. Untuk penelitian selanjutnya lebih baik dilakukan variasi bentuk dan Panjang lengan bandul.
6. Dilakukan variasi massa beban bandul.
7. Jenis *piezoelectric* yang digunakan merupakan jenis yang tersedia dipasaran.

Daftar Pustaka

- [1] Ede Mehta Wardhana. “ANALISA TEGANGAN DAN PENEMPATAN MOORING PADA PONTOON PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT – SISTEM BANDULAN.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Energi Gelombang. [Online] [Cited: March 25, 2020.] <http://id.wikipedia.org>.
- [3] Ervina Lestari. (2014). “PERANCANGAN MULTISTAGE PERMANENT MAGNET GENERATOR UNTUK KEBUTUHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM BANDUL (PLTG – SB).” Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Gandha Hafesha. (2014). “PEMODELAN DAN ANALISA ENERGI YANG DIHASILKAN MEKANISME VIBRATION ENERGY HARVESTING DENGAN EKSITASI GETARAN PADA ENGINE.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Hamdi. (2016). “ENERGI TERBARUKAN.” [Online] [Cited: January 26, 2020.] <https://books.google.co.id/>
- [6] Idrul, Mohammad N. (2013). “ANALISA PERBANDINGAN GERAKAN PONTON MODEL TRIPOD SIKU-SIKU DENGAN SAMA KAKI UNTUK ENERGI GELOMBANG SISTEM BANDULAN.” Surabaya, ITS.
- [7] International Energy Agency - Ocean Energy System (IEA|OES) . Ref: Policy Report. Tahun 2006.
- [8] Joenta Indraswara. (2015). “STUDI KARAKTERISTIK VOLTASE BANGKITAN YANG DIHASILKAN MEKANISME VIBRATION ENERGI HARVESTING MENGGUNAKAN METODE PIEZOELECTRIC-PENGUNGKIT DENGAN VARIASI JUMLAH BLADE PEMUKUL DAN FREKUENSI SUMBER GETAR.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [9] Losong, YD. (2016). “PEMODELAN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN MODEL MEKANISME PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) TIPE PELAMPUNG-PIEZOELECTRIC.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- [10] Pandika Darmawan. (2016). “ANALISA DAMPING TERHADAP SISTEM KERJABANDULAN PENDULUM VERTIKAL SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT – SISTEM BANDULAN (PLTGL – SB).” Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Rudianto. (2013). “ANALISA GERAKAN PENDULUM DENGAN BENTUK JURING LINGKARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT – SISTEM BANDULAN PADA PENGUJIAN OFFSHORE.” Surabaya, ITS.
- [12] Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya
- [13] Waldopo, Eko Tri Rahardjo dan Asih Priati. (2008). “PERAIRAN DARAT DAN LAUT.” [Online] [Cited: January 26, 2020.] <https://sumberbelajar.belajar.kemendikbud.go.id>
- [14] Yakin, Ainul. Efrita Arfah Z. (2016). “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID DI PULAU GILI LABAK KABUPATEN SUMENEP MADURA MENGGUNAKAN TEKNIK DISTRIBUTED GENERATOR.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

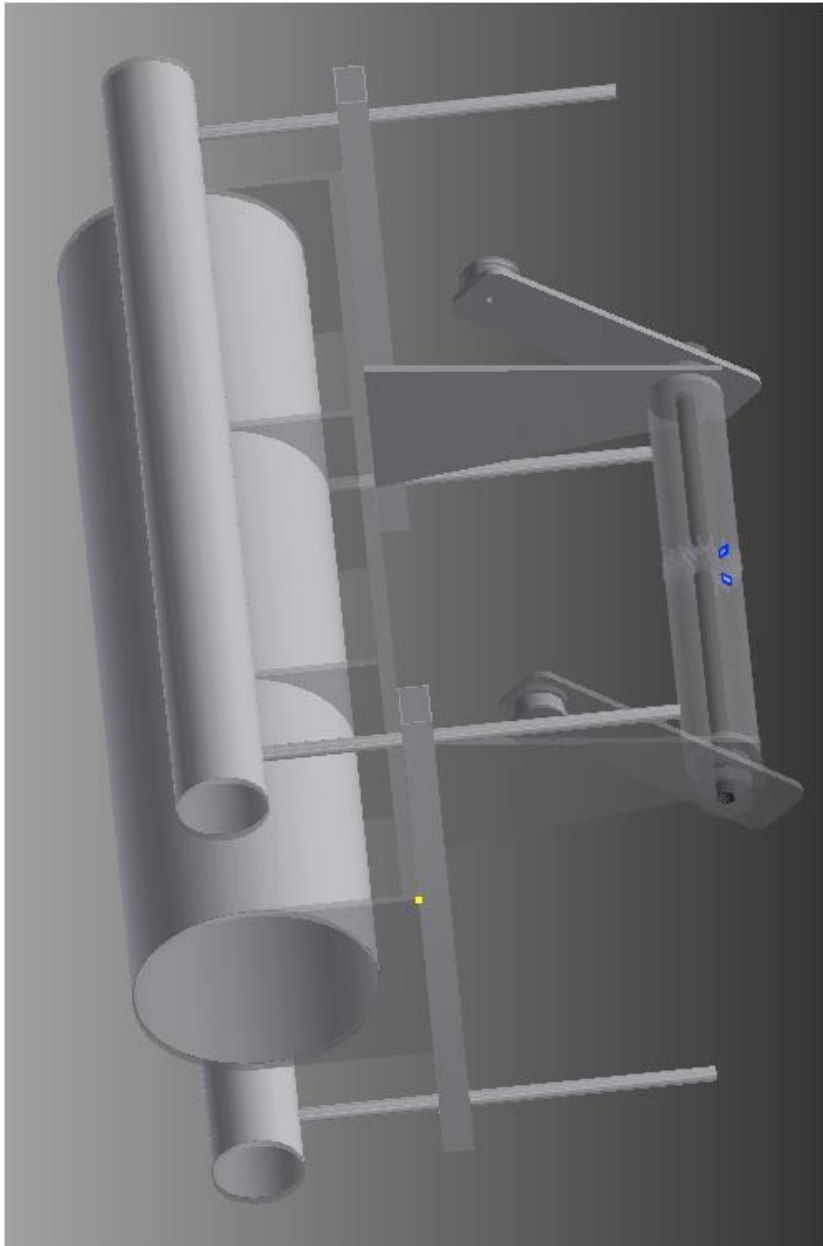
BIODATA PENULIS



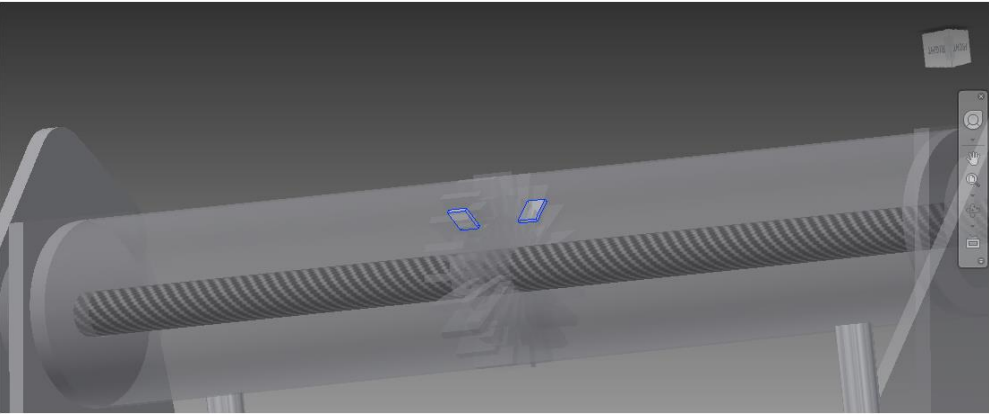
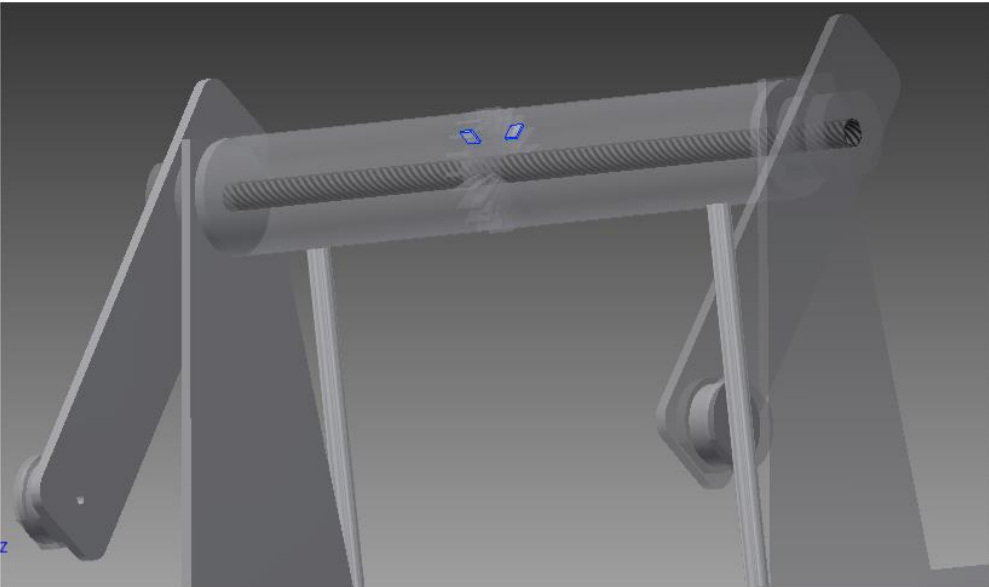
Maulana Rakhim dilahirkan di Pamekasan, 4 Mei 1996. Yang berasal dari orang tua **Moh. Zein Mulyadi** dan **Susmiyati**. Penulis mulai menuntut ilmu di TK. Pembina (2000 - 2002), kemudian melanjutkan ke SDN Murtajih 1 Pademawu (2002 - 2008) setelah itu melanjutkan ke SMP Negeri 2 Pamekasan (2008 - 2011), dan melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Pamekasan (2011 - 2014). Kemudian penulis menempuh pendidikan di Prodi Teknik Bangunan Kapal – Politeknik Negeri Madura Pada tahun (2014-2017). Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Sistem Perkapalan – FTK. Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT., karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul ***“Perancangan Mekanisme Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut Di Pulau Gili Labak, Kabupaten Sumenep-Madura”*** tepat pada waktunya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 1

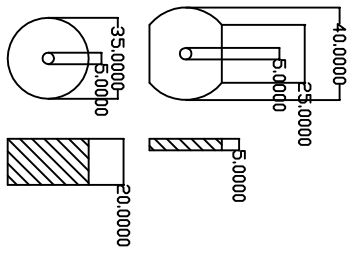
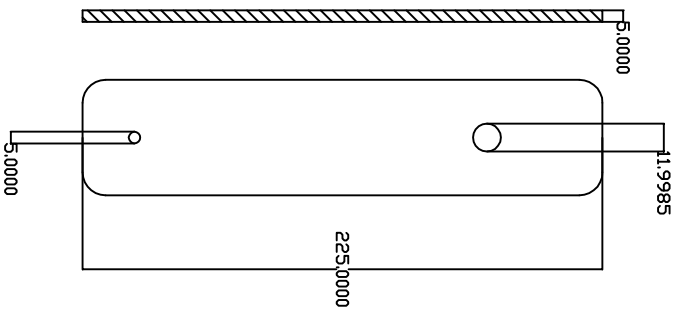
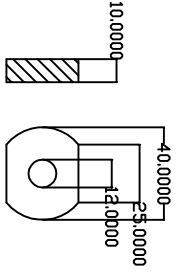


Lampiran 2

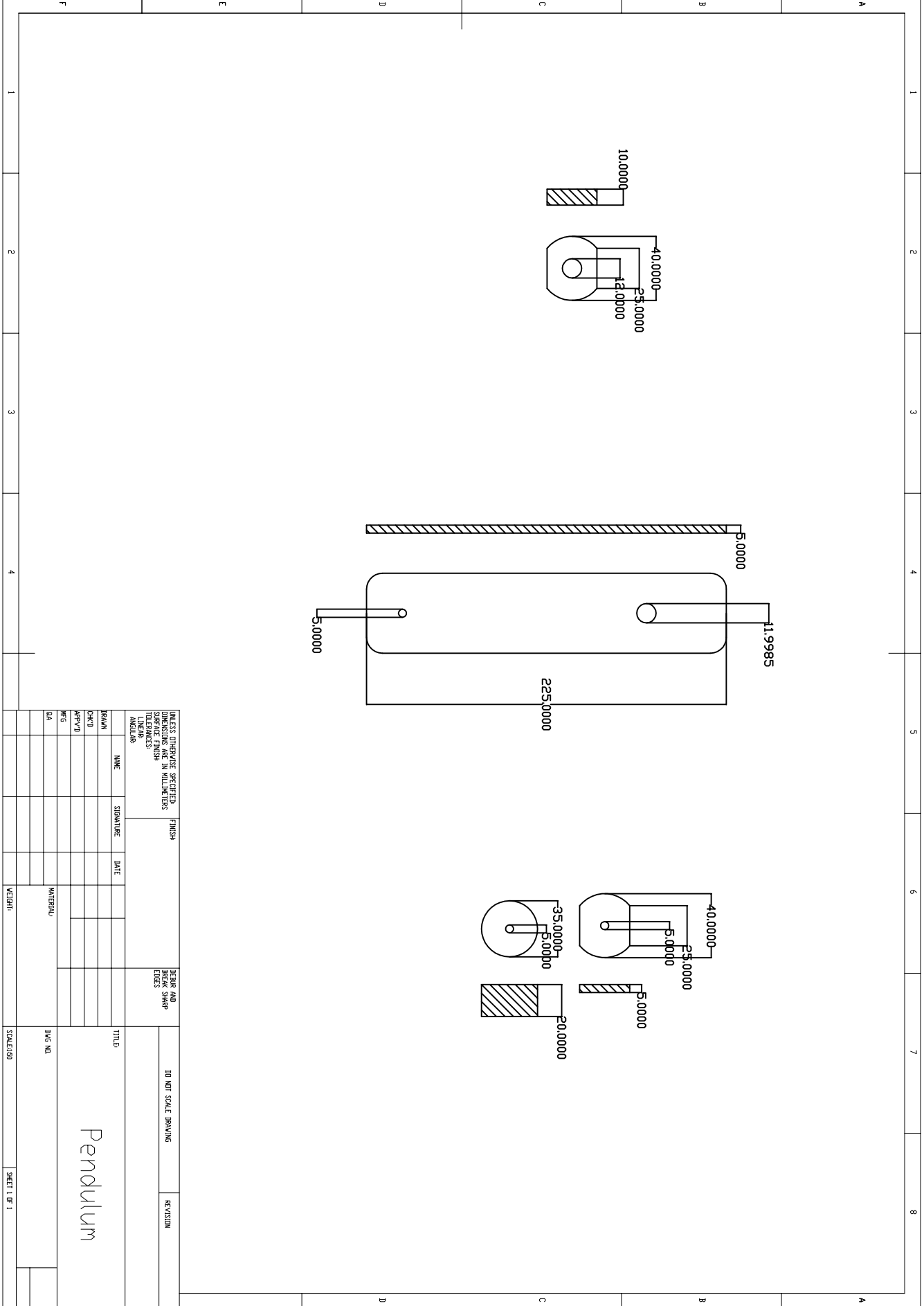


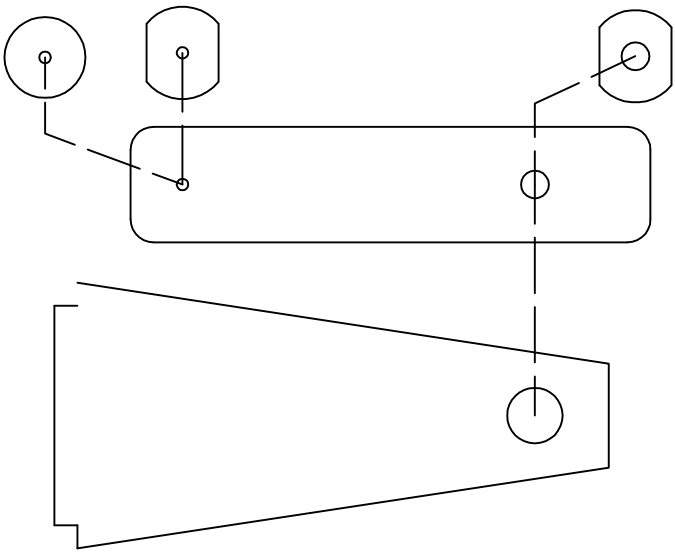
Lampiran 3





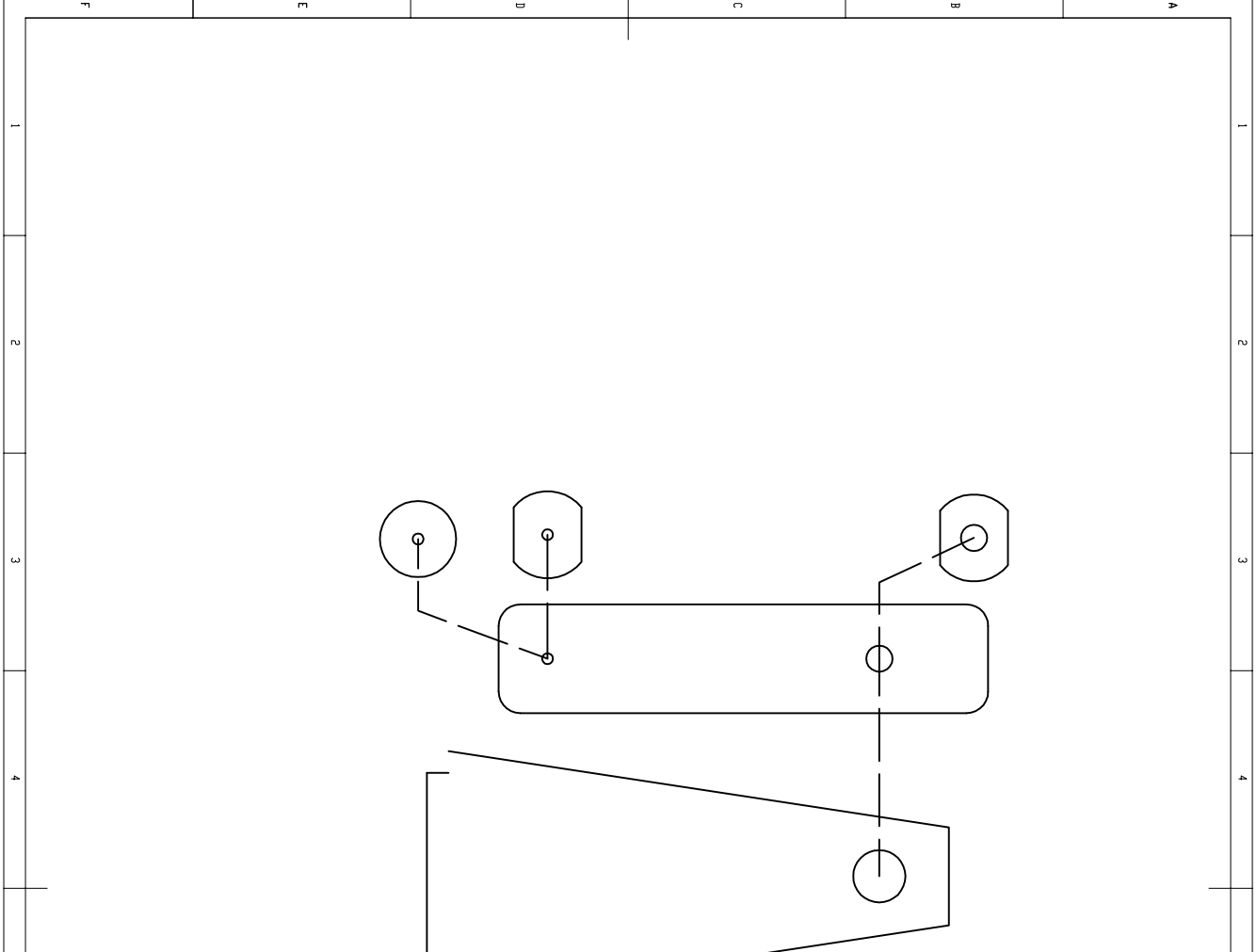
| | | | | |
|-------------------------------|-----------|--------|----------------------|--------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED | | FINISH | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION |
| DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | | | |
| TOLERANCES | | | | |
| ANGLES | | | | |
| NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE | |
| DESIGNED | | | Pendulum | |
| CHECKED | | | | |
| APPROVED | | | | |
| DATE | | | | |
| MATERIAL | | | DWG NO | |
| WEIGHT | | | SCALE: 1:1 | SHEET 1 OF 1 |

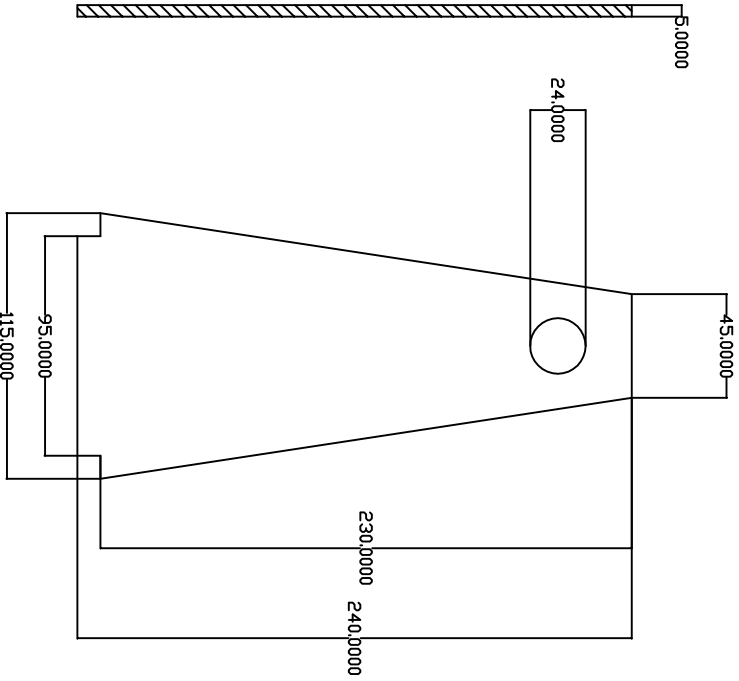




| | | | | | |
|----------------|--|--------|--|-----------|--|
| FINISH | | FINISH | | GROUP AND | |
| SURFACE FINISH | | DATE | | FILES | |
| TOLERANCES | | DATE | | SYMBOLS | |
| DIMENSIONS | | DATE | | SYMBOLS | |
| ANGLES | | DATE | | SYMBOLS | |

| NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE |
|----------|-----------|------|-------------------|
| DESIGNER | | | Pendulum Assemble |
| CHECK'D | | | |
| APPROV'D | | | |
| DATE | | | |
| SCALE | | | |
| MATERIAL | | | DWG NO. |
| WEIGHT | | | SCALE: 1:1 |
| | | | SHEET 1 OF 1 |





| NAME | SIGNATURE | DATE | FINISH | GROUP AND SHEET NUMBER | REVISION |
|------|-----------|------|--------|------------------------|----------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| DESIGNER | CHECKED | APPROVED | SCALE | WEIGHT | DWG NO | TITLE |
|----------|---------|----------|-------|--------|--------|-------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tiang Pendulum

A B C D E F

1 2 3 4 5 6 7 8

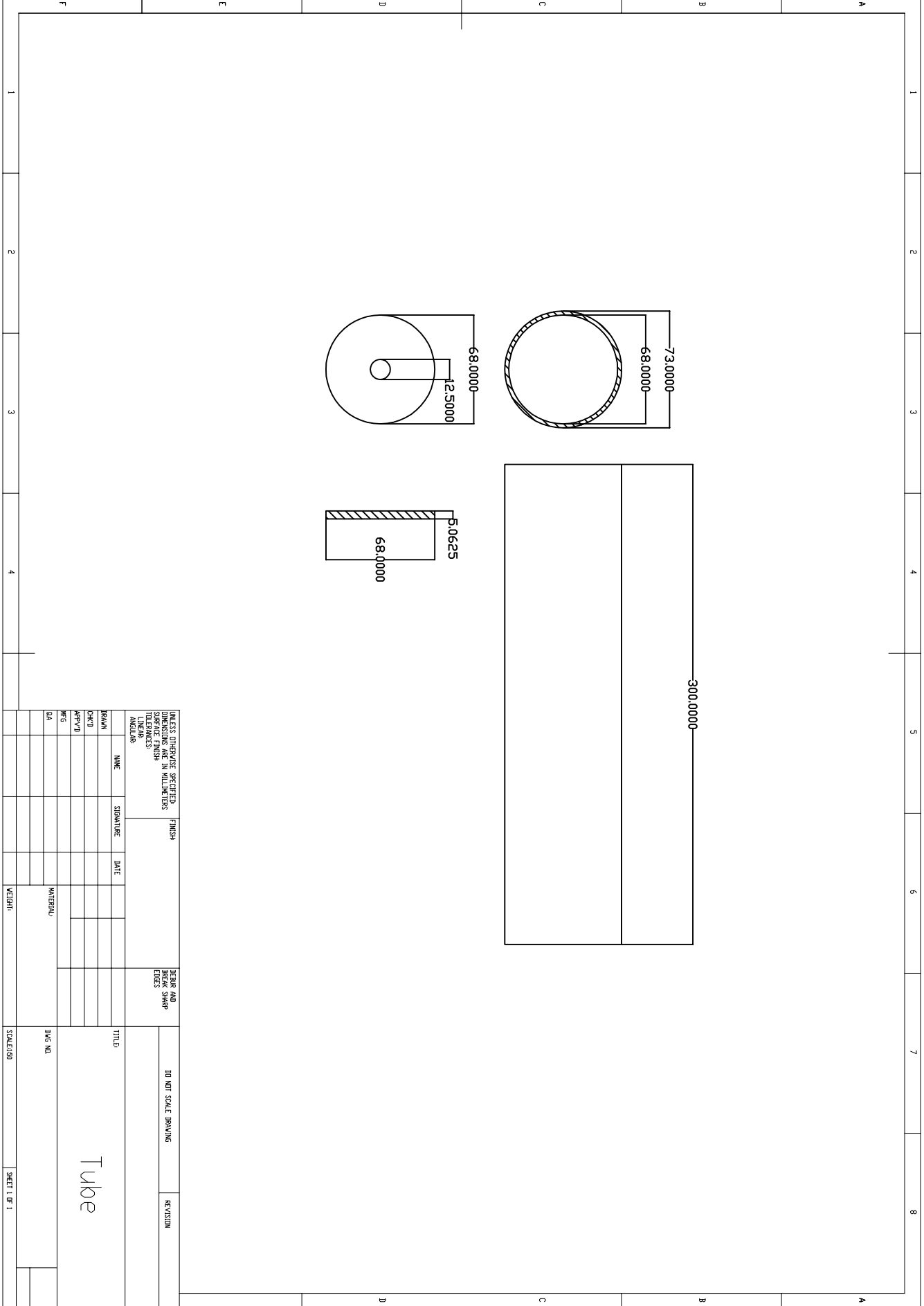
A B C D

1 2 3 4 5 6 7 8

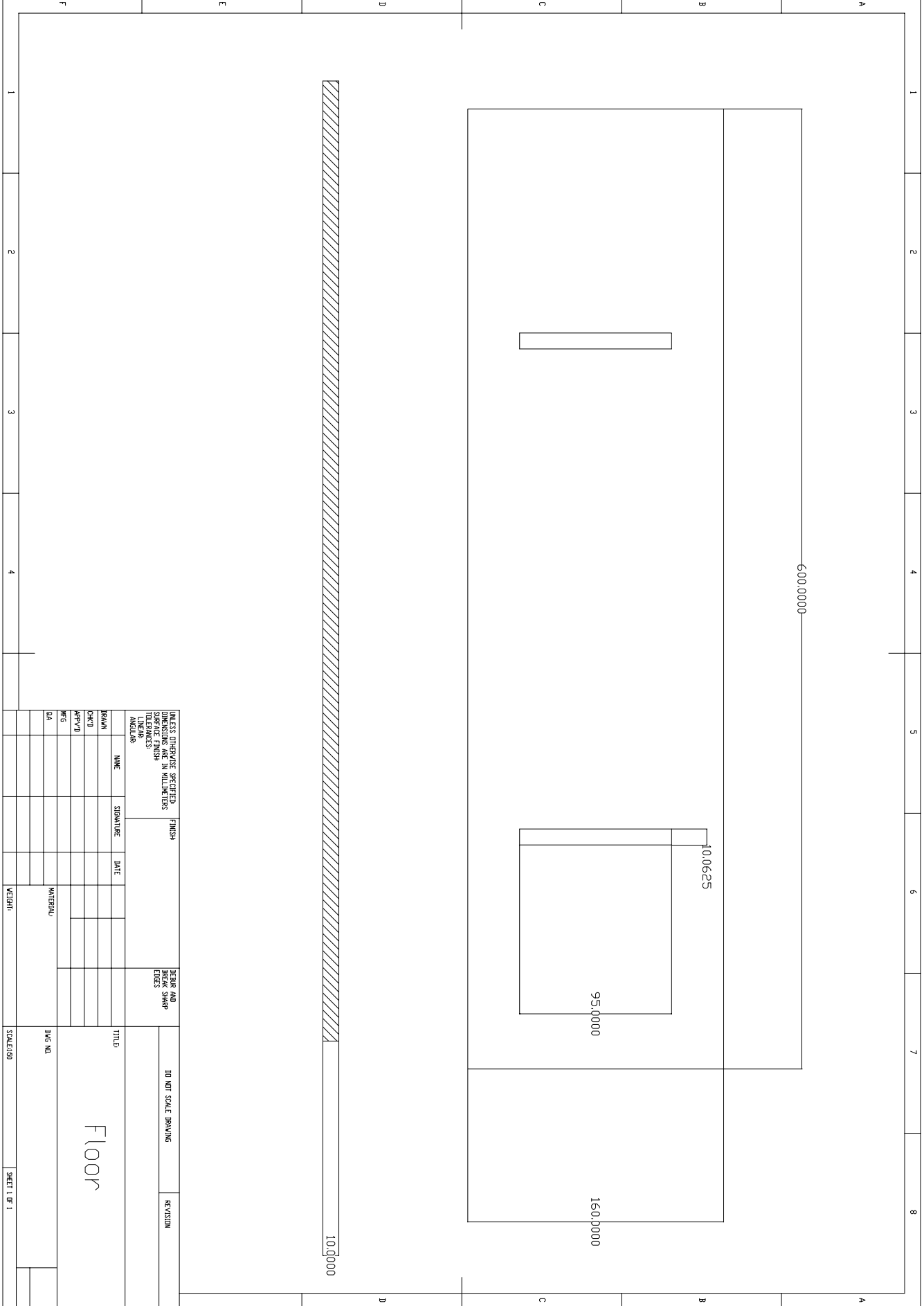
DO NOT SCALE DRAWING

SHEET 1 OF 1

SCALE: 1:1



| | | | | | |
|-------------------------------|------|-----------|------|-----------|----------------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED | | FINISH | | GRADE AND | |
| DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS | | | | CLASS | |
| TOLERANCES | | | | MARKS | |
| ANGLES | | | | STAMPS | |
| DRWN | NAME | SIGNATURE | DATE | TITLE | DO NOT SCALE DRAWING |
| CHK'D | | | | Tube | REVISION |
| APP'VD | | | | | |
| WKS | | | | | |
| QA | | | | | |
| MATERIAL | | | | DWG NO | |
| WEIGHT | | | | SCALE:50 | SHEET 1 OF 1 |



| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED | | | | FINISH | | GRADE AND | |
|------------------------------------|------|-----------|------|----------------------|--|------------|--|
| DIMENSIONS SHALL BE IN MILLIMETERS | | | | TOLERANCES | | ELEVATIONS | |
| TOLERANCES | | | | FINISH | | ELEVATIONS | |
| ANGLES | | | | FINISH | | ELEVATIONS | |
| DESIGNER | NAME | SIGNATURE | DATE | | | | |
| CHECKED | | | | | | | |
| APPROVED | | | | | | | |
| SCALE | | | | | | | |
| DATE | | | | | | | |
| MATERIAL | | | | TITLE | | | |
| DWG NO. | | | | DO NOT SCALE DRAWING | | | |
| SCALE: 1:100 | | | | REVISION | | | |
| SHEET 1 OF 1 | | | | | | | |

Floor

1 2 3 4 5 6 7 8

A B C D E F