

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN MODEL PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND
PINION)* SEARAH**

(Skripsi)

Oleh:

MUHAMMAD TAUFIK NURKALAM

NPM 2015021062



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

ABSTRAK

RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH

OLEH

MUHAMMAD TAUFIK NURKALAM

Energi gelombang laut merupakan salah satu potensi sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan secara maksimal di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah. Sistem ini bekerja dengan mengubah gerakan vertikal pelampung akibat gelombang laut menjadi gerakan rotasi melalui mekanisme *rack and pinion* yang terhubung dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan air tawar dan media pembangkit gelombang buatan.

Pengujian dilakukan dengan variasi frekuensi gelombang untuk mengetahui karakteristik sistem dalam menghasilkan tegangan, arus, dan daya listrik. Hasil pengujian dianalisis dan dibandingkan dengan perhitungan teoritis untuk mengevaluasi efisiensi konversi energi. Efisiensi dihitung berdasarkan rasio energi aktual terhadap energi teoritis dari gelombang yang digunakan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ini mampu menghasilkan daya listrik dengan efisiensi yang bervariasi, tergantung pada parameter gelombang yang diterapkan. Model pembangkit ini menunjukkan potensi yang baik untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai sistem pembangkit listrik ramah lingkungan di wilayah pesisir. Dengan optimalisasi desain dan pengujian lanjutan, sistem ini dapat menjadi alternatif solusi untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan nasional.

Kata Kunci: Energi Gelombang Laut, Pembangkit Listrik, Rack And Pinion, Energi Terbarukan, Efisiensi Konversi Energi.

ABSTRACT

DESIGN AND TESTING OF A UNIDIRECTIONAL GEAR (RACK AND PINION) TYPE OCEAN WAVE POWER GENERATION MODEL

By

MUHAMMAD TAUFIK NURKALAM

Ocean wave energy is one of the potential sources of renewable energy that has not been maximally utilized in Indonesia. This research aims to design and test a unidirectional gear-type (rack and pinion) ocean wave power generation model. This system works by converting the vertical movement of the buoy due to ocean waves into rotational movement through a rack and pinion mechanism connected to a generator to produce electrical energy. The research was conducted on a laboratory scale using fresh water and artificial wave generation media.

Tests were conducted with variations in wave frequency to determine the characteristics of the system in generating voltage, current, and electrical power. The test results were analyzed and compared with theoretical calculations to evaluate energy conversion efficiency. The efficiency is calculated based on the ratio of actual energy to the theoretical energy of the waves used.

The results show that the model is capable of generating electrical power with varying efficiency, depending on the wave parameters applied. This generation model shows good potential to be further developed as an environmentally friendly power generation system in coastal areas. With further design optimization and testing, this system can be an alternative solution to support national renewable energy utilization.

Keywords: Ocean Wave Energy, Power Plant, Rack And Pinion, Renewable Energy, Energy Conversion Efficiency.

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN MODEL PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND
PINION)* SEARAH**

Oleh:

MUHAMMAD TAUFIK NURKALAM

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul Skripsi

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN MODEL
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG
LAUT TIPE GEAR (RACK AND PINION) SEARAH**

Nama

Muhammad Taufik Nurkalam

NPM

2015021062

Program Studi

Strata 1 (S1)

Jurusan

Teknik Mesin

Fakultas

Teknik



MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Komisi Pembimbing I

Komisi Pembimbing II

Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.
NIP. 196908011999031002

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 197408162000121001

**Ketua Jurusan
Teknik Mesin**

**Ketua Program Studi S1
Teknik Mesin**

Prof. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197108171998021003

Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP. 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua penguji : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.

Anggota Pnguji : Ahmad Su'udi, S.T., M.T.

Penguji Utama : Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 20 Maret 2025

PERNYATAAN PENULIS

Skripsi dengan judul “RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH” dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat siapapun sebagaimana diatur dalam pasal 43 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Peraturan Rektor Nomor 02 Tahun 2024.

Bandar Lampung, 20 April 2025

Yang Membuat Pernyataan



Muhammad Taufik Nurkalam

NPM. 2015021062

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Metro pada tanggal 13 Maret 2002, yang merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Hadi Sukimin dan Ibu Rita Aisyah. Penulis memulai pendidikan pertama kali di Taman Kanak-kanak (TK) Al-Qur'an Wahdatul Ummah dan menyelesaikannya pada tahun 2008, lalu menyelesaikan pendidikan dasar di SD Islam Terpadu Wahdatul Ummah pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 2 Metro dan menyelesaikannya pada tahun 2017. Selanjutnya penulis menyelesaikan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di SMKS KP Gajahmada 1 Metro pada tahun 2020. Selanjutnya pada tahun 2020 penulis tercatat sebagai mahasiswa Universitas Lampung pada Fakultas Teknik yang diterima melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota Edukasi Kemahasiswaan (EDKESMA) pada tahun 2021, dan sebagai anggota Dana dan Usaha (DANUS) pada tahun 2022. Pada tahun 2023, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pagar Bukit Induk Kecamatan Bengkunt Kabupaten Pesisir Barat. Pada tahun 2023 penulis melakukan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset Teknologi Tepat Guna Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTTG BRIN) dengan judul **“Perancangan Ulang Dan Analisis Kekuatan Struktur Rangka Menggunakan Software Solidworks Pada Mesin Ethanol Recovery Di Pusat Riset Teknologi Tepat Guna Badan Riset Dan Inovasi Nasional”**. Kemudian penulis melakukan penelitian yang berjudul **“Rancang Bangun Dan Pengujian Model Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Gear (Rack And Pinion) Searah”** dimana dilakukannya penelitian ini untuk menyelesaikan tugas akhir di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik.

MOTTO

“Wahai orang-orang yang beriman, mohonlah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan salat. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”

(Q.S. Al-Baqarah: 153)

“Janganlah memalingkan wajahmu dari manusia (karena sombong) dan janganlah berjalan di bumi ini dengan angkuh. Sesungguhnya Allah tidak menyukai setiap orang yang sombong lagi sangat membanggakan diri.”

(Q.S. Luqman: 18)

“Maka barangsiapa mengerjakan kebaikan seberat zarah, niscaya dia akan melihat (balasan)nya. Dan barangsiapa mengerjakan kejahatan seberat zarah, niscaya dia akan melihat (balasan)nya.”

(Q.S. Az-Zalzalah: 7-8)

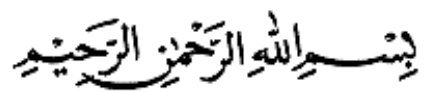
“Diwajibkan atas kamu berperang, padahal itu tidak menyenangkan bagimu. Tetapi boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.”

(Q.S. Al-Baqarah: 216)

Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibumu dalam keadaan tidak mengetahui apa pun, dan Dia memberimu pendengaran, penglihatan dan hati nurani, agar kamu bersyukur.

(Q.S. An-Nahl: 78)

PESEMBAHAN



Alhamdulillahirobbil'alamin

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Puji Syukur kepada Allah atas segala nikmat, taufik, serta hidayah-Nya.

Kupersembahkan skripsi ini untuk:

Bapak Hadi Sukimin (Alm) dan Ibu Rita Aisyah tercinta, tersayang, dan terhormat. Terima kasih atas segala pengorbanan yang luar biasa, kasih sayang, dan doa yang diberikan untuk kesuksesanku.

Dita Nurjannah, Darma Ansori serta seluruh keluarga besar. Terimakasih atas segala dukungan moril maupun materil untuk dapat menyelesaikan pendidikan di tingkat universitas sebagai Sarjana Teknik Mesin

Para guru dan dosen. Terima kasih atas kesabaran dan keikhlasannya dalam membimbing dan mengajariku.

Saudara dan teman-teman yang selalu memberikan dukungan serta selalu membantu dan menemani ketika dalam kesulitan.

Almamater Tercinta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kupanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-nya dan kesehatan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *GEAR (RACK AND PINION)* SEARAH”. Tujuan dari penulis skripsi ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar S1 dan untuk melatih mahasiswa dalam berfikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis menyadari masih ada banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu penulis meminta kritik dan saran yang dapat membangun dalam pembuatan skripsi ini.

Penulis



Muhammad Taufik Nurkalam

2015021062

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan hidayah, serta lindungan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis sanjungkan kepada Nabi Muhammad S.A.W. yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai tanda hasil pengerjaan tugas akhir yang penulis lakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang mekanika, terkhusus dalam bidang mekanika struktur. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi yang membaca dan yang mengutip serta dapat dijadikan acuan untuk studi-studi selanjutnya. Selesaiannya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tuaku tercinta, terimakasih atas dedikasinya dan dukungan moril maupun materil serta mendoakanku agar selalu dalam lindungan Allah SWT.
2. Kakak-kakakku tersayang (Dita Nurjannah dan Darma Ansori) yang selalu menjadi penyemangat, motivasi bagi penulis, dan juga memberikan uang jajan tambahan disaat penulis sedang kehabisan uang
3. Keluarga Besar, sebagai sanak saudara terdekat yang selalu menjadi penyemangat, motivasi bagi penulis, dan juga memberikan uang jajan tambahan disaat penulis sedang kehabisan uang
4. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

5. Prof. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I atas pengarahan dan bimbingannya selama penulisan skripsi serta kesediannya dengan sabar untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam penyusunan skripsi hingga terselesaikan.
7. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II sekaligus sebagai Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung atas pengarahan dan bimbingannya selama penulisan skripsi serta kesediannya dengan sabar untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam penyusunan skripsi hingga terselesaikan.
8. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembahas yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan tanpa pernah menyalahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
9. Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., selaku kepala Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus sebagai dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, nasihat, kritik, saran, dan motivasi selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama perkuliahan.
11. Seluruh staff, asisten laboratorium dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
12. Malik, Wiyoga, Ariza, dan Chairil, selaku rekan Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan rekan bimbingan skripsi yang sudah bersedia menjadi teman serta membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, serta selalu memberikan dukungan, semangat, dan keceriaan selama penyusunan skripsi ini.
13. Abangda Raka Fariz Husaini (Ibeng), Dwiandra Fadhila Geris (Tapong), Aldita Umar Fajri (Kucing), Ka Ferly Citra Asddiyansyah (Bujang), Raffi Muhammad (Kocin), Ogi Wahyudi (Jim), Ilman Farkhan Iswantoro (Lelek),

Tazzidane Olsen Ba'albaqi (Olsen), Hafizh Febriandra Geris (Adek) dan Yopi Nadama (Sumanto) yang selalu memberikan dukungan, canda tawa, bantuan, selalu menemani serta mendengarkan keluh kesah selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi.

14. Semua teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung angkatan 2020 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan, keakraban, canda tawa, bantuan, serta dukungan selama ini yang telah kalian berikan.
15. Demong, Ican, Darma, Delfiro, Juli, Bahtiar, Bagas, Sandro dan rekan-rekan kampung lainnya yang selalu memberikan dukungan, canda tawa, bantuan, selalu menemani serta mendengarkan keluh kesah selama ini.
16. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
17. Manchester United, terlepas dari performa fluktuatif layaknya grafik tegangan eksperimen, klub ini mengajarkan saya dua hal penting dalam hidup yaitu bertahan dalam tekanan dan percaya bahwa masa sulit pasti berlalu. Skripsi ini mungkin selesai, tapi cinta saya ke MU tak akan pernah usai.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bandar Lampung, 20 April 2025



Muhammad Taufik Nurkalam

NPM 2015021062

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR NOTASI	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan.....	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Gelombang laut	6
2.2. Teori Gelombang Laut	9
2.3. Energi Gelombang Laut	12
2.4. Daya listrik	14
2.5. Standar Deviasi.....	17
2.6. Gaya Apung (<i>Buoyancy force</i>)	17
2.7. <i>Design Engineering</i>	18
2.8. Generator	22

2.9.	<i>Rack and pinion</i>	24
2.10.	<i>Pulley and belt</i>	25
2.11.	<i>Bearing</i>	33
2.12.	Poros	36
III.	METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1.	Waktu dan Tempat	38
3.2.	Alur Penelitian	38
3.3.	Tahapan Perancangan	40
3.4.	Komponen peralatan model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe <i>gear (rack and pinion)</i> searah	42
3.5.	Peralatan Eksperimen	55
3.6.	Rancangan Eksperimen	57
3.7.	Prosedur pengambilan data	58
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1.	Dimensi alat	60
4.2.	Parameter gelombang	61
4.3.	Hasil eksperimen dan analisa	62
4.4.	Efisiensi model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe <i>gear (rack and pinion)</i> searah	73
V.	PENUTUP	75
5.1.	Kesimpulan	75
5.2.	Saran	76
	DAFTAR PUSTAKA	77
	LAMPIRAN	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Puncak dan lembah gelombang	6
Gambar 2.2. Komponen gelombang dasar	8
Gambar 2.3. Profil permukaan ombak	11
Gambar 2.4. Segitiga daya listrik	16
Gambar 2.5. Posisi benda saat dicelupkan ke dalam air	18
Gambar 2.6. Langkah-langkah dalam proses perencanaan dan desain	21
Gambar 2.7. <i>Rack and pinion</i>	24
Gambar 2.8. <i>Pulley and belt</i>	25
Gambar 2.9. Bentuk konstruksi <i>belt</i>	28
Gambar 2.10. <i>Open belt drive</i>	29
Gambar 2.11. <i>Cross belt drive</i>	29
Gambar 2. 12. <i>Reversing open belt drive</i>	30
Gambar 2.13. <i>Belt drive with idler pulley</i>	30
Gambar 2.14. <i>Compound belt drive</i>	31
Gambar 2.15. <i>Stepped or cone pulley</i>	31
Gambar 2.16. <i>Fast and loose pulley drive</i>	32
Gambar 2.17. Komponen <i>ball bearing</i>	34
Gambar 2.18. Sistem poros dengan bantalan dan pembagian beban	36
gambar 3.1. Flow chart penelitian	39
Gambar 3.2. Sketsa pembangkit listrik tenaga gelombang laut	41
Gambar 3.3. Desain model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe <i>gear</i> (<i>rack and pinion</i>) searah	42
Gambar 3.4. Generator	43

Gambar 3.5. <i>Pillow block bearing</i>	44
Gambar 3.6. <i>2d pillow block bearing</i>	45
Gambar 3.7. Poros	46
Gambar 3.8. <i>Rack and pinion</i>	46
Gambar 3.9. <i>Pulley</i>	49
Gambar 3.10. <i>Belt</i>	50
Gambar 3.11. <i>Linear Bearing</i>	51
Gambar 3.12. <i>2d linier bearing</i>	52
Gambar 3.13. Pelampung	53
Gambar 3. 14. Kotak <i>display</i>	55
Gambar 3.15. Media pembangkit gelombang	56
Gambar 3.16. Avometer (multitester)	56
Gambar 3.17. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe <i>gear (rack and pinion)</i> searah	57
Gambar 4.1. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe <i>gear (rack and pinion)</i> searah	61
Gambar 4.2. Data eksperimen tegangan (V)	63
Gambar 4.3. Data eksperimen arus (mA)	64
Gambar 4.4. Data eksperimen daya (mW)	65
Gambar 4.5. Perbandingan nilai rata-rata tegangan (V)	69
Gambar 4.6. Perbandingan nilai rata-rata arus (mA)	70
Gambar 4.7. Perbandingan nilai rata-rata daya (mW)	71
.Gambar 4.8. Perbandingan nilai rata-rata energi (J)	72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi gelombang laut.....	7
Tabel 3.1. Morfologi desain	40
Tabel 3.2. Spesifikasi generator	43
Tabel 3.3. Spesifikasi <i>pillow block bearing</i>	44
Tabel 3.4. Spesifikasi poros	46
Tabel 3.5. Spesifikasi pla+ (<i>polylactic acid plus</i>)	47
Tabel 3.6. Spesifikasi <i>bearing</i> searah	49
Tabel 3.7. Spesifikasi <i>pulley</i>	50
Tabel 3.8. Spesifikasi <i>round belt</i>	50
Tabel 3.9. Spesifikasi <i>linier bearing</i>	51
Tabel 3.10. Spesifikasi pelampung	53
Tabel 3.11. Spesifikasi sensor tegangan dc.....	54
Tabel 3.12. Spesifikasi sensor arus 5A	54
Tabel 4.1. Dimensi alat	60
Tabel 4.2. Data parameter gelombang	62
Tabel 4.3. Hasil eksperimen.....	66
Tabel 4.4. Nilai standar deviasi.....	68
Tabel 4.5. Hasil perhitungan efisiensi.....	74

DAFTAR NOTASI

Simbol	keterangan	Satuan
η_{PLTGL}	Efisiensi PLTGL	%
Σ	Simbol penjumlahan	
σ	Standar deviasi populasi	
$\emptyset$	Dimensi	<i>mm</i>
ρ	Densitas	<i>kg/m³</i>
b	Lebar gelombang diasumsikan dengan panjang pelampung	<i>mm</i>
C	Jarak sumbu antara dua <i>pulley</i>	<i>mm</i>
C_w	Kecepatan gelombang	<i>m/s</i>
D_p	Diameter <i>pitch pulley</i> besar	<i>mm</i>
d	Kedalaman laut	<i>m</i>
d_p	Diameter <i>pitch pulley</i> kecil	<i>mm</i>
d_1	Diameter <i>pulley</i> kecil	<i>mm</i>
d_2	Diameter <i>pulley</i> besar	<i>mm</i>
E	Energi	<i>J</i>
E_a	Energi aktual	<i>J</i>
E_t	Energi teoritis	<i>J</i>

F_a	Gaya apung	N
f_i	Frekuensi nilai x_i dalam data	
g	Percepatan gravitasi	m/s^2
H	Tinggi gelombang	m
I	Arus listrik	A
k	Bilangan gelombang	m^{-1}
L_b	Panjang <i>belt</i>	mm
L_w	Panjang gelombang	m
n	Jumlah data dalam sampel	
n_1	Putaran penggerak	rpm
n_2	Putaran <i>output</i>	rpm
P	Daya listrik	W
P_w	Daya gelombang	W
Q	Daya reaktif	VAR
R	Rasio kecepatan	
S	Daya semu	VA
s	Standar deviasi sampel	
T	Periode	s
t	Waktu	s
V	Tegangan	V
v	Volume	m^3
x_i	Nilai data ke-i dalam sampel	
$\bar{x}$	Rata-rata sampel	

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan suatu negara kepulauan yang sebagian besar berupa laut, selat, dan teluk (Syach dkk., 2020). Dengan statusnya sebagai negara maritim, Indonesia memiliki wilayah lautan sebesar dua per tiga dari seluruh wilayahnya, yang merupakan hampir 70 % dari luasnya (Faulincia, 2019). Hal ini dapat menjadi suatu keuntungan bagi Indonesia dari segi besarnya potensi energi yang ada di laut. Ada beberapa macam potensi energi yang dapat dimanfaatkan dari laut seperti energi pasang surut air laut, gelombang laut, arus laut, dan energi panas laut (Syach dkk., 2020). Wilayah yang memiliki potensi energi gelombang laut cukup besar terletak di sepanjang pantai selatan pulau Jawa sampai dengan pulau Nusa Tenggara yang berkisar antara 10–20 kW per meter gelombang (Rif'an, dkk., 2018).

Gelombang laut adalah suatu gerakan dari permukaan air laut akibat hembusan angin (Loupatty, 2013). Gelombang laut ini dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi baru terbarukan. Energi terbarukan ini merupakan suatu energi non fosil yang dapat diperbaharui, dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama, dan ramah lingkungan. Pemanfaatan energi terbarukan ini perlu dilakukan karena mengingat energi listrik yang dipakai saat ini diperoleh dari fosil yang berpotensi suatu saat akan habis. Gelombang laut ini telah dimanfaatkan sebagai energi baru terbarukan di beberapa negara.

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dibedakan berdasarkan modelnya. Menurut (Agustina dkk., 2022), pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) terbagi menjadi 4 jenis yaitu PLTGL-OWC (*Oscillating Water Column*), PLTGL-AWS (*Arcimedes Wave Swing*), PLTGL-Pelamis, dan PLTGL-Duck. Walaupun terdapat beberapa variasi dalam desain dan konsep, *wave energy converter* (WEC) dapat dibedakan menjadi tiga tipe utama, yaitu *attenuator*, *point absorber*, dan *terminator* (Drew dkk., 2009). *Attenuator* adalah sistem yang terletak sejajar dengan arah gelombang yang dominan, contohnya ialah pelamis yang dikembangkan oleh *ocean power delivery ltd* (*pelamis wave power*). *Point absorber* merupakan alat terapung yang naik turun di permukaan air atau terendam di bawah permukaan dengan memanfaatkan perbedaan tekanan, contohnya ialah *powerbuoy* dari *ocean power technology*. *Terminator* memiliki sumbu utama yang tegak lurus terhadap arah gelombang utama dan secara fisik memotong gelombang, contohnya adalah *salter's duck* yang dikembangkan di University of Udinburgh. Selain itu terdapat juga sistem sirip ikan hiu buatan yang dimana sistem ini dikembangkan oleh perusahaan *Bio Power System*. *Bio Power System* mengembangkan sistem sirip ikan hiu buatan dan rumput laut mekanik untuk menangkap energi ombak (Maulana, 2015).

Berdasarkan referensi dan sitasi yang diperoleh, terdapat beberapa variasi desain dan konsep dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). Berdasarkan uraian yang telah dijabarkan, penulis ingin membuat model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear* (*rack and pinion*) searah. Prinsip kerja alat ini adalah memanfaatkan gerakan naik turunnya pelampung yang diperoleh dari suatu gelombang, sehingga menggerakkan *gear* yang menyatu dengan sebuah poros yang langsung menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Harapan dari terbuatnya model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear* (*rack and pinion*) searah adalah untuk menghasilkan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, yang dapat memanfaatkan potensi gelombang laut

secara efisien. Dengan menggunakan sistem *gear rack and pinion*, diharapkan dapat mengoptimalkan konversi energi mekanik dari gelombang laut menjadi energi listrik. Sehingga memberikan kontribusi pada pengurangan ketergantungan terhadap sumber energi fosil, serta mendukung keberlanjutan dan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, model ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem pembangkit listrik di daerah pesisir dan meningkatkan ketersediaan energi terbarukan secara lebih luas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya listrik yang dihasilkan oleh model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah serta membandingkan hasil yang diperoleh dengan perhitungan teoritis. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi nilai efisiensi daya listrik berdasarkan variasi gelombang yang diterapkan pada model tersebut. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang performa dan potensi pemanfaatan model pembangkit listrik tenaga gelombang laut dalam mengonversi energi gelombang menjadi energi listrik yang optimal

1.2. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Rancang model pembangkit listrik tenaga gelombang laut (*wave energy converter*).
2. Menganalisis nilai efisiensi energi yang diperoleh dari model pembangkit listrik tenaga gelombang laut (*wave energy converter*) berdasarkan variasi eksentrisitas.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Penulis merancang model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah ini dengan skala laboratorium.
2. Penulis menguji model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah ini hanya menggunakan media pembangkit gelombang skala laboratorium yang tersedia di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Penulis menguji model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah ini hanya menggunakan air tawar tidak menggunakan air asin atau air laut.
4. Gelombang air yang digunakan diperoleh dari media pembangkit gelombang yang frekuensinya dapat divariasikan sehingga didapatkan beberapa jenis teori gelombang.
5. Gelombang yang terjadi merupakan gelombang yang merambat ke satu arah.

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam menyusun skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan singkat terkait permasalahan yang akan diambil yang terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung perumusan masalah yang akan dibahas atau dianalisa. Tinjauan pustaka juga merupakan sumber-sumber yang digunakan dalam menganalisis dan menghitung data-data yang diperoleh saat penelitian.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisikan tentang metode yang dilakukan penulis untuk mengumpulkan informasi, tempat dan waktu penelitian serta menerangkan alur penelitian, sebagaimana proses pengambilan data yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang perhitungan data-data yang sudah diperoleh dan dilanjutkan dengan pembahasan hasil yang telah didapatkan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari data yang diperoleh dan pembahasan dari penulis tentang studi kasus yang diambil dalam penelitian. Kesimpulan yang diperoleh ditulis secara ringkas dan jelas, serta saran yang diberikan untuk kelanjutan dari penelitian. Kesimpulan dan saran ini bertujuan untuk penelitian berikutnya agar dapat lebih sempurna daripada penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan tentang referensi yang digunakan dalam penulisan dan penyusunan laporan penelitian.

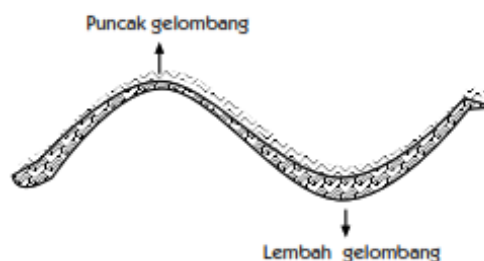
LAMPIRAN

Lampiran berisikan data-data pelengkap yang tidak dicantumkan pada bab-bab sebelumnya dan juga sebagai pelengkap dari laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang laut

Gelombang laut dapat didefinisikan sebagai suatu gerakan periodik air laut yang disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor yang menyebabkan terjadinya gelombang laut ialah gerakan dari suatu kapal, gempa bumi (vulkanik dan tektonik), daya tarik bumi-bulan (gelombang pasang surut), atau angin. Gelombang laut adalah gerakan air yang naik turun dari permukaan air laut dengan arah tegak lurus dan membentuk suatu kurva atau grafik sinusoidal. Adapun prinsip dasar dari terjadinya gelombang laut ialah gelombang terbentuk pada bidang gerakannya jika dua massa benda bergesekan satu sama lain dengan rapat atau densitas yang berbeda. Pada suatu gelombang terdapat puncak gelombang dan lembah gelombang, puncak gelombang ialah titik tertinggi dalam gerakan naik sedangkan lembah gelombang ialah titik terendah dalam gerakan menurun (Waldopo, 2008). Adapun puncak dan lembah gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut:



Gambar 2.1. Puncak dan lembah gelombang

(Sumber: Waldopo, 2008)

Menurut (Loupatty, 2013), gelombang laut adalah suatu gerakan dari permukaan air laut akibat hembusan angin. Angin yang berhembus di atas permukaan air laut dapat menimbulkan suatu gelombang dan membawa suatu kecepatan yang mempunyai energi. Gelombang laut dapat dibedakan menjadi berbagai jenis berdasarkan periode atau panjang gelombang itu sendiri, yaitu sebagai berikut:

1. Gelombang kapiler, adalah gelombang yang mempunyai suatu periode gelombang yang tidak lebih dari 0,2 detik dan memiliki panjang gelombang 1,7 meter (Hartono dkk., 2022).
2. Gelombang gravitasi (gelombang besar dan angin laut), ialah gelombang yang memiliki periode gelombang 1 sampai 20 detik.
3. Gelombang *infragravity*, ialah gelombang yang memiliki periode gelombang 20 detik sampai 5 menit.
4. Gelombang jangka panjang (gelombang badai, tsunami dan *sheice*), ialah gelombang yang memiliki periode yang lebih lama.

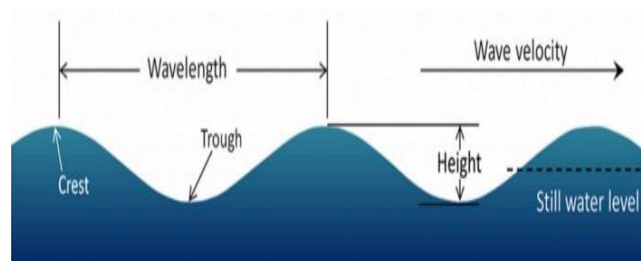
Menurut (Toffoli dan Bitner-Gregersen, 2017), terdapat beberapa jenis gelombang yang dapat diklasifikasi berdasarkan periode gelombangnya, yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi gelombang laut

Jenis Gelombang	Periode Gelombang	Menghasilkan Kekuatan	Memulihkan Kekuatan
Gelombang Kapiler	<0,1 Detik	Angin	Tegangan Permukaan
Gelombang Ultragravitasi	0,1–1 Detik	Angin	Tegangan Dan Permukaan Gravitasi
Gelombang Gravitasi	1–20 Detik	Angin	Gravitasi

Gelombang <i>Infragravity</i>	20 Detik Sampai 5 Menit	Gradien Tekanan Angin Dan Atmosfir	Gravitasi
Gelombang Jangka Panjang	5 Menit Sampai 12 Jam	Gradien Tekanan Atmosfer Dan Gempa Bumi	Gravitasi
Gelombag Pasang Biasa	12–24 Jam	Daya Tarik Gravitasi	Gravitasi Dan Gaya Coriolis
Gelombang Transtidal	>24 Jam	Badai Dan Tarikan Gravitasi	Gravitasi Dan Gaya Coriolis

Menurut (Webb, 2017), gelombang dasar terdapat beberapa bagian, yaitu *crest*, *trough*, *wavelength*, *wave height*, *still water level*, *wave steepness*. *Crest* (puncak gelombang), yaitu titik tertinggi gelombang. *Trough* (lembah gelombang), yaitu titik rendah gelombang. *Wavelength* (panjang gelombang), yaitu jarak antara dua titik yang sama pada gelombang yang berurutan, contohnya lembah ke lembah, atau puncak ke puncak. *Wave Height* (tinggi gelombang), yaitu jarak antara pucak dan lembah gelombang. *Still water level* (ketinggian air tenang), yaitu permukaan air laut yang benar benar tenang jika tidak ada gelombang. *Wave steepness* (kecuraman gelombang), yaitu rasio tinggi gelombang terhadap panjangnya (H/L). Adapun komponen gelombang dasar dapat dilihat pada Gambar 2.2. berikut ini:



Gambar 2.2. Komponen gelombang dasar

(Sumber: Webb, 2017)

Terdapat juga beberapa istilah yang digunakan untuk menggambarkan suatu gerak gelombang, yaitu periode, frekuensi, kecepatan. Periode merupakan waktu tempuh antara dua lembah atau dua puncak gelombang secara berurutan pada titik yang tetap (Suharyo, 2018). Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melewati suatu titik dalam jangka waktu tertentu. Kecepatan ialah cepatnya gelombang merambat, atau jarak yang ditempuh persatuan waktu. Untuk menghitung kecepatan dari suatu gelombang dapat menggunakan persamaan (1), serta untuk menghitung panjang dari suatu gelombang dapat menggunakan persamaan (2) (Aminuddin dkk., 2015).

$$C_w = \frac{L_w}{T} = \frac{\sigma}{K} \dots \dots \dots (1)$$

$$L_w = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi}{L_w} d \dots \dots \dots (2)$$

2.2. Teori Gelombang Laut

Dalam memahami fenomena gelombang laut, terdapat berbagai teori yang menjelaskan pembentukan, karakteristik, dan perilaku gelombang dalam konteks yang berbeda. Pemilihan teori gelombang harus didasarkan pada periode, tinggi, dan kedalaman gelombang. Setiap teori hanya berlaku dalam kondisi tertentu. Berikut ini adalah penjelasan mengenai empat teori utama gelombang laut:

2.2.1. Teori Gelombang *Airy*

Teori ombak linier, atau juga yang disebut teori gelombang *airy*, adalah teori ombak yang banyak digunakan karena asumsinya yang sederhana. Teori gelombang *airy* adalah model dasar yang digunakan untuk menggambarkan gelombang sinusoidal dengan amplitudo kecil. Persamaan *laplace* untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan di dasar laut adalah dasar dari teori gelombang *airy*, juga dikenal sebagai teori amplitudo kecil. Menurut

(Rif'an, dkk., 2018) dalam teori *airy*, terdapat asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Zat cair tidak termampatkan dan homogen sehingga rapat masa konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya coriolis (akibat perputaran bumi diabaikan).
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair ideal, sehingga aliran tak rotasi berlaku.
6. Dasar laut tidak bergerak ke arah vertikal, sehingga tidak ada kecepatan vertikal di dasar.
7. Amplitudo gelombang kecil dibandingkan dengan panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus ke arah penjalaran, sehingga gelombang adalah dua dimensi.

2.2.2. Teori Gelombang *Stokes*

Teori gelombang *stokes* menggunakan amplitudo yang lebih besar daripada teori *airy* untuk mengembangkan model gelombang. Teori ini menghasilkan persamaan untuk orde kedua dan ketiga, yang memungkinkan perhitungan gelombang dengan amplitudo berhingga. Dalam teorinya, Stokes memperhitungkan efek non-linear yang terjadi pada gelombang ketika amplitudonya meningkat, yang membuatnya lebih akurat untuk menggambarkan keadaan lautan yang sebenarnya.

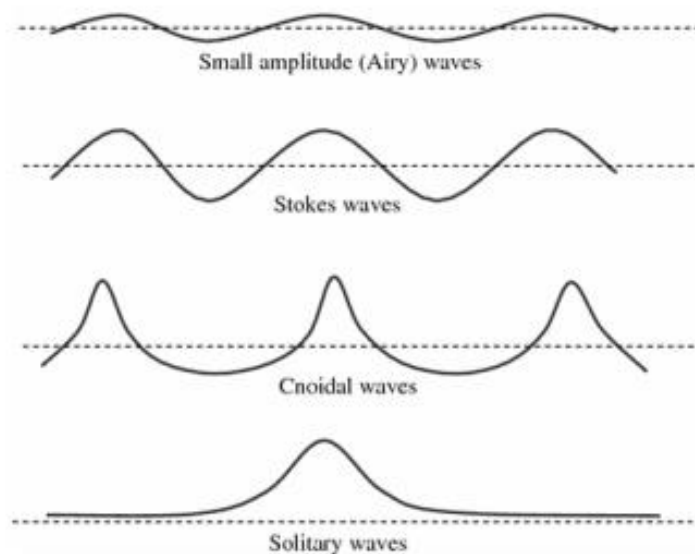
2.2.3. Teori Gelombang Knodal

Teori gelombang Knodal digunakan untuk menggambarkan gelombang yang memiliki amplitudo berhingga dan panjang yang lebih besar dibandingkan kedalaman air. Model ini memberikan representasi yang lebih kompleks dari bentuk gelombang dan sering digunakan dalam situasi di mana gelombang tidak sinusoidal. Ini juga membantu memahami fenomena gelombang panjang dengan ciri-ciri tertentu.

2.2.4. Teori Gelombang *Solitary*

Gelombang tunggal (gelombang soliter) bergerak tanpa mengubah bentuknya. Interaksi arus dengan topografi dasar laut atau fenomena lain seperti tsunami sering menyebabkan gelombang seperti ini. Teori ini sangat membantu menjelaskan perilaku gelombang yang memiliki energi tinggi dan dapat bergerak jauh tanpa kehilangan bentuknya. Gelombang ini tidak periodik dan tidak memiliki panjang gelombang yang pasti (Sundar, 2016).

Setiap teori menawarkan perspektif unik berdasarkan asumsi dan kondisi tertentu, mulai dari gelombang kecil yang dihasilkan oleh angin hingga gelombang besar yang muncul akibat interaksi kompleks di lautan. Adapun perbandingan profil dari beberapa teori ombak tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Profil Permukaan Ombak

(Sumber: Wilson, 1963)

2.3. Energi Gelombang Laut

Ada beberapa macam potensi energi yang dapat dimanfaatkan dari laut seperti energi pasang surut air laut, gelombang laut, arus laut, dan energi panas laut (Syach dkk., 2020). Wilayah yang memiliki potensi energi gelombang laut cukup besar terletak di sepanjang pantai selatan pulau Jawa sampai dengan pulau Nusa Tenggara yang berkisar antara 10–20 kW per meter gelombang (Rif'an, dkk., 2018). Gelombang laut ini dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi baru terbarukan. Energi terbarukan ini merupakan suatu energi non fosil yang dapat diperbaharui, dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama, serta energi terbarukan ini ramah lingkungan.

Pemanfaatan energi terbarukan perlu dilakukan karena mengingat energi listrik yang dipakai saat ini diperoleh dari fosil yang dimana persediaannya semakin menipis. Menurut (Sundar, 2016), terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan untuk perangkat energi gelombang laut, yaitu sebagai berikut:

1. Sistem harus dirancang dengan baik agar dapat tahan terhadap karakteristik gelombang operasional demi efisiensi maupun untuk karakteristik gelombang ekstrem.
2. Gelombang sulit dimanfaatkan karena terdapat variasi dari panjang gelombang, tinggi gelombang, arah, dan dapat menahan benturan.
3. Lokasi dengan gelombang panjang harus ideal karena daya gelombang yang tersedia untuk diekstraksi lebih tinggi untuk gelombang panjang. Namun, untuk pengembangan pelabuhan, kriterianya berbeda, jadi akan lebih baik untuk menggabungkan kedua struktur tersebut.
4. Gelombang paling kuat berada di perairan dalam, di mana kekuatan mereka berkurang ke arah pantai ketika kedalaman airnya kurang dari setengah panjang gelombang.
5. Lokasi dengan variasi pasang surut yang signifikan harus dihindari karena dapat mempengaruhi tambatan dan efisiensi dari perangkat tersebut.

Terdapat pula tingkat pemanfaatan dari energi gelombang laut, yaitu konversi primer, konversi sekunder, dan konversi tersier. Konversi primer ialah suatu gerakan osilasi gelombang laut disimpan dalam konverter energi dalam bentuk energi potensial dan energi kinetik. Elemen yang mengambang atau berosilasi di dalam konverter dapat mempertahankan energi ini. Konversi sekunder merupakan energi yang dikonversi menjadi bentuk yang produktif dan menguntungkan melalui penggunaan penggerak dan sistem kontrol, seperti perangkat untuk mengontrol level dan pelepasan daya. Energi kinetik dan potensial ini diubah menjadi energi rotasi melalui turbin, yang menghasilkan perputaran poros. Konversi tersier ialah tahap di mana energi gerak berputar ditransfer ke generator listrik, yang kemudian menghasilkan listrik. Adapun daya gelombang laut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) (Kresnadana dan Ansori, 2023):

$$P_W = \frac{\rho g^2 H^2 T b}{32\pi} \dots\dots\dots(3)$$

Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai energi teoritis dapat menggunakan persamaan (4) dan energi aktual dapat menggunakan persamaan (5) berikut ini:

$$E_t = P_W \times t \dots\dots\dots(4)$$

$$E_a = \sum_{i=0}^n P_i \times \Delta t \dots\dots\dots(5)$$

Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai efisiensi yaitu dapat menggunakan persamaan (6) berikut ini:

$$\eta_{PLTGL} = \frac{E_a}{E_t} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Adapun klasifikasi pengonversi energi gelombang yang sesuai dengan ukuran serta orientasi horizontalnya, yaitu sebagai berikut:

2.3.1. Peredam titik (*point absorbers*)

Jenis sistem ini memiliki peringkat daya beberapa ratus kilowatt yang dimana perangkatnya sangat kecil jika dibandingkan dengan panjang

gelombang pada umumnya. Akibatnya, pembangkit listrik yang besar akan terdiri dari ratusan hingga ribuan unit yang perlu di sebarakan di sepanjang pantai.

2.3.2. Peredam garis (*line absorbers*)

Sistem ini merupakan struktur yang memanjang dengan bentuk terapung dan juga sistem yang panjangnya setara atau lebih panjang dari satu gelombang. Sistem ini juga dapat disebut dengan terminator, yang berarti sistem yang sejajar dengan gelombang, dan attenuator, yang dapat diartikan sistem ini sejajar dengan suatu arah gelombang normal.

Gelombang laut dapat memproduksi beberapa jenis energi, yaitu energi kinetik dan energi potensial. Suatu tinggi gelombang laut dapat mempengaruhi gelombang laut. Sedangkan suatu pergerakan jumlah partikel air laut dapat mempengaruhi energi kinetik. Energi potensial ialah suatu energi yang didapatkan dari pergerakan suatu gelombang di permukaan laut. Energi ini menyebar keseluruh bagian gelombang sehingga energi ini tidak berpusat pada satu titik saja. Energi kinetik dapat didefinisikan sebagai energi yang dimiliki oleh benda karena suatu gerakannya atau suatu kecepatannya (Zafitri dkk., 2018). Energi kinetik gelombang laut merupakan suatu pergerakan jumlah partikel air laut, energi ini dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan bantuan turbin atau generator.

2.4. Daya listrik

Daya listrik adalah ukuran dari tingkat konsumsi energi dalam suatu sirkuit atau rangkaian listrik. Ini menggambarkan seberapa banyak energi listrik yang digunakan dalam setiap periode waktu. Satuan untuk mengukur daya listrik adalah Watt. Di mana $1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/detik}$, sehingga untuk

menghitung suatu daya listrik dapat menggunakan persamaan (7) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

$$P = \frac{E}{t} \dots \dots \dots (7)$$

Adapun persamaan untuk menghitung daya listrik yang diserap oleh resistor pada rangkaian seri dan rangkaian paralel dapat ditulis dalam bentuk persamaan (8) sebagai berikut (Jaya dan Aponno, 2023) :

$$P = V \times I \dots \dots \dots (8)$$

Menurut (Setiaji dkk., 2022), daya listrik terbagi menjadi 3 yaitu sebagai berikut:

2.4.1. Daya aktif (Watt)

Daya aktif adalah istilah yang merujuk pada daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban dalam sebuah sistem listrik. Biasanya, nilai daya aktif lebih rendah daripada daya semu. Daya aktif dihitung dengan mengalikan daya semu dengan faktor daya (cosinus phi). Nilai daya aktif dapat menurun karena adanya beban listrik yang menghasilkan daya reaktif. Untuk menghitung suatu daya aktif dapat menggunakan persamaan (9) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots \dots \dots (9)$$

2.4.2. Daya reaktif (VAR)

Daya reaktif adalah bentuk daya yang dapat menyebabkan kerugian dalam sistem listrik, sehingga dapat mengakibatkan penurunan nilai faktor daya (cosinus phi). Satuan dari daya reaktif adalah VAR (*Volt Ampere Reaktif*). Solusi untuk mengurangi penggunaan daya reaktif adalah memasang kapasitor dalam rangkaian yang memiliki beban induktif. Untuk menghitung suatu daya reaktif dapat menggunakan persamaan (10) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

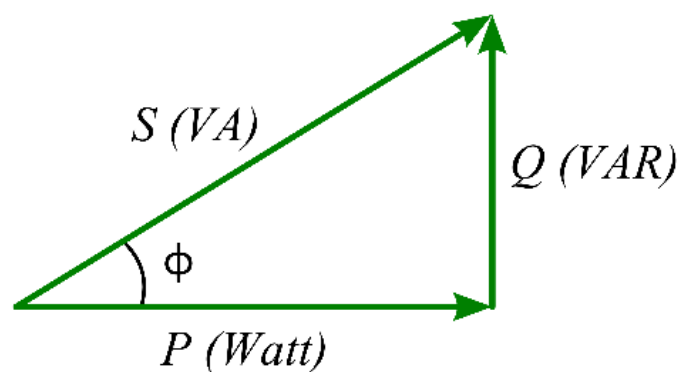
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots \dots \dots (10)$$

2.4.3. Daya semu (VA)

Daya semu adalah istilah yang merujuk pada total daya yang dihitung dalam sistem listrik sebelum dimuat dengan beban listrik. Unit pengukuran daya semu adalah VA (*Volt Ampere*). Beban yang menunjukkan daya semu adalah yang bersifat resistif (R). Peralatan listrik atau beban dalam rangkaian listrik yang resistif tidak dapat mengalami penghematan karena tegangan dan arus listriknya memiliki faktor daya sebesar 1. Untuk menghitung suatu daya aktif dapat menggunakan persamaan (11) berikut ini (Setiaji dkk., 2022):

$$S = V \times I \dots \dots \dots (11)$$

Hubungan dari ketiga daya diatas disebut dengan sistem segitiga daya. Segitiga daya listrik adalah representasi geometris dari hubungan antara tegangan, arus, dan daya dalam sebuah rangkaian listrik yang linier. Dalam segitiga daya, komponen-komponen ini diwakili oleh panjang sisi-sisi segitiga dan sudut-sudutnya. Segitiga ini membantu dalam pemahaman dan perhitungan komponen-komponen daya listrik, seperti daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Adapun segitiga daya listrik dapat dilihat pada Gambar 2.4. berikut ini:



Gambar 2.4. Segitiga daya listrik

(Sumber: Setiaji dkk., 2022)

2.5. Standar Deviasi

Standar deviasi, juga dikenal sebagai standar simpangan baku, adalah suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar variasi suatu kelompok atau standar penyimpangan dari rata-ratanya. Untuk populasi, σ atau σ_n adalah simbol simpangan baku, dan untuk sampel, s , d , atau σ_{n-1} . Variansi adalah kuadrat simpangan baku. Fokusnya adalah untuk menentukan tingkat variasi atau penyebaran data. Simbol variansi populasi adalah σ^2 , sedangkan simbol variansi sampel adalah S (Febriani, 2022). Terdapat dua rumus utama untuk menghitung standar deviasi, untuk standar deviasi data sampel dapat dilihat pada persamaan (12) dan untuk standar deviasi data populasi dapat dilihat pada persamaan (13).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (12)$$

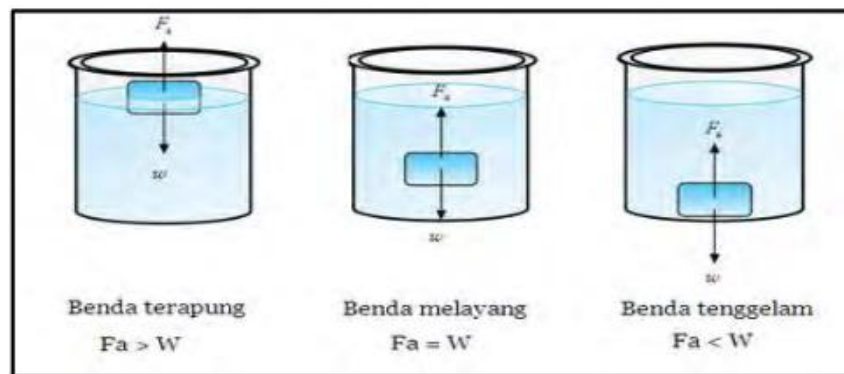
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum fi (xi - \bar{x})^2}{n}} \dots \dots \dots (13)$$

2.6. Gaya Apung (*Buoyancy force*)

Gaya apung ini terjadi berdasarkan hukum Archimedes, yang menyatakan bahwasannya “jika suatu benda dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida, gaya ke atasnya akan sama dengan berat fluida yang dipindahkan olehnya”. Adanya gaya apung ini menyebabkan berat benda yang tercelup dalam fluida selalu lebih kecil daripada berat sebenarnya karena massa jenis fluida berkorelasi dengan gaya apung (Edison, 2021). Berdasarkan hukum Archimedes untuk menghitung besarnya suatu gaya apung dapat menggunakan persamaan (14) berikut ini (Husin dkk., 2014):

$$Fa = \rho v g \dots \dots \dots (14)$$

Jika suatu benda dicelupkan ke dalam air maka terdapat beberapa kemungkinan yang akan dialami oleh suatu benda tersebut, yaitu diantaranya akan tenggelam, melayang, dan mengapung. Jika benda tenggelam, maka suatu benda tercelup sepenuhnya dan menyentuh dasar permukaan fluida. Pada titik ini besar gaya ke atas lebih kecil dari pada berat benda. Jika benda melayang, maka suatu benda tercelup sepenuhnya tetapi tidak menyentuh dasar permukaan fluida. Pada posisi ini massa jenis benda sama besar dengan massa jenis fluida. Jika benda terapung, maka sebagian benda tercelup ke dalam zat cair sedangkan sebagiannya berada di udara. Pada posisi ini massa jenis suatu benda lebih kecil daripada massa jenis zat cair. Adapun posisi benda saat dicelupkan ke dalam air dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Posisi benda saat dicelupkan ke dalam air

(Sumber: Maulana, 2015)

2.7. *Design Engineering*

Mengembangkan dan mendefinisikan solusi untuk masalah yang belum diselesaikan atau solusi baru untuk masalah yang telah diselesaikan dengan cara yang berbeda adalah pekerjaan yang dikenal sebagai desain rekayasa (*design engineering*). *Design engineering* atau perancang rekayasa menggunakan kemampuan intelektual untuk mengaplikasikan pengetahuan

ilmiah dan memastikan bahwa produk memenuhi kebutuhan pasar yang telah disepakati dan spesifikasi desain produk serta memungkinkan proses manufaktur dengan metode yang optimum. Aktivitas desain tidak lengkap hingga produk yang dihasilkan dalam penggunaannya memberikan suatu tingkat unjuk kerja yang dapat diterima serta dengan metode pembuangan yang diidentifikasi secara jelas (Hurst, 2005).

Desain merupakan aktivitas teknik yang mempengaruhi hampir semua bidang kehidupan manusia. Suatu desain menggunakan hukum dan wawasan ilmu pengetahuan yang dibangun berdasarkan pengalaman khusus. Perancangan merupakan suatu aktifitas kreatif yang membutuhkan landasan kuat dalam fisika, kimia, matematika, mekanika, termodinamika, hidrodinamika, teknik elektro, teknik produksi, teknologi material, elemen mesin dan teori desain, serta pengetahuan dan pengalaman bidang yang diminati. Seseorang yang berkontribusi dalam mencari solusi serta mengembangkan suatu produk dengan cara yang sangat spesifik dikenal sebagai insinyur desain (*design engineer*). *Design engineer* atau insinyur desain juga memikul beban tanggung jawab yang berat, hal ini dikarenakan ide, pengetahuan, dan keterampilan mereka sangat menentukan sifat teknis, ekonomi, dan ekologi dari suatu produk yang dihasilkan. Terdapat beberapa kegiatan *design engineer* yang dapat diklasifikasikan secara umum diantaranya adalah membuat konsep (*conceptualizing*), mewujudkan (*embodying*), merinci (*detailing*), dan menghitung (*computing*) (Pahl dkk., 2007).

Menurut Pahl dkk., (2007), terdapat beberapa fase untuk dapat merancang suatu produk yaitu sebagai berikut:

- 2.7.1. Perencanaan dan penjelasan tugas (*planning and task clarification*)
 Pada tahap ini yang perlu dilakukan ialah mengumpulkan semua informasi tentang semua persyaratan yang harus dipenuhi oleh produk, serta kendala yang menghalangi produk. Hasil dari tahap ini adalah daftar persyaratan teknis yang memuat spesifikasi produk. Perencanaan produk baru dapat menghasilkan hasil yang baik jika

fase ini mempertimbangkan kondisi pasar, situasi perusahaan, dan ekonomi negara.

2.7.2. Perancangan konsep produk (*conceptual design*)

Perancangan konsep produk merupakan solusi dari masalah perancangan. Biasanya, konsep produk terdiri dari gambar skets atau skema sederhana. Konsep produk alternatif kemudian dikembangkan dan diuji. Semua produk harus dievaluasi sesuai dengan beberapa kriteria tertentu, seperti kriteria teknis, ekonomis, dan sebagainya.

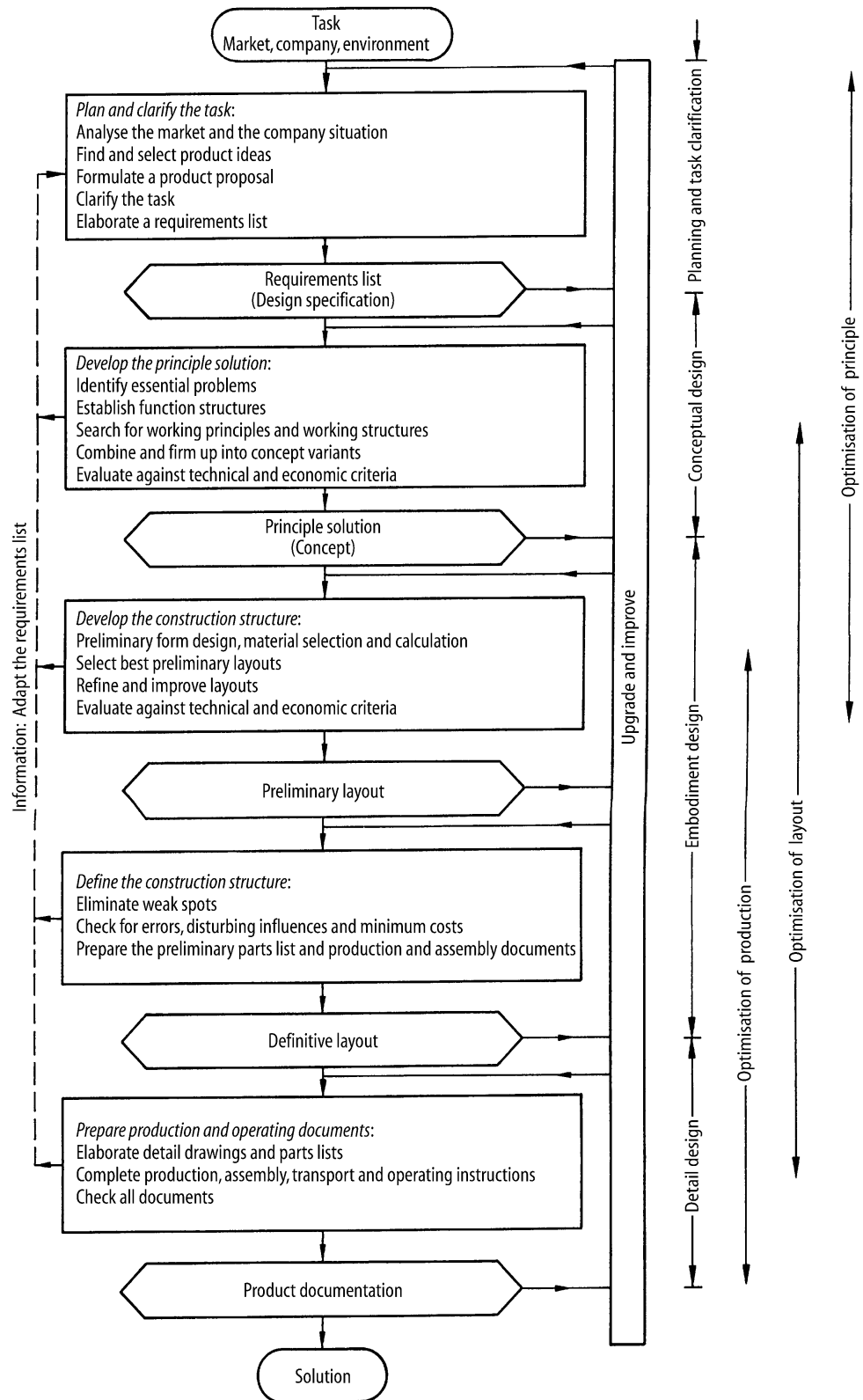
2.7.3. Perancangan bentuk produk (*embodiment design*)

Pada tahap perancangan bentuk ini, konsep produk "diberi bentuk". Komponen-komponen konsep produk yang sebelumnya hanya berupa garis atau batang dalam gambar skema atau skets harus diberi bentuk sehingga mereka secara bersama menyusun bentuk produk dan tidak bertabrakan satu sama lain sehingga produk dapat melakukan fungsinya.

2.7.4. Perancangan detail (*detail design*)

Pada tahap perancangan detail, bentuk, dimensi, kehalusan permukaan, dan material dari setiap komponen ditetapkan. Selain itu, ketidakjelasan tentang bagaimana setiap produk dibuat dan perkiraan biaya telah dibuat. Hasil akhir tahap ini adalah gambar rancangan lengkap dan spesifikasi produk untuk pembuatan; keduanya disebut dokumen pembuatan produk.

Menghasilkan daftar persyaratan dan spesifikasi perancangan adalah contoh fase yang berakhir dari proses perancangan. Hasil dari setiap fase kemudian dimasukkan ke fase berikutnya dan digunakan sebagai umpan balik untuk fase sebelumnya. Perlu diingat bahwa hasil dari setiap fase dapat berubah setiap saat karena umpan balik dari hasil fase sebelumnya. Adapun langkah-langkah dalam proses perencanaan dan desain dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Langkah-langkah dalam proses perencanaan dan desain

(Sumber: Pahl dkk., 2007)

2.8. Generator

Generator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC dan listrik DC (Yaksyah dkk., 2022). Generator umumnya dimanfaatkan dalam berbagai sistem pembangkit energi, seperti pembangkit tenaga air, tenaga panas bumi, tenaga uap, tenaga angin, dan tenaga gelombang laut. Secara prinsip, tidak semua energi kinetik dari alam memiliki kecepatan putaran tinggi yang cukup untuk menghasilkan listrik. Sebagian energi tersebut hanya dapat memutar poros generator dengan kecepatan rendah. Generator yang dirancang untuk menghasilkan listrik pada kecepatan putaran rendah dikenal sebagai generator listrik frekuensi rendah (Aminuddin, 2020).

Adapun komponen utama dari generator yang berperan dalam proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik yaitu sebagai berikut:

2.8.1. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar dan berperan dalam menghasilkan medan magnet, yang kemudian menciptakan tegangan untuk diinduksikan ke stator. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan yang dialiri arus searah melalui cincin geser dan sikat (Farhan dkk., 2021).

2.8.2. Stator

Stator merupakan bagian generator yang diam dan berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor (Farhan dkk., 2021). Stator adalah bagian terluar mesin yang terdiri dari gulungan kawat yang disusun sedemikian rupa sehingga ditempatkan pada alur inti besi. Bagian stator terdiri dari tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat belitan yang berbentuk silinder (Mahaganti dkk., 2014).

Berdasarkan arus yang dihasilkan terdapat dua jenis generator yaitu generator DC (arus searah) dan generator AC (arus bolak balik). Generator AC adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang menghasilkan arus bolak-balik. Berdasarkan operasi mesin terdapat dua jenis generator AC yang umum digunakan, yaitu generator sinkron dan generator asinkron.

1. Generator sinkron adalah jenis generator di mana kecepatan putaran rotor sama dengan kecepatan medan putar stator. Kecepatan sinkron dihasilkan dari rotasi rotor dengan kutub-kutub magnet yang bergerak pada kecepatan yang sama seperti medan putar di stator. Pada generator sinkron, kumparan medan berada di rotor, sedangkan kumparan jangkar terletak di stator (Farhan dkk., 2021).
2. Generator asinkron memiliki kecepatan putaran rotor yang berbeda dari kecepatan medan putar stator, seperti pada generator induksi. Generator induksi sering digunakan pada pembangkit listrik skala kecil karena memiliki harga yang lebih terjangkau, tidak memerlukan sikat, memiliki konstruksi yang sederhana, serta mudah dan murah dalam perawatannya (Aminuddin, 2020). Generator yang sering digunakan dalam pembangkit listrik adalah generator asinkron (Utami, 2010).

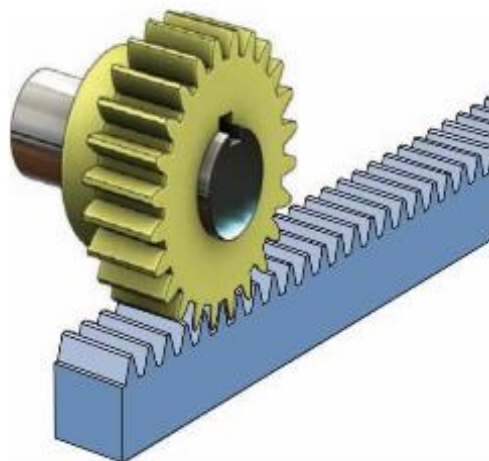
Generator DC adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang menghasilkan arus searah. Prinsip kerjanya didasarkan pada hukum Faraday, yang menyatakan bahwa gaya gerak listrik (ggl) akan diinduksi dalam suatu konduktor ketika konduktor tersebut memotong garis-garis fluks magnetik yang berubah-ubah (Mahaganti dkk., 2014). Berdasarkan cara menghasilkan fluks pada kumparan, generator ini dibagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut:

1. Generator penguatan bebas mendapatkan sumber penguatan medan magnet dari sumber listrik eksternal yang terpisah.
2. Generator penguatan sendiri memperoleh penguatan medan magnet dari energi listrik yang dihasilkan oleh mesin itu sendiri.

2.9. *Rack and pinion*

Rack and pinion adalah sebuah mekanisme yang digunakan untuk mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linier, atau sebaliknya. Mekanisme ini terdiri dari dua komponen utama yaitu *rack* dan *pinion*. *Rack* merupakan batang dengan gigi-gigi yang tersusun secara sejajar. *Rack* adalah roda gigi lurus yang bergerak secara linier bukan berputar (Mott dkk., 2018). *Rack* pada dasarnya adalah roda gigi pacu dengan radius tak terbatas. Dalam bentuk ini, gigi-giginya menjadi lurus, bukan bentuk melengkung dan meliuk-liuk yang biasa terdapat pada roda gigi yang lebih kecil (Mott dkk., 2018).

Pinion merupakan roda gigi yang berputar dan menyentuh *rack*. Ketika *pinion* diputar, gerakan rotasi dari *pinion* akan menggerakkan *rack* secara linier atau sebaliknya, tergantung pada arah rotasi *pinion*. *Rack and pinion* umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam sistem kemudi mobil, mesin CNC, peralatan industri, dan banyak lagi, karena mereka memberikan perubahan gerakan yang efisien dan presisi. Adapun *rack and pinion* yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Rack and pinion*

(Sumber: Mott dkk., 2018)

2.10. *Pulley and belt*

Pulley adalah komponen mesin yang menggunakan sabuk (*belt*) untuk meneruskan daya dari satu poros ke poros yang lain. *Pulley* ini bekerja dengan mengubah arah gaya, mengirim gerak, dan mengubah arah rotasi (Choerullah dkk., 2022). *Pulley* juga memiliki fungsi untuk mentransmisikan daya dari penggerak menuju komponen yang digerakan, mereduksi putaran, mempercepat putaran, memperbesar torsi dan juga memperkecil torsi. Sabuk atau *belt* merupakan alat transmisi daya yang relatif sederhana jika dibandingkan dengan rantai dan roda gigi. *Belt* ditempatkan di dua puli atau lebih, di mana *Pulley* pertama bertindak sebagai penggerak sementara *Pulley* kedua berperan sebagai penyalur daya.

Pulley dan sabuk merupakan pasangan elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lainnya. Rasio kecepatan antara poros penggerak dan poros yang digerakkan ditentukan oleh perbandingan diameter *pulley* yang digunakan. Untuk mentransmisikan daya, *pulley* dihubungkan dengan sabuk, memanfaatkan gesekan antara permukaan *pulley* dan sabuk (Fitrayadi dkk., 2023). Adapun *pulley* dan *belt* dilihat pada Gambar 2.8 berikut ini:



Gambar 2.8. *Pulley and belt*

(Sumber: Hasanudin, 2023)

Berbagai jenis sabuk (*belt*) digunakan dalam sistem transmisi daya, masing-masing dirancang untuk memenuhi kebutuhan tertentu berdasarkan aplikasi, kapasitas daya, dan kondisi operasi. Pemilihan tipe sabuk yang tepat sangat penting untuk memastikan efisiensi, keandalan, dan umur panjang sistem. Berikut adalah penjelasan mengenai beberapa jenis sabuk yang umum digunakan dalam sistem mekanis.

2.10.1. *Round belts*

Sabuk ini terbuat dari *solid rubber* atau *rubber* dengan *cord* (Basuki dan Daryanto, 2022). *Belt* ini umumnya digunakan untuk alat-alat kecil, seperti mesin jahit atau konveyor kecil. *Belt* ini memiliki kelebihan fleksibel dan mudah dipasang serta cocok untuk aplikasi ringan. Adapun kekurangan dari *belt* ini yaitu tidak mampu mentransmisikan daya besar serta rentan selip pada beban tinggi.

2.10.2. *Flat belts* (sabuk datar)

Sabuk datar biasanya terbuat dari kulit atau kain berlapis karet (Mott dkk., 2018). Sabuk datar tidak berisik, efisien pada kecepatan tinggi, dan dapat menyalurkan daya dalam jumlah besar melalui jarak pusat yang jauh. Penggerak sabuk datar (*flat belt*) memiliki efisiensi sekitar 98%, yang hampir sama dengan penggerak roda gigi (Budynas dkk., 2021). Adapun kelebihan dari jenis sabuk ini yaitu cocok untuk jarak poros yang jauh dan mendukung kecepatan operasi yang tinggi. Kekurangan dari jenis sabuk ini ialah membutuhkan tegangan tinggi untuk mencegah slip dan kurang efisien untuk transmisi daya besar.

2.10.3. *V-belts*

Sabuk *V-belt* ini memiliki penampang berbentuk trapesium yang cocok dengan alur pada *pulley*, sehingga memberikan daya cengkram yang lebih baik. Sabuk jenis ini banyak digunakan khususnya dalam industri dan aplikasi kendaraan. Penggerak sabuk-V memiliki efisiensi berkisar antara 70-96% (Budynas dkk., 2021).

2.10.4. *Timing belt*

Timing belt ini memiliki gigi-gigi dipermukaannya yang cocok dengan alur *pulley* khusus, sehingga daya ditransmisikan tanpa selip. Sabuk semacam ini dapat beroperasi pada rentang kecepatan yang sangat luas, tidak memerlukan pelumasan, lebih tenang dari pada penggerak rantai, sehingga sabuk ini memiliki efisiensi dikisaran 97-98% (Budynas dkk., 2021). Adapun kelebihan dari sabuk ini yaitu presisi tinggi karena tidak ada selip dan cocok untuk sinkronisasi gerakan antar poros. Kekurangan dari jenis sabuk ini ialah hanya dapat digunakan dengan *pulley* khusus, dan lebih mahal serta membutuhkan perawatan lebih rumit.

2.10.5. *Banded V-belts*

Banded V-belts merupakan *multiple V-belt* yang dibentuk cetak permanen *tie band*. *Banded V-belts* berfungsi untuk mengurangi timbulnya masalah pada penggerak dimana *belts* melintir, bergeser, dan terlepas dari alurnya (Basuki dan Daryanto, 2022).

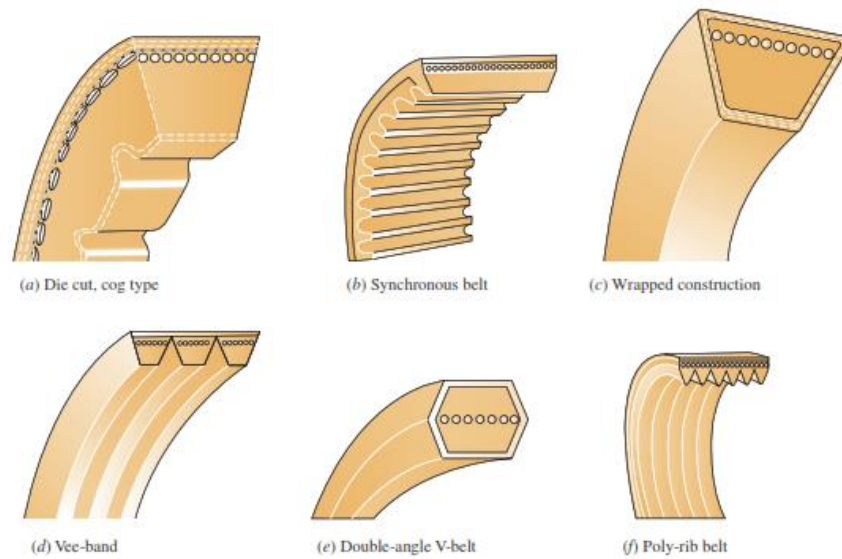
2.10.6. *Linked V-belts*

Linked V-belt dibentuk dari *multiple belt* yang disusun saling menyambung. Jenis *belt* ini digunakan untuk penggerak-penggerak besar dengan memiliki jarak *center* yang tetap (Basuki dan Daryanto, 2022). *Link* dapat ditambah atau dikurangi untuk mendapatkan panjang *belt* yang tetap.

2.10.7. *V-ribbed belts*

V-ribbed belts adalah gabungan alur luar berbentuk *V-belt* (Basuki dan Daryanto, 2022). Sebagaimana *V-belt* kemampuan memindahkan daya (*power*) tergantung pada aksi jepit antara alur dan *belt*.

Setiap jenis sabuk memiliki bentuk dan karakteristik unik yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik, seperti kapasitas daya, kecepatan, dan kondisi operasional. Adapun Gambar 2.9. jenis-jenis sabuk (*belt*) yang umum digunakan.

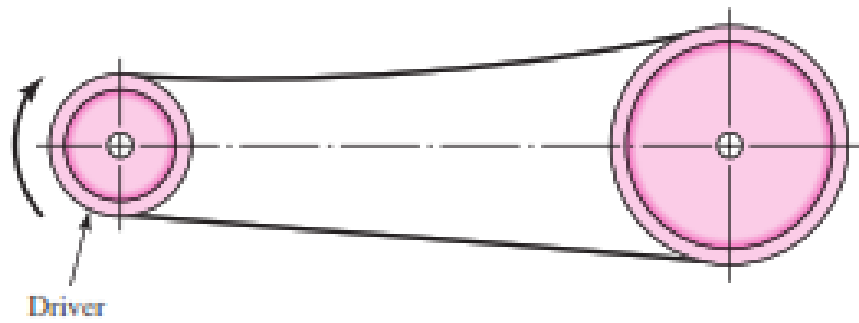


Gambar 2.9. Bentuk konstruksi *belt*

(sumber: Mott dkk., 2018)

Adapun penggerak sabuk yang dapat dibedakan berdasarkan arah rotasi, pengaturan sabuk, dan aplikasinya, yaitu sebagai berikut:

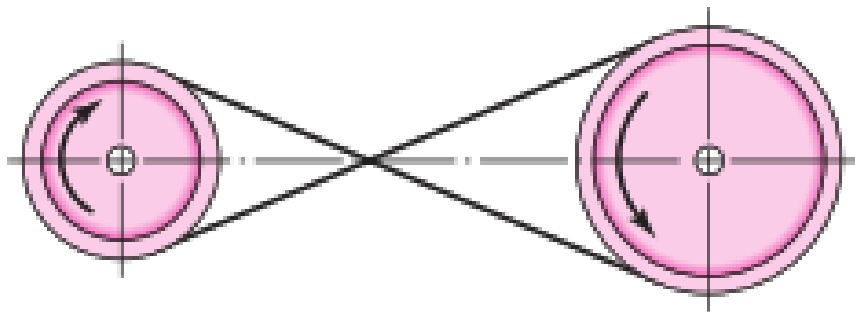
1. *Open belt drive* (transmisi sabuk terbuka), sistem sabuk terbuka ini terdiri dari dua *pulley* yang terhubung langsung dengan sabuk yang berjalan lurus tanpa adanya persilangan. Dalam penggerak ini, arah putaran pada *pulley* penggerak dan *pulley* yang digerakkan selalu sama (*non-reversing*). Sistem ini umumnya digunakan untuk transmisi daya dengan kecepatan tetap dalam satu arah rotasi. Kelebihannya ialah sistem ini efektif dalam mentransmisikan daya dengan sedikit gesekan, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan kecepatan tetap dalam satu arah. Kekurangannya ialah rentan terhadap selip karena sabuk bergerak dengan gaya gesek pada *pulley*, selip dapat terjadi jika tegangan tidak cukup besar. Adapun *Open belt drive* yang dapat dilihat pada Gambar 2.10. berikut ini:



Gambar 2.10. *Open belt drive*

(Sumber: Budynas dkk., 2021)

2. *Cross belt drive* (transmisi sabuk tertutup), dalam penggerak sabuk silang, sabuk ditempatkan dalam posisi silang, yang menyebabkan arah rotasi *pulley* penggerak dan *pulley* yang digerakkan berlawanan. Oleh karena itu, sabuk ini memungkinkan perubahan arah rotasi (*reversing*). Kelebihannya ialah memungkinkan pemindahan daya dengan fleksibilitas dalam arah rotasi yang berlawanan. Adapun *cross belt drive* yang dapat dilihat pada Gambar 2.11. berikut ini:

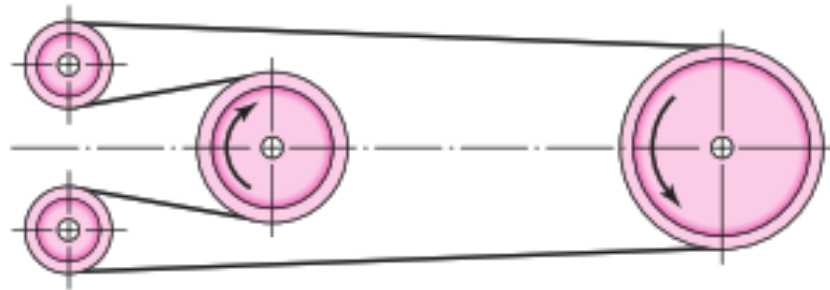


Gambar 2.11. *Cross belt drive*

(Sumber: Budynas dkk., 2021)

3. *Reversing open belt drive* (penggerak sabuk terbalik), sistem ini digunakan dalam aplikasi yang memerlukan perubahan arah rotasi, seperti pada kendaraan bermotor atau alat industri yang membutuhkan arah berlawanan untuk pengoperasian tertentu. Kelebihannya ialah dapat mentransmisikan daya dan memungkinkan perubahan arah rotasi, ideal untuk aplikasi yang membutuhkan kemampuan berputar dalam dua arah. Kekurangannya ialah sistem ini kurang efisien pada kecepatan

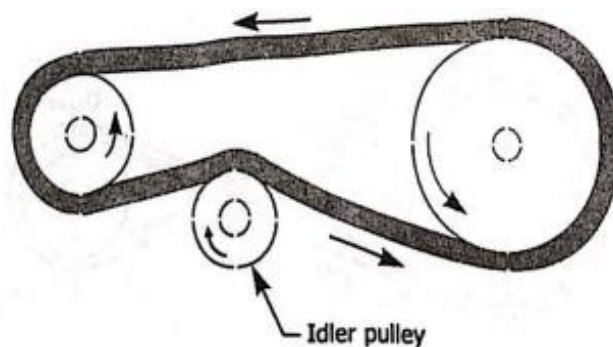
tinggi dibandingkan dengan sistem penggerak sabuk dengan desain lebih kompleks. Adapun *reversing open belt drive* yang dapat dilihat pada Gambar 2.12. berikut:



Gambar 2. 12. *Reversing open belt drive*

(Sumber: Budynas dkk., 2021)

4. *Belt drive with idler pulley*, merupakan jenis penggerak sabuk yang menggunakan *idler pulley* (puli pemalas). *Idler pulley* berfungsi untuk mengubah arah sabuk atau memberikan ketegangan yang diperlukan agar sabuk tetap bekerja dengan baik. *Idler pulley* tidak langsung terhubung ke poros penggerak atau yang digerakkan, melainkan berfungsi sebagai puli tambahan untuk mengarahkan, menegangkan, atau mendukung sabuk dalam sistem. Adapun *belt drive with idler pulley* yang dapat dilihat pada Gambar 2.13. berikut ini:

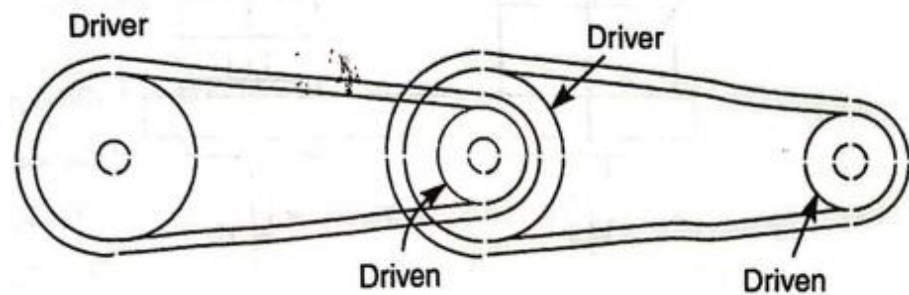


Gambar 2.13. *Belt drive with idler pulley*

(Sumber: Basuki dan Daryanto, 2022)

5. *Compound belt drive*, sistem ini biasanya digunakan ketika dibutuhkan lebih dari satu sambungan transmisi puli. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kecepatan yang tidak bisa dibuat dengan satu kali rasio

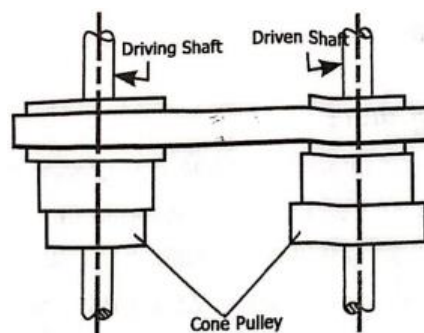
(Basuki dan Daryanto, 2022). Adapun *compound belt drive* yang dapat dilihat pada Gambar 2.14. berikut ini:



Gambar 2.14. *Compound belt drive*

(Sumber: Basuki dan Daryanto, 2022)

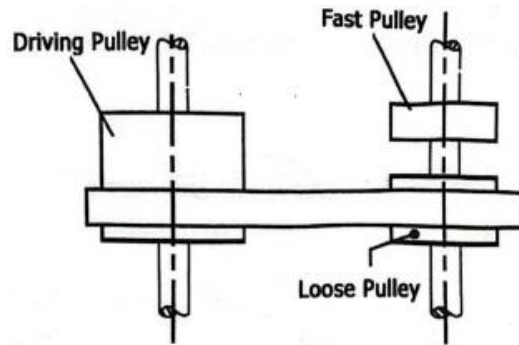
6. *Stepped or cone pulley*, sabuk jenis ini digunakan agar transmisi sabuk dapat diubah rasio kecepatannya. Sistem transmisi ini biasanya ada di mesin-mesin produksi seperti mesin bor atau mesin frais (*milling*) (Basuki dan Daryanto, 2022). Adapun *stepped or cone pulley* yang dapat dilihat pada Gambar 2.15. berikut ini:



Gambar 2.15. *Stepped or cone pulley*

(Sumber: Basuki dan Daryanto, 2022)

7. *Fast and loose pulley drive*, adalah jenis sistem transmisi daya menggunakan sabuk yang dirancang untuk menghidupkan atau mematikan transmisi daya tanpa perlu menghentikan mesin utama. Sistem ini menggunakan dua puli utama: puli cepat (*fast pulley*) dan puli longgar (*loose pulley*), yang terpasang pada poros yang sama. Adapun *fast and loose pulley drive* yang dapat dilihat pada Gambar 2.16. berikut:



Gambar 2.16. *Fast and loose pulley drive*

(Sumber: Basuki dan Daryanto, 2022)

Perencanaan sistem *belt* dan *pulley* membutuhkan berbagai perhitungan teknis untuk memastikan sistem dapat bekerja dengan efisien dan andal. Setiap perhitungan memiliki peran penting dalam menentukan performa, daya tahan, dan efisiensi sistem transmisi daya. Berikut ini adalah penjelasan mengenai perhitungan utama dalam perencanaan *belt* dan *pulley*.

1. Rasio perbandingan *pulley*

Adapun persamaan untuk menghitung besarnya rasio perbandingan *pulley* dapat menggunakan persamaan (15) berikut ini (Herdiana dan Maulani, 2023):

$$R = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \geq 1 \dots \dots \dots (15)$$

2. Dimensi *pulley*

Adapun persamaan untuk menghitung besarnya rasio perbandingan *pulley* dapat menggunakan persamaan (16) berikut ini (Herdiana dan Maulani, 2023):

$$\emptyset = P \times L \times T \dots \dots \dots (16)$$

3. Panjang *belt*

Adapun persamaan untuk menghitung besarnya rasio perbandingan *pulley* dapat menggunakan persamaan (17) berikut ini (Herdiana dan Maulani, 2023):

$$L_b = 2C + \frac{\pi}{2}(dp + Dp) + \frac{1}{4c}(dp + Dp)^2 \dots \dots \dots (17)$$

Secara umum, sistem transmisi *pulley* dan sabuk digunakan saat kecepatan rotasi berada dalam kisaran 10-60 m/s. Jika kecepatannya lebih rendah, tegangan tarik pada sabuk dapat menjadi terlalu besar untuk beberapa jenis sabuk. Sebaliknya, pada kecepatan yang lebih tinggi, gaya sentrifugal berpotensi membuat sabuk terlepas dari *pulley*, sehingga menurunkan kapasitas torsi, efisiensi, dan masa pakai sabuk.

2.11. *Bearing*

Bearing adalah komponen mesin yang menumpu poros berbeban sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya halus, aman, dan tahan lama (Firdausi, 2013). Bantalan, juga dikenal sebagai *bearing*, adalah elemen mesin yang sering digunakan untuk menumpu poros yang memikul beban dengan tujuan untuk memisahkan bagian yang berputar dengan bagian yang diam agar putaran atau gesekan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus (Zulpani dkk., 2021). Bantalan dirancang sedemikian rupa sehingga memungkinkan poros dan elemen mesin lainnya bekerja dengan baik dan diharapkan dapat memikul berbagai jenis beban, seperti beban radial, beban aksial, dan beban kosong.

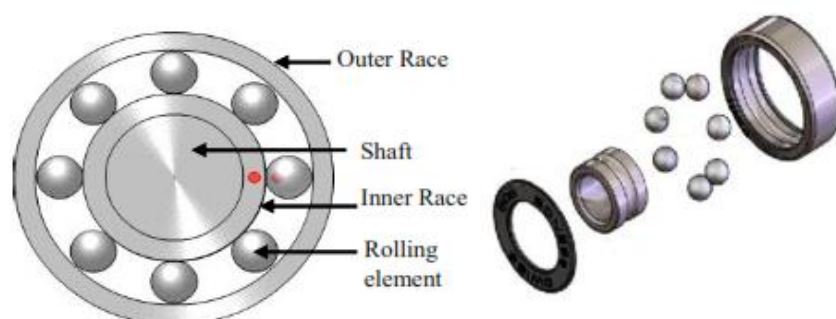
Berdasarkan arah beban yang diterima oleh elemen tersebut, bantalan dapat dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu:

1. Bantalan radial, yang menahan beban dengan arah tegak lurus terhadap sumbu poros.
2. Bantalan aksial, yang menahan beban dengan arah sejajar dengan sumbu poros.
3. Bantalan kombinasi, yang mampu menahan beban radial dan aksial.

Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros, bantalan dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu:

1. Bantalan luncur, pada bantalan ini terjadi gesekan geser antara poros dan bantalan karena permukaan poros bertumpu pada permukaan bantalan yang dipisahkan oleh lapisan pelumas.
2. Bantalan gelinding, pada bantalan ini terjadi gesekan bergulir antara bagian yang berputar dan yang diam melalui elemen pengguling seperti bola, rol, atau rol bulat.

Mekanisme *ball bearing*, putaran *shaft* akan diteruskan ke *inner race* karena pemasangan *shaft* dan *inner race* dilakukan dengan cara dipasang rapat. Rotasi *inner race* akan menggerakkan bola di sepanjang dinding *inner race*, sehingga bola tersebut akan bergulir sepanjang jalur antara dinding luar *inner race* dan dinding dalam *outer race*. Kecepatan gerak bola, *inner race*, dan *outer race* tidak bersifat linier, sehingga pada beberapa titik, bola dapat berputar atau bergeser saat melintas. Gerakan bola yang berlangsung sepanjang lintasan dapat menyebabkan keausan pada dinding luar *inner race*, dinding dalam *outer race*, serta pada permukaan luar bola itu sendiri. Keausan yang terjadi pada dinding tidak terjadi secara merata, sehingga gerakan putar antara *shaft* dan *inner race* menjadi eksentrik dan tidak stabil pada porosnya (Subardi, 2009). Kondisi ini akan menyebabkan timbulnya getaran dan suara berisik. Adapun komponen dari *ball bearing* dapat dilihat pada Gambar 2.17. berikut ini:



Gambar 2.17. Komponen *ball bearing*

(Sumber: Subardi, 2009)

Adapun kerusakan pada *ball bearing* meliputi kerusakan lokal, seperti goresan atau lubang pada lintasan dalam, lintasan luar, dan bola. Kerusakan ini terdistribusi, sehingga gaya kontakannya berubah secara bertahap karena ketidakbulatan lintasan luar dan lintasan dalam, ketidaksamaan sumbu, antara sumbu lintasan luar dan lintasan dalam, dan ketidaksamaan dimensi bola. Adapun kerusakan yang disebabkan oleh kekentalan pelumas. Pelumas dengan kekentalan yang sesuai membentuk lapisan film, yang kuat pada celah bantalan, yang berfungsi untuk mengurangi gesekan dan kebocoran. Kontaminasi dan kerusakan aditif *polymer* juga dapat menyebabkan kekentalan pelumas mesin menjadi lebih kental karena panas dan oksidasi (Subardi, 2009).

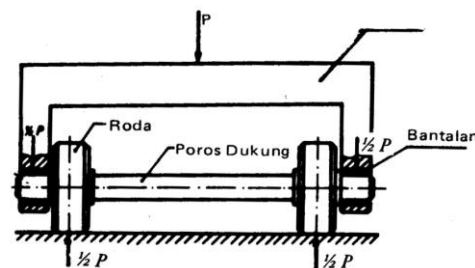
Dalam memilih bantalan (*bearing*), penting untuk memahami sifat-sifat yang perlu diperhatikan guna memastikan bahan yang digunakan sesuai dengan kebutuhan dan memberikan kinerja optimal. Berikut adalah sifat-sifat bantalan yang perlu dipertimbangkan: (Basuki dan Daryanto, 2022)

1. Tahan tekanan, bahan bantalan harus memiliki kekuatan tekan yang tinggi untuk menahan tekanan maksimum sehingga ekstrusi dan deformasi permanen pada bantalan.
2. Kekuatan *fatigue*, bahan bantalan harus memiliki kekuatan yang tinggi sehingga terjadi beban berulang tidak menghasilkan retak pada material.
3. *Conformability*, yaitu kemampuan bahan bantalan untuk mengakomodasi lendutan poros dan ketidakakuratan bantalaan oleh deformasi plastik (*creep*).
4. *Embeddability*, yaitu kemampuan bahan bantalan untuk mengakomodasikan partikel kecil dari debu, pasir dll.
5. Tahan korosi, bahan bantalan tidak boleh menimbulkan korosi akibat pelumasan. Komponen ini sangat penting di dalam mesin pembakaran dimana pelumas yang sama digunakan untuk melumasi dinding silinder dan bantalan. Di dalam silinder, pelumas dapat saja teroksidasi dan menghasilkan suatu endapan karbon.

6. Konduktivitas termal, bahan bantalan harus memiliki konduktivitas panas yang tinggi sehingga memungkinkan perpindahan panas yang cepat.
7. Ekspansi termal, bahan bantalan harus memiliki ekspansi termal rendah, sehingga ketika bekerja dengan suhu yang berbeda-beda tidak ada perubahan bahan yang diakibatkan perubahan suhu.

2.12. Poros

Poros adalah batang logam berpenampang lingkaran yang mendukung beban atau memindahkan putaran dengan atau tanpa meneruskan daya. Poros ditahan oleh dua atau lebih pemegang poros atau bantalan poros, dan mereka memiliki bagian berputar yang mendukung poros, seperti roda gigi, roda ban, roda gesek, roda daya, dll. (Firdausi, 2013). Poros adalah bagian dari alat mekanis yang berfungsi untuk mengirimkan gerak berputar dan daya (Mananoma dkk., 2018). Biasanya poros berbentuk silindris, poros adalah elemen yang tetap namun berputar, tempat dipasangnya berbagai elemen seperti roda gigi, puli, roda gila (*flywheel*), engkol, sproket, dan komponen penggerak lainnya. Poros dapat menahan lenturan, tarikan, tekanan, atau torsi, yang bisa beroperasi secara individu atau saling berhubungan satu sama lain. Adapun sistem poros dengan bantalan dan pembagian beban yang dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Sistem poros dengan bantalan dan pembagian beban

(Sumber: Firdausi, 2013)

Berdasarkan pembebanannya poros dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu poros transmisi, poros *spindle*, dan poros gandar.

1. Poros transmisi, adalah jenis poros yang menerima beban torsi (puntir), beban lentur murni, atau kombinasi dari keduanya, yaitu torsi dan lentur.
2. Poros *spindle*, adalah poros transmisi berukuran lebih pendek yang hanya menerima beban torsi, seperti yang digunakan pada mesin perkakas.
3. Poros gandar, adalah poros yang tetap diam dan tidak berputar, sementara yang berputar adalah rodanya, seperti yang umum ditemukan pada roda kereta api.

Berdasarkan prinsipnya terdapat dua jenis pembebanan pada poros, yaitu pembebanan puntir akibat torsi dan pembebanan lentur (*bending*) akibat beban transversal pada roda gigi, puli, atau sproket. Beban ini juga dapat berupa kombinasi dari keduanya. Karakteristik pembebanan yang terjadi dapat bersifat konstan, berubah-ubah seiring waktu, atau merupakan kombinasi dari keduanya.

Poros biasanya terbuat dari baja yang memiliki kekuatan tinggi terhadap puntiran dan lenturan serta mampu menahan beban yang berubah-ubah (Firdausi, 2013). Baja sering dipilih karena memiliki modulus elastisitas yang tinggi, sehingga memberikan ketahanan yang baik terhadap defleksi (Mananoma dkk., 2018). Besi cor nodular digunakan ketika roda gigi atau komponen lain terpasang pada poros. Perunggu dan *stainless steel* digunakan untuk aplikasi di laut atau lingkungan yang korosif. Baja yang diproses dengan teknik *hardening* melalui atau *case hardened steel* sering digunakan pada poros yang juga berfungsi sebagai jurnal pada *sleeve bearing*. Poros yang biasa digunakan untuk putaran tinggi dan beban yang berat pada umumnya terbuat dari baja paduan (*alloy steel*) dengan proses pengerasan kulit (*case hardening*) sehingga tahan terhadap keausan, seperti baja khrom, baja khrom nikel dll. (Basuki dan Daryanto, 2022).

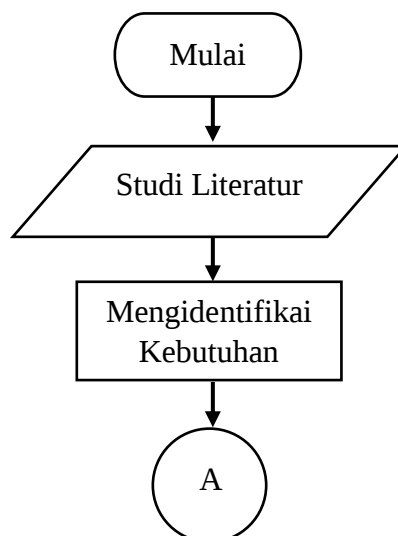
III. METODOLOGI PENELITIAN

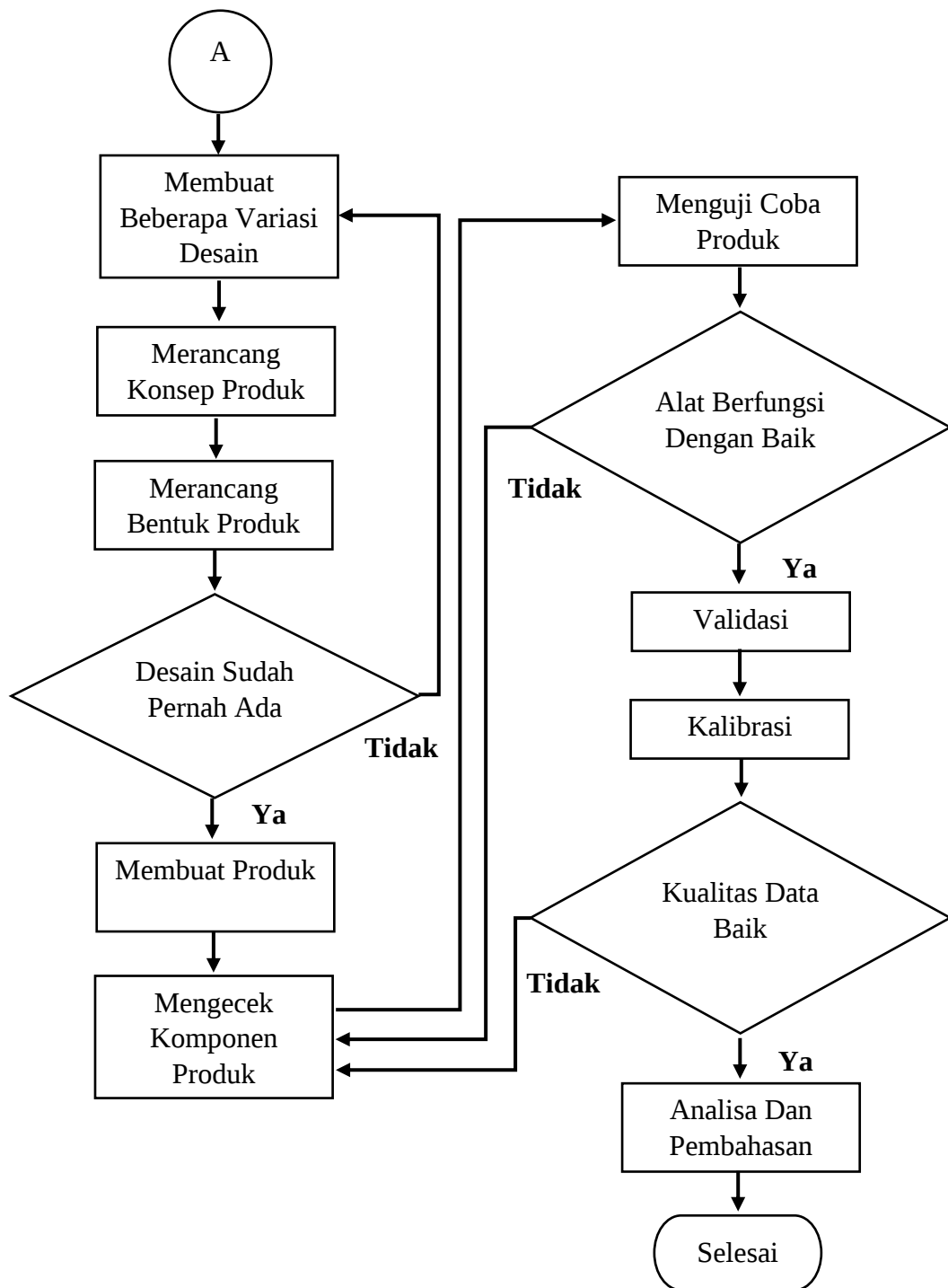
3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang dimulai dari bulan April 2024 sampai dengan bulan November 2024.

3.2. Alur Penelitian

Adapun alur pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini:





Gambar 3.1. Flow chart penelitian

3.3. Tahapan Perancangan

Terdapat beberapa tahapan perancangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi kebutuhan

Berdasarkan tema atau topik penelitian ini ialah pemanfaatan energi laut sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan. Ada beberapa macam potensi energi yang dapat dimanfaatkan dari laut seperti energi pasang surut air laut, gelombang laut, arus laut, dan energi panas laut. Pada penelitian ini potensi energi laut yang dimanfaatkan ialah energi yang diperoleh dari gelombang laut. Gelombang laut dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi baru terbarukan. Energi terbarukan ini merupakan suatu energi non fosil yang dapat diperbaharui, dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama, serta energi terbarukan ini ramah lingkungan. Pemanfaatan energi terbarukan ini perlu dilakukan karena mengingat energi listrik yang dipakai saat ini diperoleh dari fosil yang dimana persediaannya semakin menipis, sehingga energi fosil ini tidak dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

2. Morfologi desain

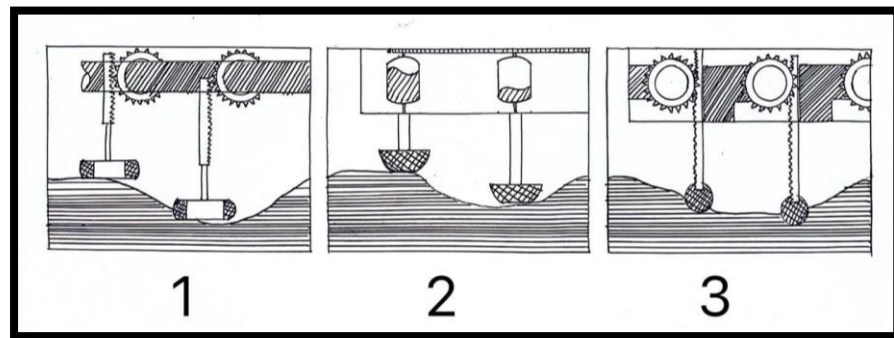
Terdapat beberapa rancangan konsep dari mesin pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) yang dapat dilihat pada Table 3.1.

Tabel 3.1. Morfologi desain

No	Kebutuhan	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
1.	Transmisi	Hidrolik	<i>Freewheel gear dan poros</i>	<i>Freewheel gear dan pulley</i>
2.	Pelampung	Tabung	Bola	Perahu
3.	Penghubung pelampung degan transmisi	Poros <i>stainless steel 10 mm</i>	<i>Hollow stainless steel 10x10 mm</i>	<i>Rack gear</i>

3. Perancangan konsep produk (*conceptual design*)

Berdasarkan Tabel 3.1. Morfologi desain didapatkan beberapa varian konsep desain yang dapat digunakan. Berdasarkan beberapa konsep desain yang diperoleh terdapat perbedaan pada bagian sistem transmisi, bentuk pelampung serta bagian penghubung pelampung dengan transmisi. Pada konsep desain 1 menggunakan sistem transmisi *freewheel gear* dan poros, kemudian untuk pelampungnya berbentuk tabung, dan untuk bagian penghubung pelampung dengan transmisi menggunakan poros berdiameter 10 mm. Pada konsep desain 2 menggunakan transmisi hidrolik, kemudian untuk pelampungnya berbentuk perahu, dan untuk bagian penghubung pelampung dengan transmisi menggunakan *hollow stainless steel* 10x10 mm. Pada konsep desain 3 menggunakan transmisi *freewheel gear* dan *pulley*, kemudian untuk pelampungnya berbentuk bola, dan untuk bagian penghubung pelampung dengan transmisi menggunakan *rack gear*. Adapun beberapa konsep desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) yang dapat dilihat pada Gambar 3.2. berikut ini:

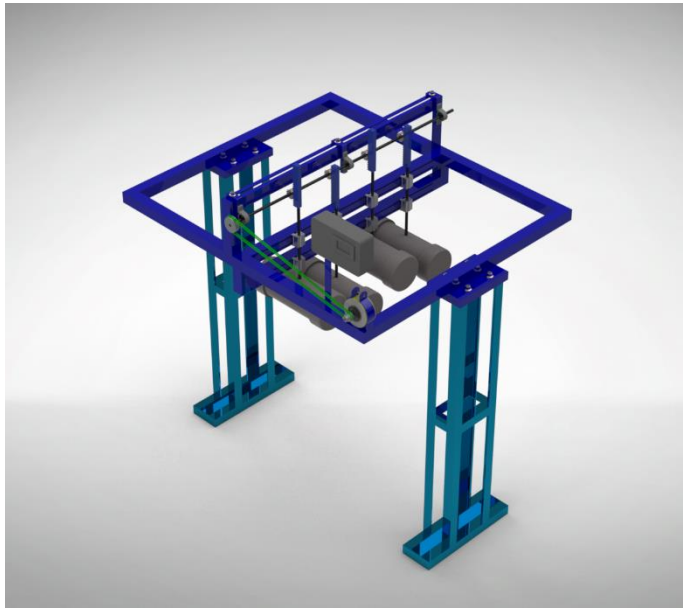


Gambar 3.2. Sketsa pembangkit listrik tenaga gelombang laut

4. Perancangan bentuk produk (*embodiment design*)

Berdasarkan beberapa konsep desain yang diperoleh, konsep desain 1 sepertinya lebih cocok untuk digunakan. Konsep desain 1 ini cocok digunakan karena belum adanya alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dengan menggunakan sistem transmisi *freewheel gear* dan poros. Prinsip kerja dari alat ini adalah memanfaatkan gerakan naik turunnya pelampung yang diperoleh dari

gelombang laut, sehingga menggerakkan *freewheel gear* yang menyatu dengan sebuah poros. Pada poros ini terdapat sebuah *pulley* yang berfungsi untuk menggerakkan generator yang dihubungkan dengan *belt* untuk menghasilkan listrik. Berikut desain model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Desain model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah

3.4. **Komponen peralatan model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah**

Adapun komonen peralatan yang digunakan pada model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah antarlain sebagai berikut:

3.4.1. Generator

Generator merupakan sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi

elektromagnetik. Adapun generator listrik yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Generator

Adapun spesifikasi dari genenrator yang diperoleh dari buku panduan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.2. Spesifikasi generator

Spesifikasi	Data
Model	4681A20091U
Jenis generator	DC
Tegangan	310V
Arus	200 mA
Kecepatan	1.400 RPM
Torsi	3 GF.CM
Resistensi	120 Ω

3.4.2. Rangka

Rangka berfungsi untuk menopang berbagai komponen model pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Kontruksi rangka

bertugas mendukung beban atau gaya yang bekerja pada sebuah sistem tersebut. Beban tersebut harus ditumpu dan diletakan pada peletakan-peletakan tertentu agar dapat memenuhi tugasnya.

3.4.3. *Pillow block bearing*

Pillow block bearing berfungsi untuk mendukung poros yang berputar dengan beban radial dan beban aksial ringan dalam berbagai aplikasi. Adapun *pillow block bearing* yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. *Pillow block bearing*

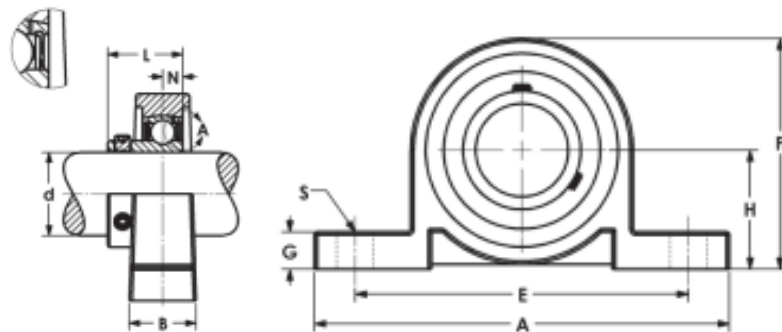
Adapun spesifikasi dari *pillow block bearing* yang diperoleh dari buku panduan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.3. Spesifikasi *pillow block bearing*

<i>Spesification</i>		Data
<i>Standard part no.</i>		KP000-1-MM
<i>Corrosion resistant part no.</i>		KP000-1-MM-CR
<i>Shaft size d</i>	mm	10
	in	-
<i>Dimensions</i> (mm)	A	67
	B	16
	E	53
	F	35

	G	6
	H	18
	L	14
	N	4
	S	7
<i>Bolt size mm</i>		M 6
<i>Standard bearing no.</i>		K000-10MM
<i>Stainless bearing No.</i>		K000-10MM-CR
<i>Housing no.</i>		P000
<i>Wt. Kg</i>		0.1

Adapun gambar 2D dari *pillow block bearing* yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. 2D *Pillow block bearing*

3.4.4. Poros

Poros merupakan komponen vital dalam setiap mesin yang bertanggung jawab untuk mentransfer daya dan putaran. Adapun poros yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Poros

Adapun spesifikasi dari poros yaitu sebagai berikut:

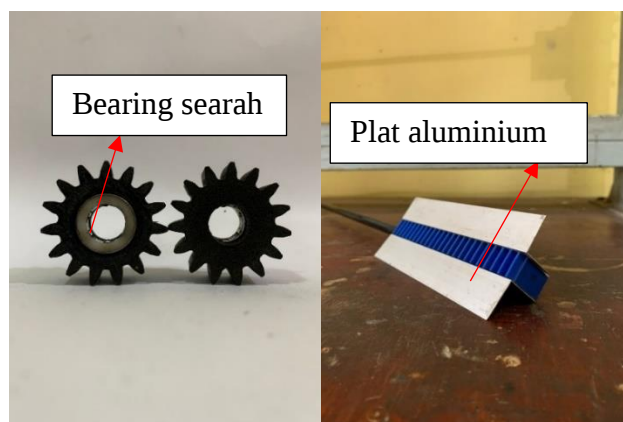
Tabel 3.4. Spesifikasi poros

Spesifikasi	Data
Panjang	1000 mm
Diamter luar	10 mm
Diamter dalam	8 mm

3.4.5. *Rack and pinion*

Rack and pinion adalah sebuah mekanisme yang digunakan untuk mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linier, atau sebaliknya.

Adapun *rack and pinion* yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.

Gambar 3.8. *Rack and pinion*

Rack and pinion ini dibuat menggunakan teknologi *3D printing*. *3D printing* merupakan di mana objek padat 3D dari berbagai bentuk atau geometri dapat dibuat dari *file digital*. Proses pencetakan dimulai dengan pembuatan model 3D menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD). Model ini kemudian diubah menjadi serangkaian lapisan tipis melalui proses yang disebut *slicing*. Printer 3D akan mencetak lapisan demi lapisan material, yang dapat berupa plastik, logam, atau bahan lainnya, sesuai dengan instruksi dari model digital.

Rack and pinion ini terbuat dari bahan PLA+ (*Polylactic Acid Plus*). Bahan PLA+ memiliki kelebihan ramah lingkungan karena terbuat dari bahan alami, hasil cetakan cenderung memiliki permukaan yang lebih halus dan detail yang baik, kemudahan pencetakan dan dapat dicetak pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan filamen lainnya. Adapun spesifikasi dari bahan PLA+ (*Polylactic Acid Plus*) yang diperoleh dari buku panduan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.5. Spesifikasi PLA+ (*Polylactic Acid Plus*)

Kategori	Parameter	Data
Kepatutan mekanis	Kepadatan	1,23 gram/cm ³
	Daya tarik	63 Mpa
	Perpanjangan saat istirahat	20%
	Kekuatan lentur	74 Mpa
	Modulus lentur	1973 Mpa

	Kekuatan dampak izod	9 kJ/m ²
	Daya tahan	4/10
	Kemampuan mencetak	9/10
Kepatuhan termal	Suhu distorsi panas	53 °C, 0,45 Mpa
	Indeks aliran leleh	5 g/10 menit (190°C/2,16kg)
Parameter pencetakan 3d	Suhu ekstruder	210 – 230°C (Suhu yang disarankan 215°C)
	Suhu tempat tidur	45 – 60°C
	Kecepatan kipas	100%
	Kecepatan pencetakan	40 – 100 mm/detik
	Permukaan bangunan yang direkomendasikan	Kertas masking, lem padat PVP, PEI

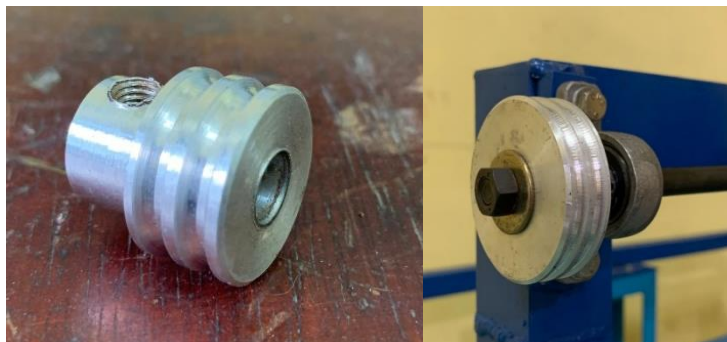
Pada bagian *rack* terdapat plat di sisi sampingnya yang berfungsi sebagai penahan *pinion* agar *pinion* tidak bergeser. Dan pada bagian pinionnya terdapat *bearing* searah. *Bearing* searah adalah jenis *bearing* (bantalan) yang dirancang untuk menahan beban hanya dalam satu arah atau satu sisi, baik untuk gaya aksial (sejajar dengan sumbu putar) maupun gaya radial (tegak lurus terhadap sumbu putar). *Bearing* ini memungkinkan rotasi bebas pada arah tertentu tetapi membatasi atau menahan beban di arah berlawanan. Adapun spesifikasi dari *bearing* searah ini yang diperoleh dari buku panduan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.6. Spesifikasi *bearing* searah

Spesifikasi	Data
No. model	EWC 1008
Diameter luar	16 mm
Diameter dalam	10 mm
Tebal	8 mm

3.4.6. *Pulley and belt*

Pulley adalah komponen mesin yang berperan dalam mentransfer daya dari satu poros ke poros lainnya menggunakan sabuk. *Pulley* bekerja dengan mengubah arah gaya yang diberikan, mengirim gerak dan mengubah arah rotasi. *Belt* ditempatkan di dua puli atau lebih, di mana *Pulley* pertama bertindak sebagai penggerak sementara *Pulley* kedua berperan sebagai penyalur daya. Adapun *pulley* dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini:

Gambar 3.9. *Pulley*

Belt yang digunakan ialah *bancord polyurethane (roundbelt)*, yang memiliki ketahanan tinggi terhadap abrasi dan aus, serta ramah lingkungan. *Pulley* yang digunakan terbuat dari bahan aluminium, hal ini dikarenakan memiliki bobot yang ringan. Adapun *belt* yang dapat dilihat pada Gambar 3.10.

Gambar 3.10. *Belt*

Adapun spesifikasi dari *pulley* dan *round belt* yang tertera pada Tabel 3.7. dan Tabel 3.8.

Tabel 3.7. Spesifikasi *pulley*.

Kategori	Spesifikasi		Jumlah alur
	Diameter luar (mm)	Diameter dalam (mm)	
<i>Pulley 1</i>	51	10	2
<i>Pulley 2</i>	25	8	2

Tabel 3.8. Spesifikasi *round belt*

<i>Parameter</i>	<i>Value</i>
<i>Material</i>	<i>Thermoplastic Polyurethane (TPU)</i>
<i>Color</i>	<i>Green</i>
<i>Hardness</i>	90 Shore A
<i>Diameter</i>	4 mm / 0.16 inch
<i>Weight per length</i>	0.02 kg/m / 0.01 lbs/ft
<i>Tensile force for 8% elongation (k8% static)</i>	32 N / 7 lbf

<i>Tensile force for 8% elongation after relaxation (k8% relaxed)</i>	24 N / 5 lbf
<i>Nominal peripheral force</i>	41 N / 9 lbf
<i>Min. operating temperature (continuous)</i>	-20 °C / -4 °F
<i>Max. operating temperature (continuous)</i>	50 °C / 122 °F
<i>Coefficient of friction on steel</i>	0.4

3.4.7. *Linier bearing*

Linear bearing ini berfungsi untuk mengurangi gesekan dan memungkinkan poros atau *rail* untuk bergerak secara bebas dalam satu arah linier. Adapun *linier bearing* yang dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Linear bearing*

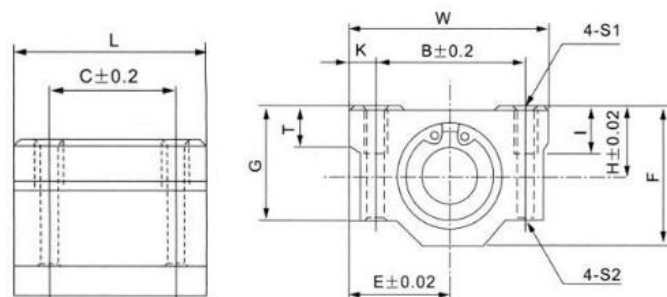
Adapun spesifikasi dari *linier bearing* yang diperoleh dari buku panduan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.9. Spesifikasi *linier bearing*

Parameter	Data
<i>Shaft diameter</i>	10 mm
W	40 mm
L	35 mm

F	26 mm
<i>Built-in bearing</i>	LM10UU
<i>Seal</i>	2RS
<i>Balls material</i>	<i>Chrome steel</i>
<i>Rolling element material</i>	<i>Chrome steel</i>
<i>Cage material</i>	<i>Resin, steel</i>
<i>Outer covering material</i>	<i>Aluminum alloy</i>
<i>Product weight</i>	0.092 kg

Adapun gambar 2D dari *linier bearing* yang dapat dilihat pada Gambar 3.12. berikut ini:



Gambar 3.12. 2D *linier bearing*

3.4.8. Pelampung

Pelampung pada alat ini terbuat dari pipa PVC. Pipa PVC adalah pipa yang terbuat dari polivinil klorida (PVC), sebuah jenis plastik yang tidak mudah terkorosi, memiliki bobot yang ringan, dan dapat dipasang dengan mudah. Pipa PVC tersedia dalam berbagai ukuran dan bentuk, dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti sistem penyediaan air bersih, pembuangan air limbah, irigasi, drainase, serta berbagai proyek konstruksi lainnya. Pipa PVC memiliki keunggulan dalam ketahanan terhadap korosi, bobot yang

ringan, biaya yang relatif rendah, dan kemudahan pemasangan. Adapun pelampung yang dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Pelampung

Adapun spesifikasi dari pelampung yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.10. Spesifikasi pelampung

Parameter	Data
Diameter	101,6 mm
Panjang	300 mm
Berat	1018 g

3.4.9. Kotak *display*

Kotak *display* berfungsi sebagai wadah yang dirancang untuk menampung dan mengorganisasi beberapa komponen, sehingga memudahkan untuk melihat, mengakses, serta menjaga kerapian dan keamanan dari beberapa komponen. Ada beberapa komponen yang terdapat di dalam kotak *display* tersebut, yaitu sebagai berikut:

- Shunt*, adalah sebuah resistor dengan nilai resistansi yang sangat rendah, digunakan untuk mengukur arus listrik dengan cara mendeteksi penurunan tegangan (*voltage drop*) yang terjadi saat arus melewati resistor tersebut.

- b. Lampu LED, adalah lampu yang digunakan untuk memberikan sinyal visual atau indikasi tentang status atau kondisi suatu sistem, perangkat, atau alat.
- c. *Digital power meter*, merupakan modul sensor tegangan dan arus DC yang digunakan untuk memantau parameter listrik, seperti tegangan (*voltage*), arus (*current*), daya (*power*) dan energi.
- d. Sensor tegangan DC, ialah perangkat yang digunakan untuk mengukur dan mendeteksi tegangan listrik DC. Adapun spesifikasi dari sensor tegangan DC yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.11. Spesifikasi sensor tegangan DC

Parameter	Data
Dimensi	28×14×13 mm (p×l×t)
Berat	4 g
Rentang tegangan input	DC 0 to 25 V
Rentang deteksi tegangan	DC 0,02445 V to 25 V
Resolusi tegangan analog	0,00489 V

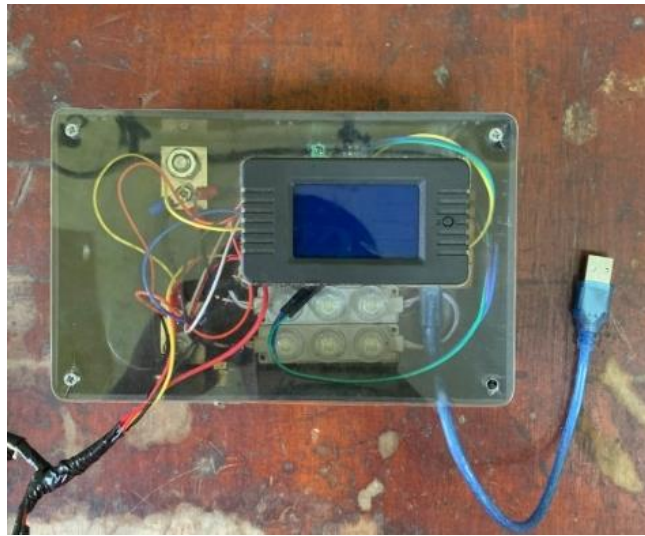
- e. Sensor arus 5A, Sensor ini bekerja dengan prinsip *hall effect*, yang memungkinkan pengukuran arus tanpa memerlukan sambungan langsung ke rangkaian. Ini membuatnya aman dan efektif untuk aplikasi dalam berbagai proyek elektronik. Adapun spesifikasi dari sensor arus 5A yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.12. Spesifikasi sensor arus 5A

Parameter	Data
Dimensi	31×13×14 mm (p×l×t)

Berat	3 g
Tegangan suplai	4,5V~5,5V DC
Rentang deteksi arus	-5A~5A
sensitivitas	185 mV/A

- f. Arduino, ialah sebuah mikrokontroler yang dapat diprogram untuk mengontrol berbagai perangkat elektronik.



Gambar 3. 14. Kotak display

3.5. Peralatan Eksperimen

Adapun peralatan yang digunakan untuk eksperimen pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Media pembangkit gelombang

Alat ini merupakan alat yang dapat menghasilkan gelombang air yang frekuensinya dapat divariasikan. Alat ini merupakan peralatan pengujian yang sangat penting, karena gelombang air yang dihasilkan merupakan sumber utama untuk membangkitkan listrik. Adapun media pembangkit gelombang yang dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Media pembangkit gelombang

2. Avometer (multitester)

Avometer (multitester) adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur daya listrik yang dihasilkan dari model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah. Selain itu avometer ini juga berfungsi untuk mengkalibrasi hasil tegangan (V) dan arus (A) yang keluar dari generator. Adapun avometer dapat dilihat pada Gambar 3.16. berikut ini:



Gambar 3.16. Avometer (multitester)

3. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah

Berikut model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah yang dapat dilihat pada Gambar 3.17. berikut ini:



Gambar 3.17. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah

4. Laptop
5. *Software* Arduino
6. Kunci pas ring 12 mm

3.6. Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan data gelombang pada media pembangkit gelombang yang ada di Laboratorium Mekanika Struktur Universitas Lampung. Variasi data gelombang ini dilakukan untuk menganalisis nilai efisiensi energi yang diperoleh dari model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah. Saat melakukan eksperimen penelitian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali di setiap variasi data gelombang, kemudian di rata-ratakan. Proses pengambilan data dilakukan selama 1 menit dalam satu kali eksperimen. Setelah memperoleh data eksperimen dari setiap variasi gelombang, kemudian membandingkan data energi eksperimen dengan data energi teoritis. Untuk memperoleh data potensi

daya gelombang laut secara teoritis dapat menggunakan persamaan (3) (Kresnadana dan Ansori, 2023):

$$P_W = \frac{\rho g^2 H^2 T b}{32\pi} \dots\dots\dots (3)$$

Setelah memperoleh nilai daya gelombang laut, maka energi teoritis dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (4) dan energi aktual dapat menggunakan persamaan (5) berikut ini:

$$E_t = P_W \times t \dots\dots\dots (4)$$

$$E_a = \sum_{i=0}^n P_i \times \Delta t \dots\dots\dots (5)$$

Setelah mendapatkan nilai E_t dan E_a yang diperoleh dari model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah, maka nilai efisiensi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (6):

$$\eta_{PLTGL} = \frac{E_a}{E_t} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

3.7. Prosedur pengambilan data

Adapun prosedur pengambilan data yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan eksperimen, yaitu media pembangkit gelombang, AVO meter, model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah, kunci pas ring 12 mm, dan laptop yang sudah dilengkapi *software* Arduino.
2. Atur eksentrisitas pada media pembangkit gelombang menggunakan kunci pas ring 12 mm dengan variasi 3 mm, 4 mm, dan 5 mm.

3. Nyalakan laptop, buka *software* Arduino, lalu hubungkan laptop ke Arduino Uno yang terdapat di dalam kotak display pembangkit listrik tenaga gelombang laut.
4. Hubungkan media pembangkit gelombang ke sumber listrik.
5. Hidupkan media pembangkit gelombang dengan menekan tombol ON, lalu putar potensiometer dari angka 0 ke angka 8.
6. Kalibrasi tegangan, arus, dan daya menggunakan AVO meter dengan menghubungkan kedua probe ke sensor pada kotak display.
7. Catat hasil pengukuran yang muncul di layar monitor selama 1 menit.
8. Matikan media pembangkit gelombang dengan memutar potensiometer ke angka 0 dan menekan tombol OFF.
9. Tunggu hingga air pada media pembangkit gelombang kembali tenang.
10. Ulangi langkah 5 sampai 9 sebanyak 5 kali untuk memperoleh data yang konsisten.
11. Ulangi langkah 2 hingga 10 untuk setiap variasi eksentrisitas.
12. Selesai.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh penulis setelah menganalisa model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah yaitu sebagai berikut:

1. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah telah berhasil dibuat dengan implementasi dari perangkat lunak desain SolidWorks, alat ini memiliki 4 pelampung yang berbentuk tabung dengan ukuran diameter 101,6 mm dan panjang 300 mm yang berfungsi untuk menangkap energi gelombang laut dan menggerakkan mekanisme yang terhubung dengan generator untuk mengubahnya menjadi energi listrik menggunakan jenis generator DC 310 V.
2. Nilai efisiensi terbesar energi yang diperoleh model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *gear (rack and pinion)* searah terletak pada eksentrisitas 3 yaitu sebesar 3,650 %, dan nilai efisiensi energi terkecil terletak pada eksentrisitas 5 yaitu sebesar 1,521 %, semakin tinggi variasi eksentrisitas yang digunakan maka nilai efisiensi energi yang diperoleh akan menurun, hal ini disebabkan oleh gerakan naik-turun pelampung untuk mengonversi energi menjadi tidak optimal, sehingga proses konversi energi menjadi kurang efektif serta adanya gesekan pada komponen alat, yang dapat menghambat pergerakan dan mengurangi efektivitas proses konversi energi.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian lebih lanjut dengan memvariasikan bentuk pelampung guna mengetahui bentuk yang paling efisien dalam menangkap energi gelombang laut.
2. Mengurangi *losses energy* yang terjadi dari mekanisme, sehingga diperoleh nilai efisiensi energi yang optimal.
3. Menghubungkan dengan sistem penyimpanan energi agar daya listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara optimal, meskipun kondisi gelombang laut tidak selalu stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., Yusup, M., Dwijayanti, S., Oton, M., dan Suprpto, bhakti yudho. (2022). Desain Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Berbasis Keseimbangan Gyroscope. *Jurnal Surya Energy*, 5(2). <https://doi.org/10.32502/jse.v5i2.3328>
- Aminuddin, J. (2020). Analisis Tegangan Keluaran Generator Listrik Frekuensi Rendah dengan Metode Conjugate-Gradient. *Jurnal Teras Fisika*, 3(1), 142. <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2020.3.1.2729>
- Aminuddin, J., Abdullatif, R. F., dan Wihantoro. (2015). Persamaan Energi Untuk Perhitungan Dan Pemetaan Area Yang Berpotensi Untuk Pengembangan. *Wave*, 9(1), 9–16.
- Basuki, dan Daryanto. (2022). *Teori dan Aplikasi Elemen Mekanik Teknik Mesin*. Penerbit Gava Media.
- Budynas, R. G., Nisbett, J. K., Tangchaichit, K., dan Shigley, J. E. (2021). *Shigley's mechanical engineering design (11th Edition in SI Units)*. 1095.
- Choerullah, A. I., Anjani, R. D., dan Suci, F. choria. (2022). Analisis Perhitungan Poros, Pulley dan V-belt pada Sepeda Motor Honda Vario 125CC 2018. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(3), 178–183. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6604957>
- Drew, B., Plummer, A. R., dan Sahinkaya, M. N. (2009). A review of wave energy converter technology. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* (Vol. 223, Issue 8, pp. 887–902). <https://doi.org/10.1243/09576509JPE782>
- Edison. (2021). Perancangan Sepeda Air Untuk Kendaraan Wisata Alam Lembah Harau. *Rang Teknik Journal*, 4(2), 339–347. <https://doi.org/10.31869/rtj.v4i2.2635>
- Farhan, M., Hidayat, R., dan Saragih, Y. (2021). Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 Pltmh Curug. *Jurnal Simetrik*, 11(1), 398–403. <https://doi.org/10.31959/js.v11i1.653>
- Faulincia. (2019). Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Metoda Oscilating Water Column Di Perairan Kendari Indonesia. In *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics* (Vol. 4, Issue 1).
- Febriani, S. (2022). Analisis Deskriptif Standar Deviasi. *Jurnal Pendidikan*

- Tambusai*, 6(1), 910–913.
<https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/8194>
- Firdausi, A. (2013). Mekanika Dan Elemen Mesin. *Malang: PPPPTK BOE*, 13.
- Fitrayadi, Salimin, dan Hasanudin, L. (2023). *Pengaruh Variasi Diameter Pulley Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dinamo Pada Instalasi Turbin Pelton*. 8(3), 1–6. <http://ojs.uho.ac.id/index.php/ENTHALPY>
- Hartono, R., Murti, M. A., dan Alinursafa, I. (2022). 2.Sistem Pemantauan Ketinggian Gelombang dan Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis Internet of Things (Iot) Menggunakan LPWAN LoRa. *Snistek*, 157–164.
- Herdiana, A., dan Maulani, I. S. (2023). Analisis Sabuk V Dan Pulley Pada Mesin Pencacah Plastik Kapasitas 25 Kg/Jam. *Jurnal Mesin Galuh*, 2(1), 13–18. <https://doi.org/10.25157/jmg.v2i1.3082>
- Hurst, K. S. (2005). Prinsip-Prinsip Desain. *Rahmat Saptono Universitas Indonesia*.
- Husin, Z., Firmansyah, B., Lazuardi, E., Prasetyo, A., dan Nurhasanah, N. (2014). Studi Awal Perancangan Prototipe Remotely Operated Vehicle (Rov). *Mikrotiga*, 1(2), 31–36.
- Jaya, G. W., dan Aponno, S. V. (2023). Kajian Teori Arus Listrik Dan Daya Listrik Pada Rangkaian Resistor Seri Dan Paralel Berdasarkan Jumlah Resistor Yang Digunakan. *ORBITA. Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, Dan Aplikasi Pendidikan Fisika, Volume 9*, 87–93.
- Kresnadana, P., dan Ansori, A. (2023). Desain Generator Linier Untuk Memanen Energi Gelombang. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1), 33–40. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/50775%0Ahttps://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/50775/41602>
- Lasabuda, R. (2013). Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan Dalam Persfektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1–2, 92–101. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/platax>
- Loupatty, G. (2013). Karakteristik Energi Gelombang Dan Arus Perairan Di Provinsi Maluku. In *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan* (Vol. 7, Issue 1). <https://doi.org/10.30598/barekengvol7iss1pp19-22>
- Mahaganti, I., Tumaliang, H., Nelwan, A. F., dan Pakiding, M. (2014). Pra-desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Generator Asinkron. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 3(3), 12–18. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/4822>
- Mananoma, F., Sutrisno, A., dan Tangkuman, S. (2018). Perancangan Poros Transmisi Dengan Daya 100 HP. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 6(1), 1–9.
- Maulana, A. (2015). Analisa Perbandingan Energi Listrik Yang Dihasilkan Mekanisme Pltgl Sistem Pelamis Antara Susunan Berbaris Dan Berbanjar

- Dengan Variasi Frekuensi Gelombang. *Jurnal Teknik ITS*, 5(1), 1–5.
- Mott, R. L., Vavrek, E. M., dan Wang, J. (2018). Machine Elements In Mechanical Design Sixth Edition. In *Pearson* (pp. 241–285). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367853853-8>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., dan Grote, K. H. (2007). Engineering design: A systematic approach. In *Engineering Design: A Systematic Approach* (Third Edit, Vol. 86). Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>
- Parjiman, Daryanto, Subekti, M., dan Rif'an, M. (2018). Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Pltgl). *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 50–57.
- Setiaji, N., Sumpena, dan Sugiharto, A. (2022). Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik. *Jurnal Tekonologi Industri*, 11(1), 1–8.
- Subardi, A. (2009). Analisa Perbandingan Jenisball Bearingterhadap Keausan Pada Dinding Diameter Luar Dan Dalam. *Jurnal Flywheel*, 2, 1–14.
- Suharyo, O. S. (2018). Rancang Bangun Alat Pengukur Gelombang Permukaan Laut Presisi Tinggi (a Prototype Design). *Applied Technology and Computing Science Journal*, 1(1), 18–29. <https://doi.org/10.33086/atcsj.v1i1.6>
- Sundar, V. (2016). *Ocean wave mechanics : applications in marine structures*.
- Syach, M. F., Ayasy, M. F., dan Safinatunnajah, N. (2020). Pemetaan Perkiraan Potensi Gelombang Laut Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Sistem Pelamis Di Perairan In ... *Klimatologi dan Geofisika* (Vol. 7, Issue 3). <https://jurnal.stmkg.ac.id/index.php/jmkg/article/view/198>
- Toffoli, A., dan Bitner-Gregersen, E. M. (2017). Types of Ocean Surface Waves, Wave Classification. *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/9781118476406.emoe077>
- Utami, S. (2010). Potential Study of Sea Wave Power System Using Oscillating Water Column (OWC) in Thirty Marine Areas Indonesia. (Bahasa Indonesia). *Teknik Elektro*.
- Waldopo. (2008). Perairan Darat dan Laut. *Dra. Asih Priati*, 7.
- Webb, P. (2017). Introduction to Oceanography: Estuaries. *Roger Williams University*, 2001–2006. <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/13-6-estuaries/>
- Wilson, B.W. (1963). Conditions of existence for types of Tsunami waves. Proc. XIIIth General Assembly Jugg, Berkeley, California, Aug
- Yaksyah, R., Pratama, D. A., dan Muslimin, S. (2022). Desain Generator Listrik yang Terintegrasi dengan Aplikasi IoT (Internet of Things). *Teknika*, 16(x), 1–7. <http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika/article/view/3392>
- Zafitri, R. E., Fitriyanto, S., dan Yahya, F. (2018). Pengembangan Tes Diagnostik untuk Miskonsepsi pada Materi Usaha dan Energi Berbasis Adobe Flash Kelas

Xi di Ma Nw Samawa Sumbawa Besar Tahun Ajaran 2017/2018. *Jurnal Kependidikan*, 2(2), 19–34. <http://www.e-journalppmunsa.ac.id/index.php/kependidikan/article/download/767/738>

Zulpani, B., Lumbangaol, A., Hasballah, dan S.Purba. (2021). Analisa kerusakan bearing 222 16ek skf pada unit washing station di departemen woodyard Pt. toba pulp lestari. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, 2(2), 1–5. <http://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/teknologimesin/article/view/1843>