



SKRIPSI – ME-141501

**PERANCANGAN GENERATOR LINEAR MAGNET PERMANEN
UNTUK PENERANGAN DI WISATA PANTAI SENDIKI, MALANG,
JAWA TIMUR**

Irsat Surya Sekti

NRP 0421144000037

Dosen Pembimbing :

Indra Ranu Kusuma, ST, M.Sc.

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**DESIGN LINEAR GENERATOR PERMANENT MAGNET FOR
LIGHTING AT SENDIKI BEACH, MALANG, EAST JAVA**

Irsat Surya Sekti

NRP 0421144000037

Supervisor :

Indra Ranu Kusuma, ST, M.Sc.

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc.

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN GENERATOR LINEAR MAGNET PERMANEN UNTUK
PENERANGAN DI WISATA PANTAI SENDIKI, MALANG, JAWA TIMUR

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

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

Oleh :

IRSAT SURYA SEKTI
NRP : 0421144000037

Disetujui oleh Dosen Pembimbing 1 & 2 Tugas Akhir :

Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.
NIP : 1979 0327 2003 12 1001

()

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.
NIP : 1968 0701 1995 12 1001

()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN GENERATOR LINEAR MAGNET PERMANEN UNTUK
PENERANGAN DI WISATA PANTAI SENDIKI, MALANG, JAWA TIMUR

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

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

Oleh :

IRSAT SURYA SEKTI
NRP : 0421144000037

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.
NIP : 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA
JULI, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PERANCANGAN GENERATOR LINEAR MAGNET
PERMANEN UNTUK PENERANGAN DI WISATA PANTAI
SENDIKI, MALANG, JAWA TIMUR**

Nama Mahasiswa : Irsat Surya Sekti
NRP : 0421144000037
Departemen : Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.
: 2. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.

Abstrak

Indonesia adalah negara kepulauan sekaligus negara maritim. Dua per tiga bagian wilayah Indonesia yaitu berupa wilayah perairan laut. Banyaknya pulau di Indonesia membuat Indonesia memiliki banyak pantai-pantai yang memiliki potensi pariwisata yang luar biasa. Pantai Sendiki, Malang, Jawa Timur adalah salah satu yang memiliki potensi tersebut. Masalah yang dimiliki pengelola Pantai Sendiki yaitu memiliki waktu operasional 24 jam tetapi belum cukupnya pembangkit untuk menyuplai kebutuhan listrik khususnya penerangan pada saat akhir pekan atau saat puncak kunjungan. Hal tersebut membuat kondisi area masih terlalu gelap. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membuat rancangan generator linear magnet permanen. Hal tersebut sebagai langkah pemanfaatan gelombang laut di Pantai Sendiki yang cukup tinggi untuk dikonversi menjadi energi listrik untuk kebutuhan penerangan di Pantai Sendiki, Malang, Jawa Timur. Sumber energi dari gelombang laut adalah sumber energi terbarukan dan tidak terbatas. Konverter energi juga tidak menimbulkan pencemaran laut. Dari penelitian ini didapatkan rancangan generator linear magnet permanen dengan dimensi *stroke* 1,126 m dengan diameter stator 0,1209 m, menggunakan 4 silinder magnet permanen menghasilkan daya rata-rata sebesar 1510,8 Watt dan arus 2,7 A. Untuk menyimpan daya tersebut membutuhkan setidaknya 9 unit baterai dengan kapasitas 200 Ah.

Kata kunci : *Tenaga Gelombang, Linear Generator, Magnet Permanen, Energi Terbarukan*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**DESIGN LINEAR GENERATOR PERMANENT MAGNET FOR
LIGHTING AT SENDIKI BEACH, MALANG, EAST JAVA.**

Name : Irsat Surya Sekti
NRP : 0421144000037
Departement : Marine Engineering
Supervisor : 1. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.
: 2. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.

Abstract

Indonesia is an archipelago country and also maritime country. 2/3 sections of Indonesia's region are water area. Many islands in Indonesia make this country has many beaches that have great tourism potential. Sendiki Beach, Malang, East Java is one of them that potentially. Sendiki Beach's operators have a problem, has 24 hours operational time but haven't enough electricity generators to supply their requirements about electricity, especially on weekend or holiday. So, that make Sendiki Beach still has dark condition. This research has purpose to design linear generator permanent magnet. That as a effort to exploit sea wave at Sendiki Beach that has high wave for generating to be electricity. So, that can be electricity supplier for lighting requirements at Sendiki Beach, Malang, East Java. Sources from sea wave are renewable energy and limitless energy. Energy converter is not make pollution for environment, especially for sea. From this research, the linear generator permanent magnet design with stroke dimension 1,126 m and stator dimension 0,1209 m, using 4 silinders of permanent magnet, obtained average power 1510,8 Watt and current 2,7 A. For saving that powers, 9 units of battery are needed.

Keywords : Wave Energy, Linear Generator, Permanent Magnet, Renewable Energy

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Generator Linear Magnet Permanen Untuk Penerangan Di Wisata Pantai Sendiki, Malang, Jawa Timur”.

Penulisan tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penyelesaian skripsi ini, dasar teori diperoleh dari perkuliahan dan studi literatur dan dosen pembimbing yang terus memberikan masukan serta pihak-pihak lain yang terlibat. Maka pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orangtua yang senantiasa memberikan dukungan moral dan materiel kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT. sebagai kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing 2, yang terus memberikan saran dan masukan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen wali yang telah memberi bimbingan sejak mahasiswa baru.
5. Teman-teman member Laboratorium MEAS (*Marine Electrical and Automation System*) yang telah banyak membantu untuk memberikan saran dan masukan guna penyelesaian tugas akhir ini.
6. Serta semua pihak yang terlibat dan tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penulisan yang lebih baik kedepannya.

Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	1
I.3. Batasan Masalah.....	2
I.4. Tujuan Skripsi	2
I.5. Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
II.1. Energi.....	3
II.2. Generator	3
II.2.1. Generator DC (Arus Searah)	3
II.2.2. Generator AC (Arus Bolak-Balik)	4
II.3. Generator Linear	5
II.3.1. Magnet Permanen.....	9
II.4. Gelombang Laut	10
II.3.2. Gelombang Reguler dan Irreguler	12
II.3.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gelombang	13
II.3.4. Perhitungan Energi Gelombang.....	18
II.5. Lampu LED	21
II.6. Wisata Pantai Sendiki.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
III.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah	26
III.2. Studi Literatur	26
III.3. Pengumpulan Data	26
III.4. Analisis Data dan Perancangan	27
III.5. Simulasi	27
III.6. Analisis Data dan Pembahasan	27
III.7. Kesimpulan dan Saran	28
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	29
IV.1. Potensi Energi dan Power Gelombang	30
IV.2. Rancangan Generator	32
IV.3. Permodelan Linear Generator	58
IV.4. Berat Unit Generator.....	66
IV.5. Kebutuhan Baterai	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
V.1. Kesimpulan	71
V.2. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat kemagnetan intrinsik fasa magnetik dari magnet permanen	10
Tabel 2.2 Perbandingan konsumsi daya dengan intensitas cahaya antara lampu LED dan lampu merkuri.....	22
Tabel 4.1 Data Angin dan Gelombang Laut Pantai Sendiki, 2017	30
Tabel 4.2 Energi dan Daya Gelombang.....	31
Tabel 4.3 Kebutuhan Daya untuk Penerangan di Pantai Sendiki.....	32
Tabel 4.4 Modus Tinggi Gelombang.....	33
Tabel 4.5 Tegangan Efektif Rancangan 1.....	38
Tabel 4.6 Tegangan Efektif Rancangan 2	40
Tabel 4.7 Tegangan Efektif Rancangan 3	42
Tabel 4.8 Tegangan Efektif Rancangan 4	44
Tabel 4.9 Tegangan Efektif Rancangan 5	46
Tabel 4.10 Tegangan Efektif Rancangan 6	49
Tabel 4.11 Tegangan Efektif Rancangan 7	51
Tabel 4.12 Tegangan Efektif Rancangan 8	53
Tabel 4.13 Tegangan Efektif Rancangan 9	55
Tabel 4.14 Tegangan Efektif Rancangan 10.....	58
Tabel 4.15 Parameter Stator	60
Tabel 4.16 Parameter Translator	61
Tabel 4.17. Daya keluaran rancangan (1-5).....	65
Tabel 4.18. Daya keluaran rancangan (6-10).....	65
Tabel 4.19 Total Berat Rancangan Linear Generator Magnet Permanen.....	66

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik tegangan DC	4
Gambar 2.2 Grafik tegangan AC	5
Gambar 2.3 Stasiun pembangkit dengan linear generator.....	6
Gambar 2.4 Linear generator.....	7
Gambar 2.5 Gelombang yang disebabkan oleh badai	11
Gambar 2.6 Perambatan gelombang laut	11
Gambar 2.7 Spektrum tunggal karakteristik gelombang regular	12
Gambar 2.8 Gelombang acak atau <i>irregular</i>	13
Gambar 2.9 Refraksi gelombang	14
Gambar 2.10a. Refraksi di lembah, b. Refraksi di Punggungan	15
Gambar 2.11. Difraksi gelombang di belakang rintangan	16
Gambar 2.12. Refleksi.....	17
Gambar 2.13. Refleksi pada dinding vertikal	17
Gambar 2.14 Profil Gelombang Beserta Propertinya	18
Gambar 2.15 Panjang <i>Camping Ground</i> Wisata Pantai Sendiki	23
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Metode Penelitian.....	25
Gambar 4.1 Lokasi Pantai Sendiki, Malang	29
Gambar 4.2 Magnet Permanen	35
Gambar 4.3 Rancangan generator	59
Gambar 4.3 <i>Materials Library</i>	60
Gambar 4.4 Rancangan generator 1 pada FEMM	63
Gambar 4.5 Hasil <i>analyze</i> rancangan 1	64
Gambar 4.6 <i>Flux lines</i> rancangan 1	64
Gambar 4.7 Rancangan Generator Linear Magnet Permanen.....	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan sekaligus negara maritim. Dua per tiga bagian wilayah Indonesia yaitu berupa wilayah perairan laut. Sedangkan sepertiga sisanya berupa daratan berbentuk pulau yang tersebar dari Sabang hingga Merauke. Banyaknya pulau di Indonesia membuat Indonesia juga memiliki banyak pantai di mana pantai-pantai tersebut memiliki potensi pariwisata yang luar biasa. Telah ada beberapa pantai di Indonesia yang telah tercatat sebagai pantai kelas dunia, seperti pantai Kuta di Bali, Pantai Gili Trawangan di Lombok, dll. Tetapi, masih banyak pula pantai-pantai yang belum terkenal padahal memiliki potensi pariwisata yang tidak kalah besarnya, salah satunya yaitu Pantai Sendiki di Tambakrejo, Sumbermanjing, Malang, Jawa Timur.

Pantai Sendiki memiliki jam operasional pariwisata 24 jam. Saat ini, untuk mendukung kegiatan pariwisata di sana khususnya untuk malam hari, pengelola menggunakan solar panel tetapi masih perlu dibantu dengan generator tenaga diesel pada saat akhir pekan, untuk menyuplai kebutuhan listrik untuk menghidupkan lampu-lampu pada malam hari.

Untuk membantu menyelesaikan persoalan suplai energi listrik ini, penggunaan generator linear magnet permanen dengan energi ombak sebagai penggeraknya dapat diterapkan, karena Pantai Sendiki memiliki ombak yang potensial untuk teknologi ini dalam kondisi normal (www.maritim.bmkg.go.id). Maka, perlu dilakukan perancangan generator linear magnet permanen untuk membantu memenuhi suplai energi listrik di Wisata Pantai Sendiki.

I.2. Rumusan Masalah

Dari uraian yang disampaikan di atas, maka permasalahan yang menjadi bahan analisa dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana rancangan generator linear magnet permanen?
2. Bagaimana daya keluaran dari generator linear terhadap kebutuhan penerangan *camping ground* di Pantai Sendiki?
3. Berapa kebutuhan baterai untuk penerangan di Pantai Sendiki?

I.3. Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah di atas, maka perlu adanya batasan masalah agar pembahasan tidak melebar, maka batasan masalah untuk Tugas Akhir ini yaitu:

1. Tidak mempertimbangkan aspek ekonomis.
2. Tidak mempertimbangkan faktor cuaca.
3. Tidak mempertimbangkan kondisi sosial masyarakat.

I.4. Tujuan Skripsi

Untuk menjawab rumusan masalah di atas, pada penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mendesain generator linear magnet permanen dengan tenaga gelombang sebagai penggerak.
2. Mengetahui daya yang dihasilkan generator linear magnet permanen berdasarkan simulasi *software* terhadap kebutuhan penerangan di Pantai Sendiki.
3. Mengetahui kebutuhan baterai untuk penerangan di wisata Pantai Sendiki.

I.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mendapatkan rancangan generator linear magnet permanen sebagai salah satu sumber tenaga listrik alternatif untuk kebutuhan penerangan di Wisata Pantai Sendiki.
2. Meningkatkan pengetahuan tentang penggunaan energi terbarukan berupa tenaga ombak (*wave energy*).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Energi

Definisi energi menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia) yaitu kemampuan untuk melakukan kerja (misalnya untuk energi listrik dan mekanika), maka sifat dan bentuk energi dapat berbeda sesuai fungsi yang dimiliki (energi termal, potensial, kinetik, listrik, elektromagnetik, dll.). Bentuk atau sifat dari energi dapat saling dikonversikan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Konversi energi secara langsung, misalnya gesekan antara dua benda (energi kinetik) dapat menghasilkan panas pada benda tersebut (energi kalor), tetapi panas pada suatu benda bisa juga akibat adanya aliran listrik (energi listrik). Sedangkan proses konversi secara tidak langsung, misalnya energi listrik yang dihasilkan oleh generator (dinamo atau alternator) yang diawali dengan mengonversi energi termis yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi, batu bara dll. menjadi energi kinetik pada motor atau turbin yang dikopel dengan generator tersebut untuk dapat menghasilkan listrik.

II.2. Generator

Generator adalah suatu perangkat konversi energi dari energi mekanik menjadi energi listrik (kebalikan dari motor). Generator dibagi menjadi dua jenis berdasarkan jenis arus yang dihasilkan, yaitu generator AC dan generator DC. Listrik AC dan DC memiliki fungsi dan kegunaannya masing-masing. Misal, dalam penerapan di otomasi, listrik DC lebih banyak digunakan karena listrik DC lebih mudah diatur dibandingkan listrik AC.

II.2.1. Generator DC (Arus Searah)

Generator DC yaitu perangkat pengubah energi mekanik menjadi listrik arus searah. Energi masukan berupa gerak putar dan sebagai keluarannya berupa energi listrik arus searah. Tegangan DC memiliki nilai tegangan yang tidak tergantung waktu, bersifat tetap setiap saat.



Gambar 2.1 Grafik tegangan DC

(Sumber : <https://www.elektronikabersama.web.id/>)

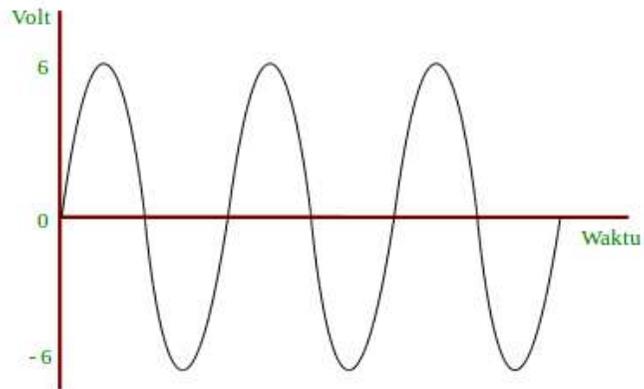
Generator ini terdiri dari dua bagian utama yaitu translator sebagai bagian yang bergerak, sedangkan stator sebagai bagian yang diam. Adapun, stator terdiri dari kutub, kumparan, gandar.

- a. Gandar
Gandar (*yoke*) merupakan bagian terluar dari generator. Berfungsinya sebagai tempat menempelnya kutub utama, kutub komutasi dan sebagai selubung pengaman serta sebagai jalan mengalirnya fluksi magnetik yang dihasilkan kutub utama (Sulasno, 2009).
- b. Kutub utama
Kutub utama terbuat dari laminasi-laminasi besi terdiri dari kutub inti dan sepatu kutub. Kutub inti berfungsi melilitkan kumparan medan dan sepatu kutub berfungsi menyebarkan fluksi magnetis sekitarnya meliputi daerah yang luas pada celah udara dan kumparan jangkar.
- c. Kumparan medan
Kumparan medan terdiri dari lilitan kawat tembaga pada inti kutub untuk menimbulkan medan magnet pada kutub.
- d. Kutub komutasi
Kutub komutasi yaitu kutub yang diletakkan di antara kutub utama (daerah netral).
- e. Dll.

II.2.2. Generator AC (Arus Bolak-Balik)

Generator AC (arus bolak-balik) disebut juga alternator (*alternating current*). Generator AC menghasilkan tegangan AC yang memiliki nilai frekuensi. Tegangan AC memiliki nilai yang berubah-ubah dan jika dilihat menggunakan osiloskop atau disebut juga CRO (*Cathode Ray Oscilloscop*), sinyal listrik yang terbaca membentuk grafik

sinusoidal. Dari grafik yang ditampilkan tersebut dapat diketahui frekuensi, amplitudo, dan tegangan sinyal listrik dengan menghitung skala yang terlihat pada layar.



Gambar 2.2 Grafik tegangan AC

(Sumber : <https://www.elektronikabersama.web.id/>)

Generator AC terbagi menjadi dua jenis berdasarkan fasa-nya yaitu satu fasa dan tiga fasa.

Prinsip pembangkitan generator sinkron sama dengan generator DC dimana menggunakan induksi elektromagnetik. Generator ini juga terdiri dari translator dan stator. Besarnya tegangan generator bergantung pada :

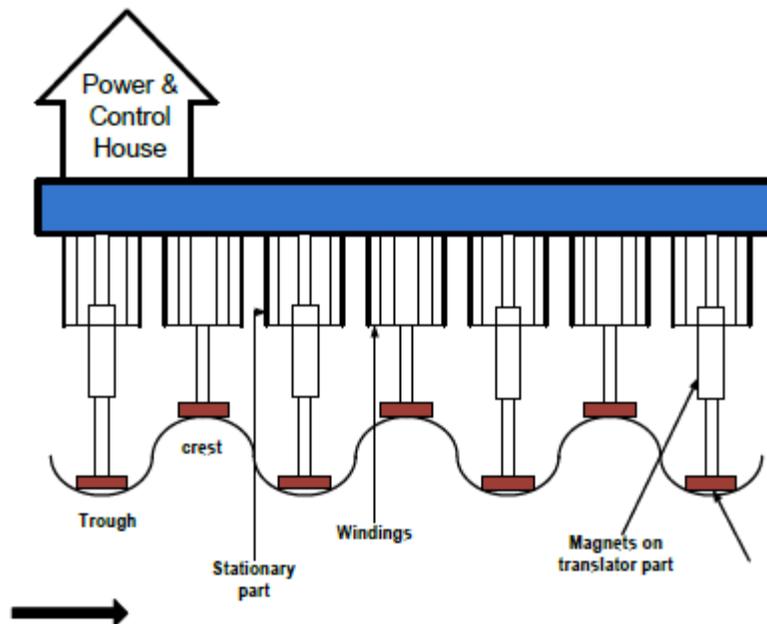
1. Kecepatan putaran (N)
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z)
3. Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f)
4. Konstruksi generator

Generator AC dapat dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan gerakan mekanisnya atau translator yaitu linear dan rotasi.

II.3. Generator Linear

Generator Linear saat ini masih jarang digunakan. Konversi bentuk energi mekanik menjadi energi listrik, sebagian besar menggunakan gerakan berputar. Generator pada pembangkit listrik konvensional (batubara, minyak, gas, nuklir), pembangkit listrik tenaga air, turbin angin, kendaraan, semua menggunakan generator berputar (radial). Generator linear dalam konverter energi gelombang laut karakteristiknya berdaya tinggi (tergantung pada ukuran konverter energi gelombang) dan kecepatan rendah. Hal ini tentu menjadi salah satu hal yang patut untuk diteliti sebagai salah satu

upaya menciptakan penemuan baru sumber energi terbarukan. (H. Polinder, 2007).



Gambar 2.3 Stasiun pembangkit dengan linear generator
(Kumar, dkk., 2014 dalam)

Desain sistem pembangkitan generator linear dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

a. *Linear Induction Machine*

Generator jenis ini di dunia industri sangat konvensional. Jenis ini memiliki desain yang sederhana untuk translatornya, terutama untuk jenis sangkar tupai dimana tidak menggunakan slip rings atau brushes.

Generator *linear induction* harus memiliki tahanan udara yang lebih besar dibandingkan yang berjenis *rotary induction*. Reaktansi pada kumparan eksitasinya harus lebih rendah. Sehingga arus eksitasi pada kumparan pembangkitnya lebih besar dibandingkan translator putar.

b. *Field-Wound Synchronous Machine*

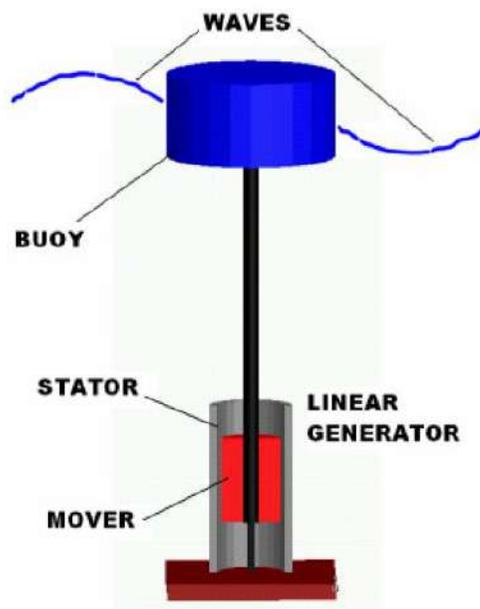
Field-wound synchronous machine disebut juga mesin sinkron. Mesin ini jarang sekali digunakan dalam dunia industri karena hanya cocok untuk putaran yang tinggi dan tidak dapat digunakan pada power yang besar, sehingga desainnya susah dibuat dan kurang

efisien. Translator pada mesin ini harus digerakkan dengan kecepatan yang tinggi untuk menghasilkan listrik karena kumparan statornya meutari seluruh translator.

Pada mesin ini lebih mudah mengontrol arus eksitasi pada statornya dari pada menggunakan induksi. Voltase yang dihasilkan mesin ini lebih konstan dengan kecepatan yang konstan pula.

c. *Permanent Magnet Synchronous*

Mesin ini tepatnya digunakan pada mesin yang tidak mendapat suplai eksitasi, sehingga mesin ini dapat digunakan sebagai alternatif pembangkit listrik sederhana. Untuk menghasilkan arus listrik yang besar, maka magnet yang digunakan berukuran besar pula. Karena menggunakan magnet permanen maka kaidah yang digunakan yaitu hukum lorentz. Faktor yang berpengaruh terhadap arus keluaran yaitu arah fluks yang masuk pada eksiter dan juga arah gerakan translasinya.



Gambar 2.4 Linear generator

(Szabó, Loránd, dkk. 2006)

Ketika kutub utara magnet digerakkan memasuki kumparan, jarum galvanometer menyimpang kesalah satu arah (misal ke kanan). Ketika magnet diam di dalam kumparan, maka jarum galvanometer segera kembali ke nol (tidak menyimpang). Ketika magnet digerakkan menjauhi kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke

arah sebaliknya (kiri). Kejadian penyimpangan jarum galvanometer ini disebabkan adanya arus yang mengalir di dalam kumparan. Arus listrik timbul karena adanya beda potensial saat terjadi gerakan magnet di dalam kumparan. Beda potensial yang timbul disebut dengan gaya gerak listrik (ggl).

Magnet yang bergerak di dalam kumparan menambahkan atau mengurangi garis gaya magnet yang memotong kumparan. Perubahan jumlah garis gaya magnet yang memotong kumparan inilah yang menyebabkan timbulnya beda potensial atau ggl induksi, maka arus listrik yang timbul disebut dengan arus induksi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya GGL induksi yaitu :

- a. Banyaknya lilitan kumparan
- b. Kecepatan keluar-masuk magnet dari dan keluar kumparan.
- c. Kuat magnet yang digunakan.

Adapun tegangan induksi dapat dihitung melalui persamaan :

$$E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (1)$$

dimana :

E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)

N = jumlah lilitan

f = frekuensi (Hz)

Φ_{max} = fluks maksimum (Wb)

N_s = Jumlah kumparan

N_{ph} = Jumlah fasa

untuk frekuensi ditentukan dengan persamaan:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

dimana :

f = frekuensi (Hz)

T = Periode (s)

sedangkan untuk magnet permanen digunakan sebagai penghasil fluks magnet. Fluks maksimum magnet (Φ_{max}) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Phi_{max} = A_{magnet} \times B_{max} \quad (3)$$

$$A_{magnet} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \quad (4)$$

$$B_{max} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \quad (5)$$

dimana:

A_{magnet}	= luas permukaan magnet (m^2)
B_{max}	= kerapatan fluks magnet maksimum (T)
r_0	= radius luar magnet (m)
r_i	= radius dalam magnet (m)
N_m	= Jumlah magnet
B_r	= kerapatan fluks magnet (T)
l_m	= tinggi magnet (m)
δ	= lebar celah udara (m)

II.3.1. Magnet Permanen

Suatu magnet harus memiliki kemampuan untuk menghasilkan densitas fluks, B magnet yang tinggi dari suatu volume magnet tertentu, stabilitas magnetik yang baik terhadap efek temperatur dan waktu, serta memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh demagnetisasi. Magnet permanen harus memiliki karakteristik minimal, sifat kemagnetan remanen, B_r dan koersivitas intrinsik, $J_H C$ serta temperatur curie T_C yang tinggi.

Sifat utama suatu magnet permanen ialah $(BH)_{\text{max}}$ dimana menunjukkan energi per satuan volume magnet yang dipertahankan di dalam magnet. Besaran ini diturunkan dari kurva kuadran kedua (kurva demagnetisasi) dari *loop* histeris sehingga diperoleh kurva (BH) yaitu perkalian antara B dan H sebagai fungsi H . Kurva (BH) memiliki suatu nilai tertinggi sebagai fungsi H nilai inilah yang dikenal sebagai produk energi maksimum.

Nilai $(BH)_{\text{max}}$ suatu magnet permanen dinyatakan di dalam satuan J/m^3 , menjadi parameter penting, karena nilai tersebut berbanding terbalik dengan volume magnet. Semakin besar nilai $(BH)_{\text{max}}$, maka energi di dalam suatu volume magnet semakin besar pula (semakin besar volume, semakin besar energi yang tersedia). Berikut adalah sifat kemagnetan intrinsik fasa magnetik dari beberapa magnet permanen.

Tabel 2.1. Sifat kemagnetan intrinsik fasa magnetik dari magnet permanen (Manaf, 2000, hal. 8)

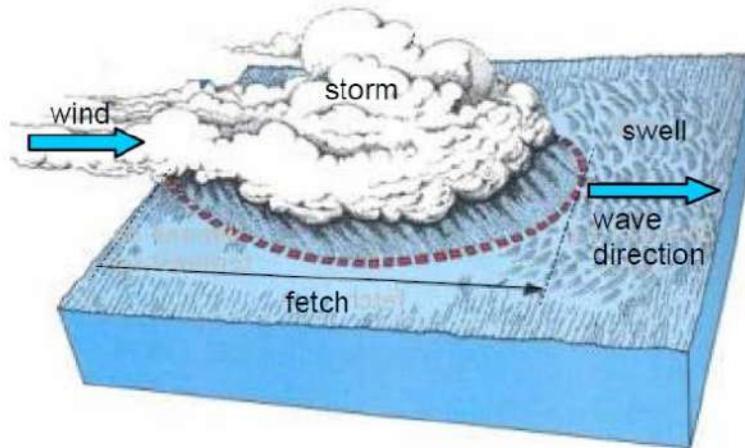
FASA	T_c ($^{\circ}C$)	J_s (T)	H_A ($MA \cdot m^{-1}$)	$(BH)_{max}$ ($kJ \cdot m^{-3}$)
Ba $Fe_{12}O_{19}$	450	0,50	1,10	50
Sr $Fe_{12}O_{19}$	450	0,48	1,50	46
Sm Co_5	720	1,14	20-35	260
Sm ₂ Co_{17}	840	1,25	5,20	312
Nd ₂ $Fe_{14}B$	312	1,60	5,40	512

Dari tabel di atas dapat terlihat keunggulan dan kelemahan dari beberapa magnet permanen. Fasa magnetik Nd₂Fe₁₄B memiliki keunggulan terutama pada polarisasi total dan produk energi maksimum yang diperlukan untuk unjuk kerja yang baik. Sehingga untuk memperoleh energi yang sama, magnet Nd₂Fe₁₄B memiliki ukuran yang lebih kecil dari magnet lainnya, misal magnet ferrite. Terdapat kandungan Nd pada magnet jenis ini, maka demungkinkan terkena korosi, karena semakin kaya Nd maka semakin mudah terserang korosi. (Manaf, 2000)

II.4. Gelombang Laut

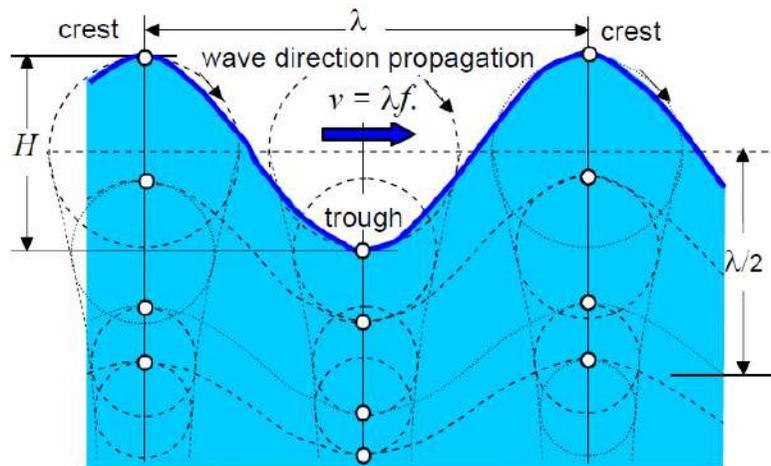
Gelombang laut adalah gelombang di permukaan yang terbentuk dari kombinasi gaya gravitasi, tegangan permukaan laut, dan juga dikarenakan adanya angin yang berhembus. Peristiwa terjadinya gelombang karena adanya waktu dan perbedaan kekuatan penyinaran matahari, serta adanya pengaruh iklim lokasi suatu daerah, maka akan terjadi tekanan udara yang berbeda pada beberapa daerah yang berbeda. Perbedaan tekanan udara ini menciptakan aliran udara dari daerah bertekanan tinggi ke rendah.

Besar kecilnya gelombang ditentukan oleh kecepatan angin, jarak antara angin yang merangsang terbentuknya gelombang dengan gelombang itu sendiri (fetch), kedalaman, serta topografi dari dasar laut. Jika gelombang berada jauh dari angin yang merangsangnya maka bentuknya akan sebagaimana gelombang reguler dan disebut sebagai swell. Gambar 2.5 mengilustrasikan gelombang yang terbentuk akibat badai.



Gambar 2.5 Gelombang yang disebabkan oleh badai

Partikel-partikel air yang terangsang oleh angin membentuk lintasan lingkaran pada masing-masing titik yang mempunyai diameter paling besar pada permukaannya. Semakin dalam letaknya, maka diameternya akan semakin berkurang secara eksponensial. Rangkaian dari gerakan melingkar tersebut nantinya akan membentuk gelombang laut dan perambatannya sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



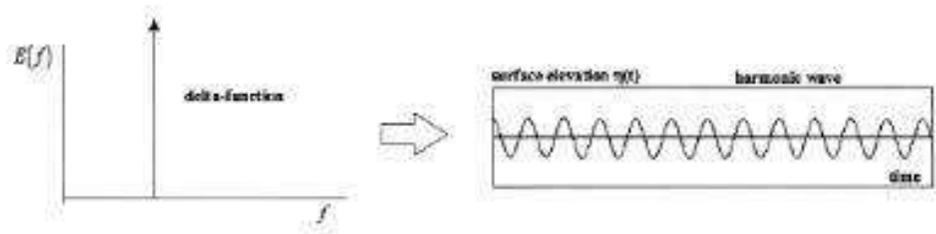
Gambar 2.6 Perambatan gelombang laut

Jarak antara puncak ke puncak (crest to crest) didefinisikan sebagai panjang gelombang (λ). Ketinggian gelombang (H) sebanding dengan intensitas angin dan durasinya. Periode gelombang (T) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai panjang gelombang dan sebanding dengan kedalaman laut. Frekuensi gelombang (f) adalah banyaknya gelombang dalam satu detik. Rasio antara panjang gelombang (λ) dibandingkan dengan dua kali ketinggian gelombang ($2H$) disebut *declivity* dan ketika nilainya lebih dari $1/7$, maka gelombang akan menjadi tidak stabil dan menghilang.

II.3.2. Gelombang Reguler dan Irreguler

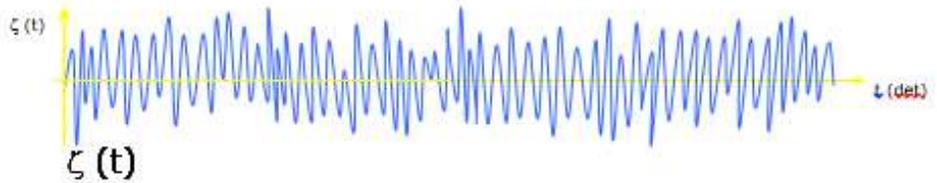
Gelombang reguler merupakan gelombang dengan tinggi gelombang yang konstan, periode tunggal, sehingga gelombang ini juga mempunyai spectrum tunggal. (Fatnata, 2009). Teori gelombang reguler adalah pendekatan dari sebuah kenyataan dengan beberapa asumsi penyederhanaan dan idealisasi. Berikut ini adalah asumsi dasar teori gelombang:

- Fluida dianggap homogen
- Tekanan permukaan diabaikan
- Pressure di permukaan bebas dianggap konstan dan uniform
- Fluida dianggap ideal (tidak bisa ditekan/ inviscid dan incompressible)
- Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubrukan selama bergerak
- Dasar laut dianggap datar, tetap impermeable, sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol



Gambar 2.7 Spektrum tunggal karakteristik gelombang reguler

Sedangkan gelombang irreguler merupakan gelombang superposisi dari beberapa gelombang reguler yang mempunyai frekuensi dan tinggi gelombang berbeda. Gelombang laut mempunyai bentuk dan arah gerakan tak beraturan/acak (random) dan tidak pernah berulang urutan kejadiannya, sehingga teori gelombang reguler tidak dapat secara langsung (deterministik) menjelaskannya.



Gambar 2.8 Gelombang acak atau *irreguler*

II.3.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gelombang

Gelombang laut termasuk fenomena alam yang sukar diprediksi secara pasti apalagi diatur kemunculannya. Namun dengan menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya gelombang, maka kemunculan gelombang tersebut dapat diprediksi. Adapun faktor-faktor utamanya yaitu sebagai berikut.

II.3.3.1. Angin

Angin menjadi salah satu faktor terjadinya gelombang. Angin dapat mempengaruhi tinggi dan periode gelombang yang terjadi. Gelombang besar (*swell*) tergantung pada :

- a. Kecepatan angin
- b. Lama angin berhembus (*duration*)
- c. Panjang daerah persentuhan angin dengan permukaan air laut (*fetch*).

Ketiga faktor tersebut sangat menentukan tinggi dan periode gelombang yang terbentuk. (Priandoko, Yuno. 2015). Ketika angin berhembus dengan kecepatan konstan, maka tinggi gelombang akan semakin meningkat, begitu juga dengan periode gelombang tersebut. Kemudian dalam perjalanan gelombang tersebut ketinggiannya akan berkurang namun periodenya meningkat. (Priandoko, Yuno. 2015).

II.3.3.2. Batimetri

Batimetri adalah ilmu yang mempelajari kedalaman di bawah air dan studi tentang tiga dimensi lantai samudra. (<http://www.en.wikipedia.org/wiki/batimetri>). Peta batimetri secara umum menampilkan relief dasar perairan dengan garis-garis kontur kedalaman (*depth contours* atau *isobath*), dan dapat memiliki informasi tambahan berupa informasi navigasi permukaan.

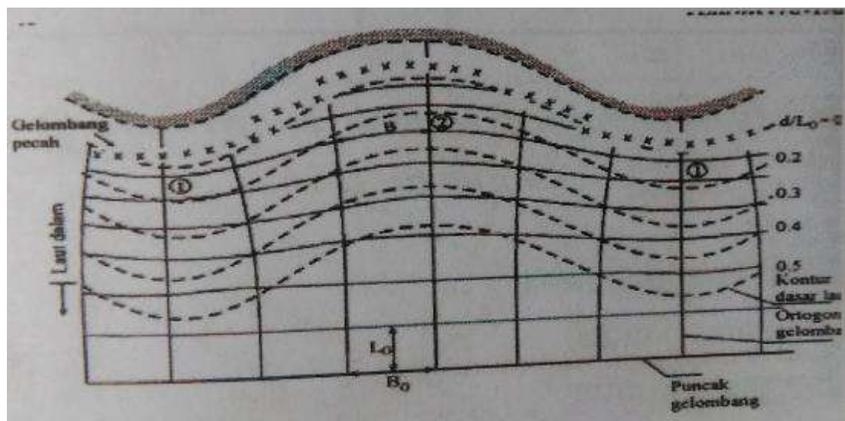
Badan khusus yang menangani pembuatan peta batimetri di Indonesia adalah Dinas Hidro Oseanografi (Dishidros) TNI AL. Peta batimetri berbeda dengan peta topografi atau geologi, peta ini hanya

bisa didapatkan dengan menghubungi secara langsung Dishidros TNI AL dan mengikuti beberapa prosedur yang cukup rumit dan panjang.

II.3.3.3. Refraksi

Suatu gelombang dapat mengalami suatu deformasi (perubahan bentuk) dimana salah satunya dipengaruhi oleh perubahan kedalaman laut. Perubahan akibat kedalaman dasar laut hanya berpengaruh di perairan laut dangkal dan transisi, hal ini tidak berlaku di perairan laut dalam dimana jarak antara permukaan air dan dasar laut sangat jauh. Bagian puncak gelombang di perairan laut dangkal dan transisi menjaral dengan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan di perairan laut dalam, hal tersebut akan membelokkan garis puncak gelombang dan berusaha sejajar dengan garis kontur dasar laut. Fenomena ini dianalogikan seperti cahaya memasuki dua medium yang berbeda. (Priandoko, 2015).

Jika cepat rambat gelombang berkurang karena kedalaman laut maka panjang gelombang juga akan berkurang secara linear. Pada puncak gelombang terjadi variasi cepat rambat gelombang yang membentuk sudut tertentu terhadap kontur dasar laut dengan adanya variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan berusaha sejajar dengan kontur dasar laut. Refraksi menyebabkan perubahan arah gelombang dan akan menghasilkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan berpengaruh pada energi gelombang yang sampai di pantai. (Priandoko, Yuno. 2015).

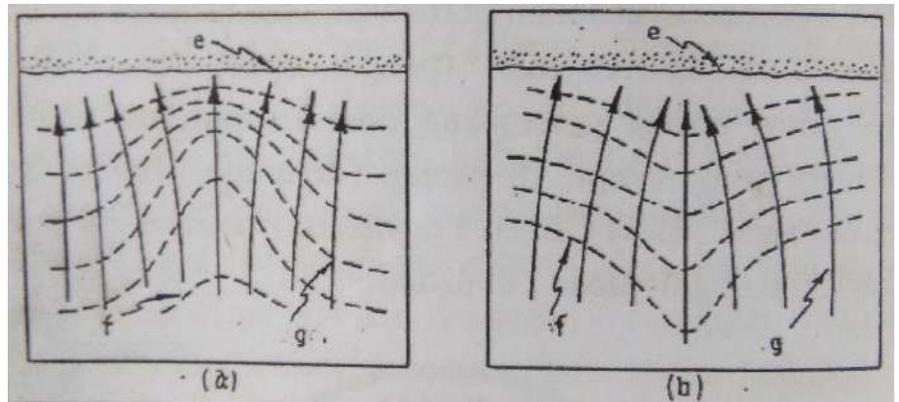


Gambar 2.9 Refraksi gelombang

(Triatmojo, 1999 dalam Priandoko, 2015)

Pada gambar terlihat bahwa garis puncak gelombang berubah mengikuti kontur dasar laut dan garis pantai. Garis ortogonal gelombang menyebar dalam arah menuju tegak lurus garis kontur. Pada lokasi 1, garis ortogonal gelombang menguncup sedangkan di lokasi 2 garis ortogonal gelombang menyebar. Energi di antara dua garis ortogonal adalah konstan. Pada lokasi 1 energi yang terkandung lebih besar daripada lokasi 2 karena jarak antar garis ortogonal pada lokasi 1 lebih kecil daripada lokasi 2. Jika merencanakan pembangkit listrik energi gelombang, lokasi 1 lebih cocok daripada lokasi 2 karena energi dari gelombang yang dihasilkan besar. (Triatmojo, Bambang. 1999).

Pada **Gambar 2.10**. Bahwa arah gelombang datang cenderung untuk mendekati garis normal garis kontur maka gelombang cenderung kepunggungan atau menjauhi lembah.



Gambar 2.10a. Refraksi di lembah, **b.** Refraksi di Punggungan
(Ardianto, 1996 dalam Priandoko, 2015)

Keterangan gambar :

e = garis pantai

F = garis kontur

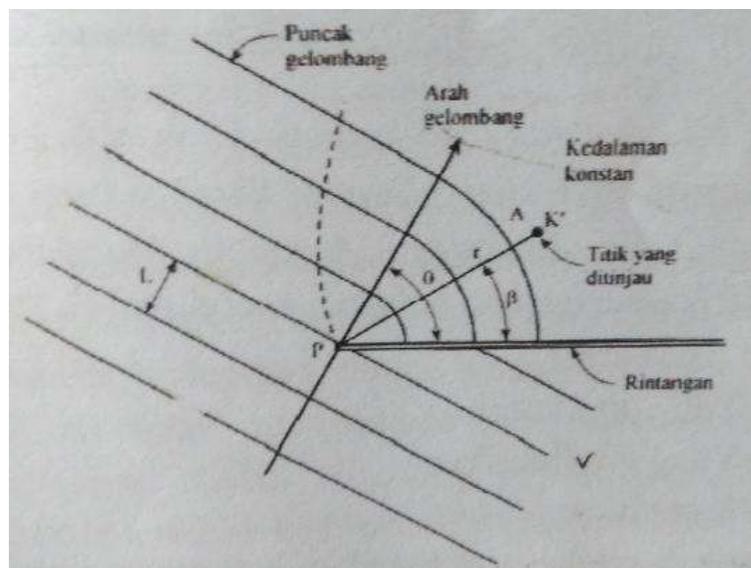
g = garis puncak ombak

Pada daerah lembah, **Gambar 2.10a**, arah gelombang berbelok menuju punggungnya maka gelombang menyebar. Dengan gelombang menyebar mengakibatkan kerapatan dari energi gelombang menjadi kecil. Daerah seperti ini disebut daerah *divergen*. Pada **Gambar 2.10b**. Energi gelombang menjadi terpusat, maka daerah ini disebut daerah *konvergen*. (Ardianto, 1996 dalam Priandoko, 2015). Daerah *konvergen* inilah yang lebih cocok untuk lokasi pembangkit listrik

tenaga gelombang karena gelombang yang terpusat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar dibanding *divergen*.

II.3.3.4. Difraksi

Defraksi gelombang terjadi apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan, maka gelombang tersebut berbelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung dibelakang rintangan tersebut. Peristiwa tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 2.11**. Pada peristiwa ini terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus perjalanan gelombang menuju daerah yang terlindung, jika tidak terjadi difraksi maka daerah di belakang rintangan akan tetap tenang. Transfer energi tersebut menimbulkan gelombang didaerah tersebut. (Triatmojo, 1999 dalam Priandoko, 2015).

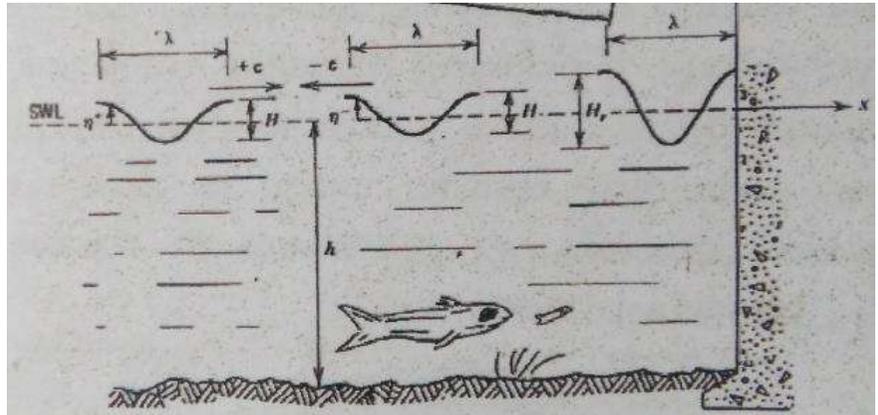


Gambar 2.11. Difraksi gelombang di belakang rintangan

(Triatmojo, 1999 dalam Priandoko, 2015)

II.3.3.5. Refleksi

Refleksi terjadi ketika gelombang membentur suatu bidang vertikal, seperti karang/dinding pantai, energi gelombang tersebut akan diserap sebagian dan sebagian yang lain akan dipantulkan, tapi pada dasarnya akan dipantulkan seluruhnya jika permukaan dari dinding/rintangan berbentuk sempurna. Refleksi dapat dikatakan peristiwa pemantulan energi gelombang akibat membentur suatu rintangan.



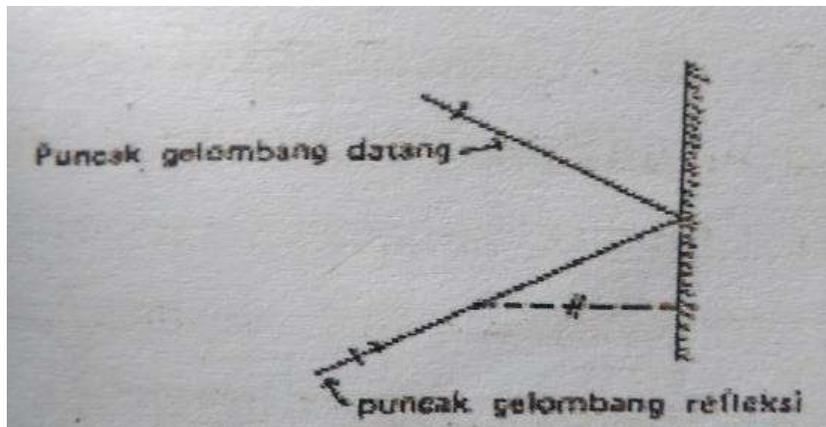
Gambar 2.12. Refleksi

(McCormick, Michael E, 1981 dalam Priandoko, 2015)

Ketika mengalami refleksi, energi gelombang terurai menjadi tiga unsur, yaitu :

- a. Diteruskan
- b. Dipantulkan
- c. Hilang

Tinggi gelombang setelah refleksi akan berkurang dibandingkan dengan tinggi gelombang yang akan datang.



Gambar 2.13. Refleksi pada dinding vertikal

(Ardianto, 1996 dalam Priandoko, 2015)

II.3.4. Perhitungan Energi Gelombang

Gelombang laut memiliki suatu energi (energi gelombang). Energi gelombang total adalah total energi kinetik dan energi potensial. Adapun energi potensial dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$PE = m \cdot g \cdot \frac{y(x,t)}{2} \quad (6)$$

Dengan :

PE = energi potensial (J)

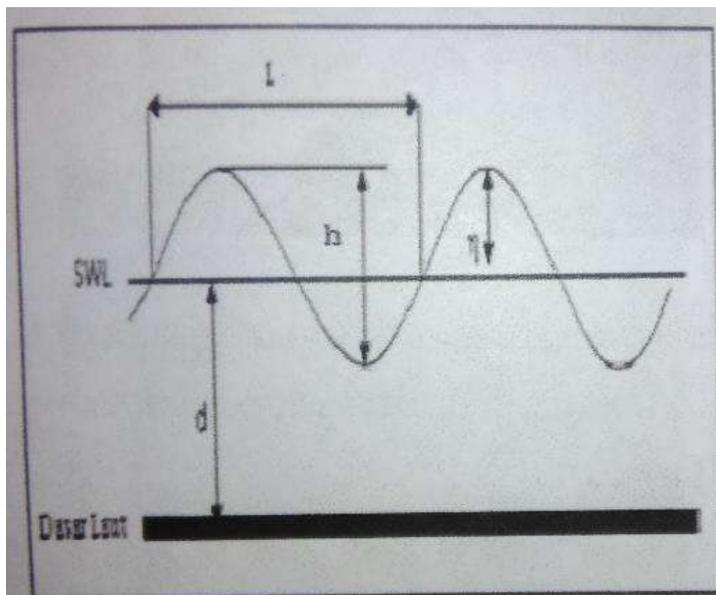
m = massa gelombang (kg)

g = gaya grafitasi (m/s²)

y = y(x,t) = tinggi dari dasar laut ke permukaan (d + η)

(Mc Cormick, Michael, 1981 dalam Priandoko, 2015)

Gelombang laut memiliki properti seperti gelombang jenis lainnya, yaitu memili amplitudo, frekuensi, periode, dll. Hal tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Profil Gelombang Beserta Propertinya

(Arseto, Rahdyawan, 1996 dalam Priandoko, 2015)

Keterangan gambar :

λ = panjang gelombang

h = tinggi gelombang

d = kedalaman

SWL = *Sea Water Level*

η = amplitudo gelombang

c = kecepatan gelombang

Dalam menghitung energi potensial dari gelombang setelah satu periode, dapat diasumsikan gelombang hanya dalam fungsi 'x' dan waktu yang bebas, yaitu $y(x,t) = y(x)$. Maka,

$$dPE = 0,5 w. \rho. a^2. \sin^2 (kx - \omega t) dx \quad (7)$$

$$\begin{aligned} PE &= \int_0^\lambda dPE \\ &= \int_0^\lambda \frac{1}{2} w. \rho. g. a^2. \sin^2. (kx - \omega t) dx \\ &= \frac{1}{2} w. \rho. g. a^2. \sin^2. (kx - \omega t) dx \end{aligned} \quad (8)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981 dalam Priandoko, 2015).

Mempertimbangkan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = \frac{2\pi}{T}$ maka didapatkan :

$$PE = \frac{1}{4} w. \rho. g. a^2. \lambda \quad (9)$$

Maka total energi kinetik setelah satu periode adalah hasil total energi potensial.

$$KE = \frac{1}{4} w. \rho. g. a^2. \lambda \quad (10)$$

Sehingga total energi setelah satu periode yaitu :

$$E_w = KE + PE = \frac{1}{4} w. \rho. g. a^2. \lambda \quad (11)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981 dalam Priandoko, 2015).

Parameter jumlah lain dapat ditambahkan setelah energi diperoleh, seperti densitas energi, yang tersedia pada daya dan densitas respektif.

Densitas energi :

$$E_{wD} = \frac{E_w}{T} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \quad (12)$$

Power :

$$P_w = \frac{E_w}{T} \quad (13)$$

Densitas power :

$$E_{wD} = \frac{P_w}{\lambda w} = \frac{1}{2T} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \quad (14)$$

Sekarang dipertimbangkan tentang kedalaman air, sehingga persamaannya menjadi :

$$\omega^2 = k \cdot g \rightarrow \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot g \right) \rightarrow \lambda = \frac{g}{2\pi} \cdot T^2 \approx 1,56T^2 \quad (15)$$

Diterapkan $\lambda = 1,56T^2$ pada persamaan energi dan daya di atas.

$$E_w = 0,78 \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot T^2 \quad (16)$$

$$P_{wD} = \frac{1}{8} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot T \quad (17)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981 dalam Priandoko, 2015).

Jika menggunakan tinggi gelombang daripada amplitudo gelombang, maka :

$$E_w = 0,195 \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot T^2 \quad (18)$$

$$E_{wD} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \quad (19)$$

$$P_w = 0,195 \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot T \quad (20)$$

$$P_{wD} = \frac{1}{8 \cdot T} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \quad (21)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981 dalam Priandoko, 2015).

Dengan :

KE = energi kinetik (J)

PE = energi potensial (J)

ρ = densitas air (kg/m^3)

w = lebar gelombang (m)

a = amplitudo gelombang h/2 atau η (m)

E_w = energi total (J)

P_w = daya (W)

k = koefisien gelombang $\frac{2\pi}{\lambda}$

ω = kecepatan sudut gelombang $\frac{2\pi}{T}$ (rad/sec)

T = periode gelombang (sec)

h = tinggi gelombang (m)

II.5. Lampu LED

Lampu LED (Light Emitting Diode) adalah komponen elektronika (dioda) yang dapat memancarkan cahaya ketika mendapatkan tegangan. Penggunaan lampu LED lebih aman karena jarang dilakukan penggantian lampu dan bahannya sudah kedap air (pabrikasi), sedangkan lampu merkuri tidak aman karena tidak kedap air. Lampu LED juga ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan logam berat seperti pada compact 6 fluorescent (CFL) mengandung logam berat sekitar 1-5 mg, dan lampu merkuri 46.513 mg/L. (Sulaiman, Jaya, & Baskoro, 2006 dalam Adita, 2017).

Lampu LED memiliki kelebihan dibandingkan lampu konvensional, antara lain:

1. Lampu LED lebih hemat energi karena hampir 99 persen energi listrik diubah menjadi foton yang menghasilkan cahaya. Hampir tidak ada energi listrik yang dijadikan bentuk energi lain.
2. Lampu LED tidak memancarkan dan meradiasikan panas, berbeda pada lampu konvensional sebagian energi menjadi energi panas yang diradiasikan ke sekelilingnya.
3. Lampu LED cocok untuk penggunaan dengan intensitas mati-hidup yang berulang, berbeda dengan lampu TK yang berisiko akan terbakarnya filamen ketika dilakukan *switching* berulang.
4. Lampu LED tidak memerlukan *start up* sehingga lebih hemat energi.
5. Lampu LED mampu diredupkan tanpa mengalami perubahan warna cahaya. Berbeda dengan lampu TL yang tidak dapat diredupkan.
6. Lampu LED adalah lampu ramah lingkungan karena tidak mengandung gas berbahaya seperti merkuri pada lampu konvensional.
7. Lampu LED lebih solid, tidak rapuh, sehingga tidak mudah pecah dan penanganannya lebih mudah.
8. Masa pakai lampu LED lebih lama dibandingkan lampu konvensional.

Tabel 2.2 Perbandingan konsumsi daya dengan intensitas cahaya antara lampu LED dan lampu merkuri. (Sumber : (Sulaiman, 2015 dalam Adita, 2017)

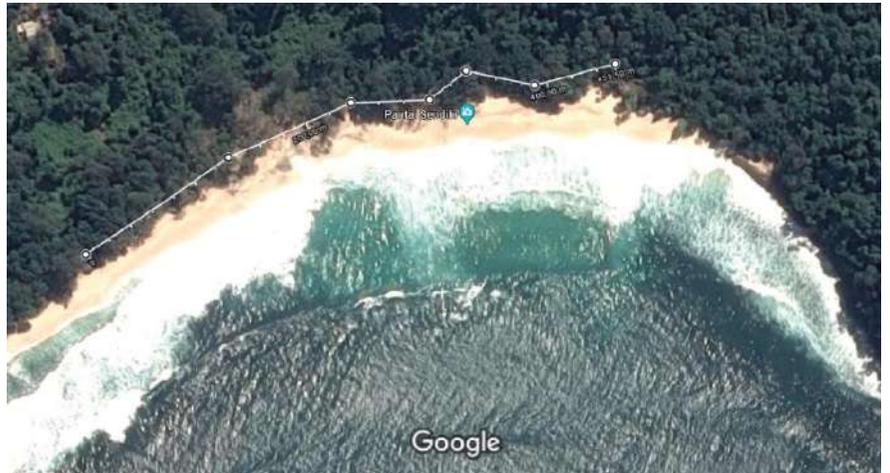
Intensitas Cahaya (Lumen)	Lampu LED (watt)	Konsumsi Lampu LED (watt)	Lampu Merkuri (watt)	Konsumsi Lampu Merkuri(watt)
2100	28	36	75	266
4200	56	75	150	406
8400	112	150	250	616
12800	168	225	400	996

Pada Tabel 2.2 dapat diketahui perbandingan antara lampu LED dan lampu merkuri. Perbandingan berdasarkan intensitas cahaya yang sama untuk mendapatkan jumlah daya yang diperlukan oleh lampu. Misal, untuk mendapatkan intensitas cahaya 4200 lumen, lampu LED membutuhkan daya sebesar 56 watt dengan daya keluaran 75 watt, sedangkan lampu merkuri membutuhkan daya 150 watt dengan daya keluaran 406 watt.

II.6. Wisata Pantai Sendiki

Wisata Pantai Sendiki merupakan wisata pantai yang berlokasi di Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Menurut ulasan di <http://www.nativeindonesia.com> objek wisata ini baru dibuka untuk umum pada tahun 2015. Pengelolaannya pun masih dilakukan oleh pemerintah dusun setempat. Wisata ini memiliki fasilitas yang cukup memadai seperti toilet, mushola, pemandian umum, *camping ground* hingga warung-warung warga yang menjual makanan dan minuman, dan semuanya tertata dengan baik.

Camping ground ini lah salah satu fasilitas andalan sehingga dapat menjadikan Pantai Sendiki wisata 24 jam. Tetapi saat ini, listrik untuk kebutuhan wisata di Pantai Sendiki ini masih disuplai oleh solar panel di beberapa titik dan belum cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik di area Pantai Sendiki, jadi saat malam hari masih disuplai oleh generator diesel. Belum ada data resmi dari pemerintah tentang berapa panjang atau luas area *camping ground* ini, maka saya memakai salah satu *tool* di google maps/google earth untuk mencari panjang area *camping ground* di Pantai Sendiki yaitu 455,5m.

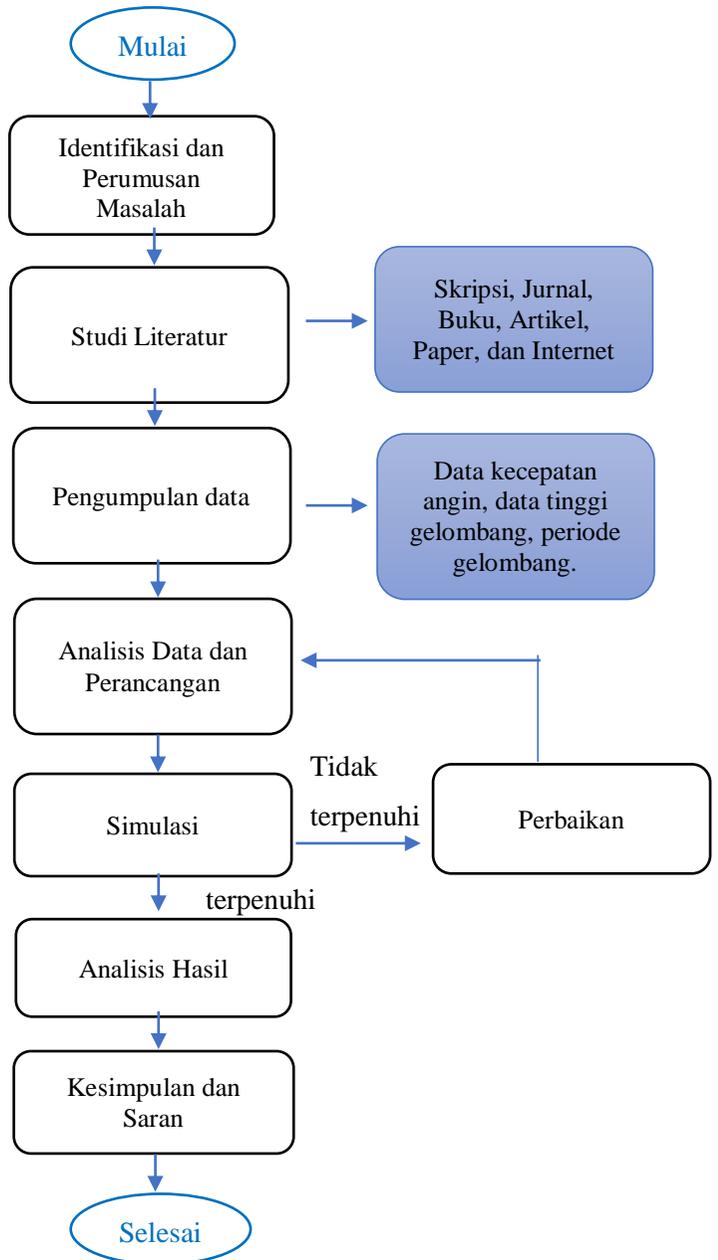


Gambar 2.15 Panjang *Camping Ground* Wisata Pantai Sendiki

(Sumber : <https://maps.google.com>)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODE PENELITIAN



Gambar 3.1. *Flowchart* Metode Penelitian

Metodologi penelitian merupakan sebuah kerangka dasar yang digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian. Kerangka ini berisi tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Penyusunan metodologi adalah untuk mencapai tujuan tugas akhir yang telah disusun dan ditetapkan. Adapun tahapan tersebut yaitu :

III.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Permasalahan yang terjadi perlu diidentifikasi untuk menentukan perumusan masalah apa saja yang akan diambil. Perumusan masalah yaitu sebagai tahap awal dalam pelaksanaan tugas akhir. Pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan pengerjaan tugas akhir.

III.2. Studi Literatur

Tahap studi literatur bertujuan untuk mencari referensi teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan perancangan sistem serta dapat menjadi pedoman dalam pengerjaan tugas akhir ini. Referensi di tugas akhir ini berkaitan dengan generator linear menggunakan magnet permanen sebagai bagian yang bergerak. Adapun fokus proposal skripsi ini yaitu :

1. Generator
Studi literatur mengenai generator berasal dari buku-buku dan referensi lain yang valid.
2. Generator Linear Magnet Permanen
Studi literatur mengenai generator linear magnet permanen berasal dari penelitian-penelitian terdahulu mengenai pengembangan teknologi *wave energy* dan juga referensi lain yang dapat menguatkan penelitian ini.
3. Lampu LED
Studi literatur mengenai kelebihan lampu LED dibandingkan dengan lampu yang lain.

III.3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data berupa informasi-informasi sebagai berikut :

1. Data angin
Data angin didapatkan dari data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Data angin berupa arah mata angin dan kecepatan angin rata-rata tiap bulan.

2. Data gelombang
Data gelombang didapatkan dari data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Data gelombang berupa tinggi gelombang rata-rata setiap bulan.

III.4. Analisis Data dan Perancangan

Setelah melakukan pengumpulan data, selanjutnya dilakukan analisis dan dapat ditentukan dimensi lintasan translator, sehingga perancangan generator linear dapat dilakukan. Adapun beberapa yang perlu ditetapkan yaitu:

1. Jumlah lilitan
Penentuan jumlah lilitan berdasarkan referensi, kebutuhan dan ketersediaan di pasaran.
2. Magnet yang dibutuhkan
Penentuan jenis magnet yang digunakan yaitu berdasarkan kebutuhan dan ketersediaan di pasaran.
3. Desain
Berdasarkan analisis dari data BMKG yang telah didapat, maka akan didapat modus dari tinggi gelombang total setiap jam selama satu tahun 2017, sehingga dapat dibuat desain dari generator linear. Kemudian desain tersebut disimulasikan menggunakan *software* FEMM.

III.5. Simulasi

Setelah rancangan selesai dibuat, selanjutnya dapat dikonversi ke *software* FEMM (Finite Element Method Magnetics) dimana *software* ini adalah salah satu *software* yang dikhususkan sebagai *solver* dari persoalan elektromagnetik frekuensi rendah. Kemudian, rancangan tersebut disimulasikan dengan *software* FEMM dengan masukan data kekuatan magnet, banyak lilitan, dll. maka dari simulasi akan didapatkan keluaran berupa voltase, daya, grafis medan elektromagnetik untuk dianalisis di tahap selanjutnya.

III.6. Analisis Data dan Pembahasan

Pada tahap ini, dilakukan analisis dari data-data yang telah didapatkan sebelumnya. Data tersebut digunakan untuk menentukan terpenuhi atau tidaknya kebutuhan daya dari rancangan tersebut.

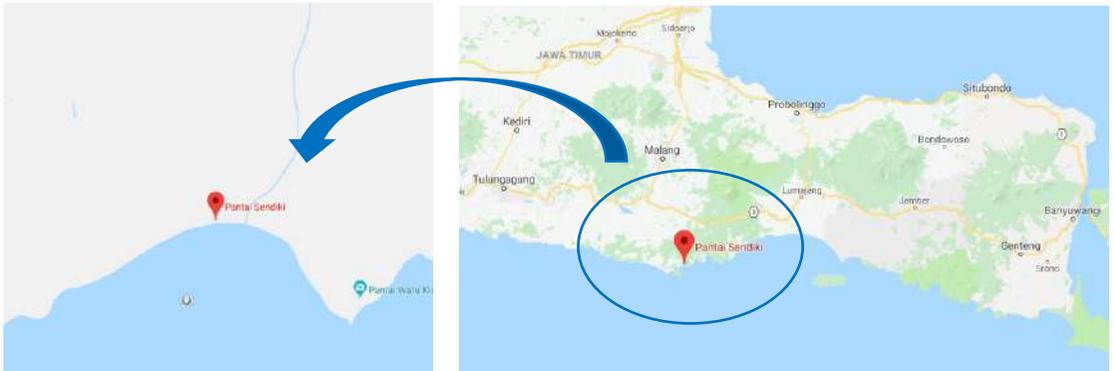
III.7. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir yaitu membuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan, serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Saran diberikan berdasarkan hasil analisis yang dapat dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada penelitian ini ataupun pada data-data dan metodologi yang nantinya akan dijadikan referensi.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pantai Sendiki adalah salah satu pantai yang digunakan untuk wisata, dimana berlokasi di di Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Pantai Sendiki berbatasan langsung dengan samudra, yaitu Samudra Hindia. Pantai Sendiki ini berada pada garis $8,417^{\circ}\text{S}$ – $112,726^{\circ}\text{T}$.



Gambar 4.1 Lokasi Pantai Sendiki, Malang.

(<https://www.google.com/maps/>)

Lokasi Pantai Sendiki yang berbatasan langsung dengan samudra menyebabkan Pantai Sendiki memiliki gelombang yang cukup tinggi. Gelombang terbentuk dari pergerakan angin yang bersinggungan dengan permukaan laut. Adapun data angin dan gelombang laut yang akan digunakan pada skripsi ini, didapatkan dari BMKG Maritim yang berlokasi di Jl. Kalimas Baru No.97B, Surabaya, Jawa Timur. Data tersebut berupa kecepatan angin, arah angin, ketinggian gelombang, periode gelombang dll. yang terekam setiap jam selama kurun waktu satu tahun, tahun 2017. Kemudian data tersebut diolah hingga menunjukkan data rata-rata angin dan gelombang setiap bulan periode 2017, ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Data Angin dan Gelombang Laut Pantai Sendiki, 2017

No.	Bulan	Tahun	Wind Speed (knot)	h Total (m)	h/10 (m)	h/100 (m)	T Total (s)
1	Januari	2017	4,484	1,065	1,352	1,779	5,249
2	Februari	2017	5,716	0,900	1,143	1,503	4,815
3	Maret	2017	5,100	0,982	1,248	1,641	5,032
4	April	2017	4,808	0,748	0,950	1,249	4,876
5	Mei	2017	7,809	0,866	1,100	1,447	4,511
6	Juni	2017	7,259	1,017	1,292	1,699	4,857
7	Juli	2017	8,327	0,983	1,248	1,641	4,630
8	Agustus	2017	7,793	1,000	1,270	1,670	4,744
9	September	2017	6,368	0,782	0,994	1,307	4,463
10	Oktober	2017	6,276	0,908	1,153	1,516	4,689
11	November	2017	4,340	0,787	1,000	1,315	4,714
12	Desember	2017	5,282	0,880	1,118	1,470	4,868
RATA-RATA			6,130	0,910	1,156	1,520	4,787

IV.1. Potensi Energi dan Power Gelombang

Berdasarkan data angin dan gelombang pada **Tabel 4.1** maka dapat dihitung potensi gelombang yang dimiliki Pantai Sendiki. Untuk mencari energi dari gelombang laut tersebut dapat menggunakan rumus pada persamaan (12) yaitu :

$$E_w = 0,195 \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot T^2$$

Dimana :

- ρ = 1025 kg/m³
- w = 5 m (asumsi)
- g = 9,8 m/s²
- T = periode gelombang (sec)
- h = tinggi gelombang (m)

Dengan menggunakan rumus di atas, dapat diperoleh energi gelombang di Pantai Sendiki, Malang Jawa Timur yang kemudian ditampilkan oleh **Tabel 4.2**. Kemudian dari energi tersebut dapat dihitung pula powernya menggunakan persamaan (13) :

$$P_w = \frac{E_w}{T} \cdot 10^{-3}$$

Dimana :

E_w = energi total (J)

P_w = daya (kW)

T = periode gelombang (sec)

h = tinggi gelombang (m)

Sehingga diperoleh daya gelombang yang disajikan pada **Tabel 4.2** :

Tabel 4.2 Energi dan Daya Gelombang

No.	Bulan	Tahun	h	T	E_w (J)	P_w (kW)
1	Januari	2017	1,06	5,25	306.011,09	58,30
2	Februari	2017	0,90	4,82	183.929,65	38,20
3	Maret	2017	0,98	5,03	239.371,04	47,57
4	April	2017	0,75	4,88	130.187,80	26,70
5	Mei	2017	0,87	4,51	149.616,16	33,16
6	Juni	2017	1,02	4,86	239.171,78	49,24
7	Juli	2017	0,98	4,63	202.818,26	43,80
8	Agustus	2017	1,00	4,74	220.438,19	46,47
9	September	2017	0,78	4,46	119.380,63	26,75
10	Oktober	2017	0,91	4,69	177.421,72	37,84
11	November	2017	0,79	4,71	134.913,96	28,62
12	Desember	2017	0,88	4,87	179.907,67	36,96
Rata-Rata			0,910	4,787	190.264,00	39,47

Tabel tersebut menunjukkan besarnya energi gelombang di Pantai Sendiki, energi tersebut cukup besar jika digunakan sebagai pembangkit energi listrik menggunakan generator linear magnet permanen, apalagi jika generator tersebut menggunakan pelampung sebagai *acceptor* energi gelombang tersebut untuk diteruskan menjadi energi mekanik menggerakkan translator.

IV.2. Rancangan Generator

Generator Linear yang akan dirancang pada skripsi ini dimaksudkan sebagai sumber energi alternatif guna menyuplai kebutuhan energi listrik untuk penerangan di area Wisata Pantai Sendiki. Sehingga dalam perencanaan generator tersebut perlu diketahui kebutuhan daya untuk penerangan di Pantai Sendiki tersebut.

Berdasarkan survei secara langsung di lapangan (Wisata Pantai Sendiki), kebutuhan daya listrik untuk penerangan di Pantai Sendiki ditunjukkan oleh tabel 4.3. Waktu pemakaian penerangan diasumsikan selama 13 jam yaitu dari pukul 17.00 hingga pukul 06.00 di keesokan harinya. Adapun spesifikasi dari masing-masing lampu LED atau penerangan yaitu 5W 12V.

Tabel 4.3 Kebutuhan Daya untuk Penerangan di Pantai Sendiki

Beban					
Spot	n	Lampu/Unit	Jumlah Total Lampu	W	Penggunaan/Hari (WattHours)
Rumah Pohon	5	2	10	50	650
Posko Resque	1	2	2	10	130
Toilet	1	5	5	25	325
Mushola	1	2	2	10	130
Campground	1	3	3	15	195
Tangga	1	8	8	40	520
Gerbang Pantai	1	2	2	10	130
Warung Warga	24	6	144	720	9360
Jalan warung	1	8	8	40	520
Area Parkir	1	8	8	40	520
Total				960	12480

Kebutuhan daya yang ditampilkan pada **Tabel 4.3** di atas nantinya harus dapat dipenuhi oleh generator linear yang dirancang. Dalam perancangan generator linear, ada beberapa parameter-parameter yang harus ditetapkan. Parameter tersebut antara lain:

A. Panjang Langkah/*Stroke*

Pada generator linear, salah satu faktor terpenting yaitu dimensi panjang langkah/*stroke* dari linear generator. Hal tersebut penting guna memenuhi periode gelombang laut tersebut. Jika panjang langkah kurang atau tidak sebanding dengan tinggi gelombang, maka gerakan dari translator akan terhenti di beberapa titik yaitu titik mati atas dan titik mati bawah. Hal tersebut menyebabkan periode gelombang berkurang sehingga pergerakan translator juga tidak maksimal.

Panjang langkah/*stroke* untuk rancangan generator linear ini ditentukan berdasarkan modus atau nilai yang sering muncul dari data tinggi gelombang setiap jam selama tahun 2017. Adapun modus dari tinggi gelombang tersebut ditampilkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Modus Tinggi Gelombang

Rentang tinggi gelombang (m)	Frekuensi
0,1 - 0,19	6
0,2 - 0,29	75
0,3 - 0,39	139
0,4 - 0,49	242
0,5 - 0,59	273
0,6 - 0,69	433
0,7 - 0,79	1055
0,8 - 0,89	1192
0,9 - 0,99	1286
1,00 - 1,09	728
1,10 - 1,19	506
1,20 - 1,29	157
1,30 - 1,39	156
1,40 - 1,49	92
1,50 - 1,59	97

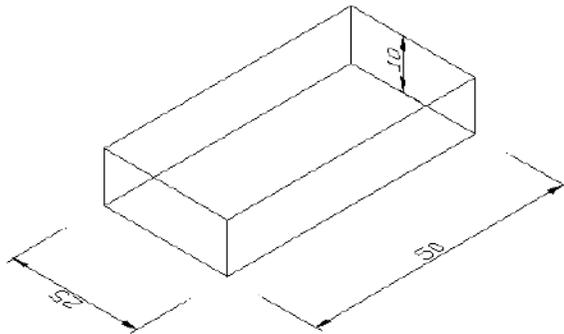
1,60 - 1,69	63
1,70 - 1,79	78
1,80 - 1,89	12
1,90 - 1,99	12
2,00 - 2,09	7

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas maka diketahui bahwa modus dari data gelombang di Pantai Sendiki selama tahun 2017 yaitu memiliki ketinggian gelombang dengan rentang 0,9 – 0,99 m yang muncul 1286 kali. Maka, panjang langkah/*stroke* minimal dari rancangan generator linear yaitu 0,99m atau dibulatkan menjadi 1m. Kemudian panjang langkah/*stroke* tersebut digunakan dalam rancangan generator linear.

B. Magnet Permanen

Magnet permanen pada generator linear adalah sebagai sumber fluks magnet. Besar fluks magnet salah satunya ditentukan oleh jenis magnet yang digunakan. Setiap jenis magnet memiliki kerapatan fluks magnet atau *flux density* yang berbeda-beda. Untuk saat ini, jenis magnet yang memiliki kerapatan fluks magnet terbesar yaitu permanen magnet jenis Neodymium atau NdFeB, dimana memiliki nilai *flux density* lebih dari 1 T (Tesla). Maka, pada skripsi ini, magnet permanen yang akan digunakan yaitu permanen magnet jenis NdFeB yang memiliki densitas fluks sebesar 1,223 T.

Dimensi dari permanen magnet juga menentukan besar fluks magnet yang dihasilkan. Pada skripsi ini, magnet permanen yang akan digunakan dalam rancangan yaitu magnet permanen berbentuk balok, dimana pemilihan dimensinya berdasarkan pencarian di pasar online yang memiliki dimensi terbesar. Maka, ditetapkan bahwa dimensi permanen magnet yang akan digunakan dalam rancangan yaitu magnet NdFeB dengan dimensi panjang 50mm, lebar 25mm, ketebalan 10mm. Kemudian magnet permanen tersebut akan disusun membentuk sebuah silinder pada translator. Setiap silinder terdiri dari 5 buah magnet permanen. Sehingga silinder tersebut memiliki radius (jari-jari) luar sebesar 28,45 mm dan radius (jari-jari) dalam 18,45 mm.



Gambar 4.2 Magnet Permanen

C. Celah Udara

Celah udara adalah jarak antara translator dan dinding stator. Celah udara mempengaruhi fluks magnetik yang dihasilkan. Semakin besar celah udara maka fluks magnetik akan semakin kecil, dan semakin kecil celah udara maka fluks magnetik semakin besar. Berdasarkan referensi (Chiaromonte, 2016) bahwa nilai dari *air gap* atau celah udara memiliki rentang antara 0,8 mm hingga 5 mm bergantung struktur dari mesin elektrik tersebut. Maka, nilai *air gap* atau celah udara pada rancangan generator linear generator yaitu nilai terkecil yaitu 0,8 mm, tetapi untuk mencegah terjadinya friksi antara translator dan dinding stator maka celah udara ditetapkan yaitu 1 mm.

D. Jumlah slot kumparan

Dalam perancangan stator, *winding* atau kumparan dirancang secara parsial menjadi beberapa *slot* kumparan, hal tersebut guna memudahkan mobilitas serta perawaan dari generator linear tersebut. Jumlah *slot* kumparan yaitu banyaknya kumparan yang disusun atau dirangkai pada stator. Banyaknya *slot* bergantung pada panjang langkah/*stroke* di bagi dengan panjang magnet permanen. Pada rancangan ini berarti banyaknya kumparan yaitu sebagai berikut.

$$N_s = \frac{\textit{stroke}}{\textit{panjang PM}}$$

$$N_s = \frac{1000}{50}$$

$$N_s = 20 \textit{ slot}$$

Kemudian masing-masing *slot* tersebut akan diberi lilitan dengan jumlah yang sama. Dimana dalam rancangan ini, jumlah lilitan dirancang setiap *slot* kumparan sebanyak 1000 lilitan. Dalam rancangan, semua *slot* kumparan dirangkai untuk menghasilkan listrik AC 1 fasa, hal ini karena tujuan dari perancangan generator linear ini hanya untuk menyuplai kebutuhan penerangan.

IV.2.1. Rancangan 1

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.5**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

$$f = \text{frekuensi gelombang(Hz)}$$

$$T = \text{Periode gelombang(s)}$$

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 1 ini, rancangan translator menggunakan 2 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

$$A_{\text{magnet}} = \text{luas permukaan magnet (m}^2\text{)}$$

$$B_{\text{max}} = \text{kepadatan fluks magnet maksimum (T)}$$

$$r_0 = 0,02845 \text{ m}$$

$$r_i = 0,01845 \text{ m}$$

$$N_m = 2$$

$$\begin{aligned}
B_r &= 1,223 \text{ T (Neodymium/Nd-Fe-B)} \\
l_m &= 0,05 \text{ m} \\
\delta &= 0,001 \text{ m}
\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times Nm \\
&= 2 \times \pi \times (r_o - r_i) \times l_m \times Nm \\
&= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 2 \\
&= 0,00628 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{\text{max}} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\
&= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\
&= 1,199 \text{ T}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\emptyset_{\text{max}} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}} \\
&= 0,00628 \times 1,199 \\
&= 0,00753 \text{ Wb}
\end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.5**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \emptyset_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

$$\begin{aligned}
E_{\text{rms}} &= \text{Tegangan efektif induksi generator (V)} \\
N &= 1000 \text{ lilitan} \\
f &= \text{frekuensi (Hz)} \\
\emptyset_{\text{max}} &= 0,00753 \text{ (Wb)} \\
N_s &= 20 \text{ kumparan} \\
N_{ph} &= 1 \text{ fasa}
\end{aligned}$$

Tabel 4.5 Tegangan Efektif Rancangan 1

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	127,4
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	138,9
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	132,9
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	137,1
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	148,2
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	137,7
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	144,4
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	141,0
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	149,8
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	142,6
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	141,9
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	137,4
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	139,9

IV.2.2. Rancangan 2

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.6**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 2 ini, rancangan translator menggunakan 4 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti

yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

$$A_{\text{magnet}} = \text{luas permukaan magnet (m}^2\text{)}$$

$$B_{\text{max}} = \text{kerapatan fluks magnet maksimum (T)}$$

$$r_0 = 0,02845 \text{ m}$$

$$r_i = 0,01845 \text{ m}$$

$$N_m = 4$$

$$B_r = 1,223 \text{ T (Neodymium/Nd-Fe-B)}$$

$$l_m = 0,05 \text{ m}$$

$$\delta = 0,001 \text{ m}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_0 - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 4 \\ &= 0,01256 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{\text{max}} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\ &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\ &= 1,199 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{max}} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}} \\ &= 0,01256 \times 1,199 \\ &= 0,01506 \text{ Wb} \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.6**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

- E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)
 N = 1000 lilitan
 f = frekuensi (Hz)
 Φ_{max} = 0,01506 (Wb)
 N_s = 20 kumparan
 N_{ph} = 1 fasa

Tabel 4.6 Tegangan Efektif Rancangan 2

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	254,8
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	277,7
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	265,7
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	274,3
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	296,4
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	275,3
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	288,8
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	281,9
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	299,7
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	285,2
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	283,7
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	274,7
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	279,9

IV.2.3. Rancangan 3

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.7**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 3 ini, rancangan translator menggunakan 6 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

$$A_{\text{magnet}} = \text{luas permukaan magnet (m}^2\text{)}$$

$$B_{\text{max}} = \text{kerapatan fluks magnet maksimum (T)}$$

$$r_0 = 0,02845 \text{ m}$$

$$r_i = 0,01845 \text{ m}$$

$$N_m = 6$$

$$B_r = 1,223 \text{ T (Neodymium/Nd-Fe-B)}$$

$$l_m = 0,05 \text{ m}$$

$$\delta = 0,001 \text{ m}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_0 - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 6 \\ &= 0,01884 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{\text{max}} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\ &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\ &= 1,199 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{max}} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}} \\ &= 0,01884 \times 1,199 \\ &= 0,02259 \text{ Wb} \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan terganggan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.7**.

$$E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)

N = 1000 lilitan

f = frekuensi (Hz)

Φ_{max} = 0,02259 (Wb)

N_s = 20 kumparan

N_{ph} = 1 fasa

Tabel 4.7 Tegangan Efektif Rancangan 3

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	382,1
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	416,6
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	398,6
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	411,4
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	444,6
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	413,0
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	433,2
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	422,9
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	449,5
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	427,8
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	425,6
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	412,1
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	419,8

IV.2.4. Rancangan 4

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.8**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 4 ini, rancangan translator menggunakan 8 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

A_{magnet} = luas permukaan magnet (m^2)

B_{max} = kerapatan fluks magnet maksimum (T)

r_0 = 0,02845 m

r_i = 0,01845 m

N_m = 8

B_r = 1,223 T (Neodymium/Nd-Fe-B)

l_m = 0,05 m

δ = 0,001 m

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_0 - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 8 \\ &= 0,02512 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{\max} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\
 &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\
 &= 1,199 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_{\max} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\max} \\
 &= 0,02512 \times 1,199 \\
 &= 0,03012 \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.8**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \times \frac{N_s}{N_{\text{ph}}}$$

dimana :

E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)

N = 1000 lilitan

f = frekuensi (Hz)

Φ_{\max} = 0,03012 (Wb)

N_s = 20 kumparan

N_{ph} = 1 fasa

Tabel 4.8 Tegangan Efektif Rancancangan 4

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	509,5
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	555,5
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	531,5
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	548,5
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	592,9
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	550,7
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	577,6
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	563,8
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	599,3

10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	570,4
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	567,4
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	549,4
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	559,7

IV.2.5. Rancangan 5

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.9**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 5 ini, rancangan translator menggunakan 10 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

A_{magnet} = luas permukaan magnet (m²)

B_{max} = kerapatan fluks magnet maksimum (T)

r_0 = 0,02845 m

r_i = 0,01845 m

N_m = 10

B_r = 1,223 T (Neodymium/Nd-Fe-B)

$$l_m = 0,05 \text{ m}$$

$$\delta = 0,001 \text{ m}$$

Maka,

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times Nm$$

$$= 2 \times \pi \times (r_o - r_i) \times l_m \times Nm$$

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 10$$

$$= 0,0314 \text{ m}^2$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001}$$

$$= 1,199 \text{ T}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

$$= 0,0314 \times 1,199$$

$$= 0,03769 \text{ Wb}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.9**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)

N = 1000 lilitan

f = frekuensi (Hz)

Φ_{max} = 0,03769 (Wb)

N_s = 20 kumparan

N_{ph} = 1 fasa

Tabel 4.9 Tegangan Efektif Rancancangan 5

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	636,9
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	694,3
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	664,4

4	April	2017	0,748	4,876	0,205	685,6
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	741,1
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	688,3
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	722,1
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	704,8
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	749,1
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	713,0
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	709,3
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	686,8
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	699,6

IV.2.6. Rancangan 6

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.10**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 6 ini, rancangan translator menggunakan 12 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\max} = A_{\text{magnet}} \times B_{\max}$$

dimana:

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= \text{luas permukaan magnet (m}^2\text{)} \\ B_{\max} &= \text{kerapatan fluks magnet maksimum (T)} \\ r_0 &= 0,02845 \text{ m} \\ r_i &= 0,01845 \text{ m} \\ N_m &= 12 \\ B_r &= 1,223 \text{ T (Neodymium/Nd-Fe-B)} \\ l_m &= 0,05 \text{ m} \\ \delta &= 0,001 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_0 - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 12 \\ &= 0,03768 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{\max} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\ &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\ &= 1,199 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\max} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\max} \\ &= 0,03768 \times 1,199 \\ &= 0,045179 \text{ Wb} \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.10**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= \text{Tegangan efektif induksi generator (V)} \\ N &= 1000 \text{ lilitan} \\ f &= \text{frekuensi (Hz)} \\ \Phi_{\max} &= 0,045179 \text{ (Wb)} \\ N_s &= 20 \text{ kumparan} \\ N_{ph} &= 1 \text{ fasa} \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Tegangan Efektif Rancangan 6

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	764,3
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	833,2
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	797,2
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	822,8
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	889,3
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	826,0
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	866,5
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	845,7
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	899,0
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	855,6
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	851,1
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	824,1
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	839,6

IV.2.7. Rancangan 7

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.11**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 7 ini, rancangan translator menggunakan 14

silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

$$A_{\text{magnet}} = \text{luas permukaan magnet (m}^2\text{)}$$

$$B_{\text{max}} = \text{kerapatan fluks magnet maksimum (T)}$$

$$r_0 = 0,02845 \text{ m}$$

$$r_i = 0,01845 \text{ m}$$

$$N_m = 14$$

$$B_r = 1,223 \text{ T (Neodymium/Nd-Fe-B)}$$

$$l_m = 0,05 \text{ m}$$

$$\delta = 0,001 \text{ m}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_0 - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 14 \\ &= 0,04396 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{\text{max}} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\ &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\ &= 1,199 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{max}} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}} \\ &= 0,04396 \times 1,199 \\ &= 0,05271 \text{ Wb} \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.11**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

- E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)
 N = 1000 lilitan
 f = frekuensi (Hz)
 Φ_{max} = 0,05271 (Wb)
 N_s = 20 kumparan
 N_{ph} = 1 fasa

Tabel 4.11 Tegangan Efektif Rancangan 7

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	764,3
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	833,2
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	797,2
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	822,8
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	889,3
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	826,0
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	866,5
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	845,7
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	899,0
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	855,6
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	851,1
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	824,1
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	839,6

IV.2.8. Rancangan 8

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.12**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 8 ini, rancangan translator menggunakan 16 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

A_{magnet} = luas permukaan magnet (m²)

B_{max} = kerapatan fluks magnet maksimum (T)

r_0 = 0,02845 m

r_i = 0,01845 m

N_m = 16

B_r = 1,223 T (Neodymium/Nd-Fe-B)

l_m = 0,05 m

δ = 0,001 m

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_0 - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 16 \\ &= 0,05024 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{\text{max}} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\ &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\ &= 1,199 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{max}} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}} \\ &= 0,05024 \times 1,199 \\ &= 0,060239 \text{ Wb} \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.12**.

$$E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)

N = 1000 lilitan

f = frekuensi (Hz)

Φ_{max} = 0,060239 (Wb)

N_s = 20 kumparan

N_{ph} = 1 fasa

Tabel 4.12 Tegangan Efektif Rancangan 8

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	1019,0
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	1110,9
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	1063,0
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	1097,0
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	1185,7
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	1101,3
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	1155,3
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	1127,7
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	1198,6
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	1140,8
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	1134,9
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	1098,8
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	1119,4

IV.2.9. Rancangan 9

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.13**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 9 ini, rancangan translator menggunakan 18 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

A_{magnet} = luas permukaan magnet (m²)

B_{max} = kerapatan fluks magnet maksimum (T)

r_0 = 0,02845 m

r_i = 0,01845 m

N_m = 18

B_r = 1,223 T (Neodymium/Nd-Fe-B)

l_m = 0,05 m

δ = 0,001 m

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_0 - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 18 \\ &= 0,05652 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{\max} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\
 &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\
 &= 1,199 \text{ T}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_{\max} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\max} \\
 &= 0,05652 \times 1,199 \\
 &= 0,067769 \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.13**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \times \frac{N_s}{N_{\text{ph}}}$$

dimana :

E_{rms} = Tegangan efektif induksi generator (V)

N = 1000 lilitan

f = frekuensi (Hz)

Φ_{\max} = 0,067769 (Wb)

N_s = 20 kumparan

N_{ph} = 1 fasa

Tabel 4.13 Tegangan Efektif Rancancangan 9

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	1146,4
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	1249,8
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	1195,9
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	1234,2
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	1333,9
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	1239,0
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	1299,7
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	1268,6
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	1348,5

10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	1283,4
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	1276,7
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	1236,2
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	1259,4

IV.2.10. Rancangan 10

Perhitungan tegangan efektif sebagai tahap awal perancangan generator linear magnet permanen. Dalam perhitungan ini menggunakan data rata-rata periode gelombang dari data BMKG Maritim 2017. Kemudian data tersebut digunakan dalam menghitung nilai frekuensi gelombang menggunakan persamaan (2). Hasil dari perhitungan di tampilkan pada **Tabel 4.14**.

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana :

f = frekuensi gelombang(Hz)

T = Periode gelombang(s)

Kemudian fluks magnet dari magnet permanen yang digunakan (NdFeB), dihitung menggunakan persamaan (3), dimana diperlukan pula persamaan (4) dan (5) guna mendapatkan nilai untuk persamaan (3) tersebut. Pada rancangan 10 ini, rancangan translator menggunakan 20 silinder yang masing-masing silinder terdiri dari 5 magnet batang seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Radius luar dan dalam dari silinder yang terbentuk inilah yang akan dimasukkan dalam persamaan guna mendapatkan nilai fluks magnet.

$$A_{\text{magnet}} = 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m$$

$$B_{\text{max}} = B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta}$$

$$\Phi_{\text{max}} = A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}}$$

dimana:

A_{magnet} = luas permukaan magnet (m²)

B_{max} = kerapatan fluks magnet maksimum (T)

r_0 = 0,02845 m

r_i = 0,01845 m

N_m = 20

$$\begin{aligned} B_r &= 1,223 \text{ T (Neodymium/Nd-Fe-B)} \\ l_m &= 0,05 \text{ m} \\ \delta &= 0,004 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{\text{magnet}} &= 2 \times \pi \times r \times l_m \times N_m \\ &= 2 \times \pi \times (r_o - r_i) \times l_m \times N_m \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot (0,02845 - 0,01845) \cdot 0,05 \cdot 20 \\ &= 0,0628 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{\text{max}} &= B_r \times \frac{l_m}{l_m + \delta} \\ &= 1,223 \times \frac{0,05}{0,05 + 0,001} \\ &= 1,199 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{max}} &= A_{\text{magnet}} \times B_{\text{max}} \\ &= 0,0628 \times 1,199 \\ &= 0,075298 \text{ Wb} \end{aligned}$$

Setelah nilai fluks ditemukan dan parameter lain sudah diketahui maka selanjutnya menghitung tegangan efektif menggunakan persamaan (1). Frekuensi di dalam persamaan tersebut berdasarkan frekuensi gelombang laut yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil dari perhitungan tegangan efektif ditampilkan pada **Tabel 4.14**.

$$E_{\text{rms}} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\text{max}} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

dimana :

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= \text{Tegangan efektif induksi generator (V)} \\ N &= 1000 \text{ lilitan} \\ f &= \text{frekuensi (Hz)} \\ \Phi_{\text{max}} &= 0,075298 \text{ (Wb)} \\ N_s &= 20 \text{ kumparan} \\ N_{ph} &= 1 \text{ fasa} \end{aligned}$$

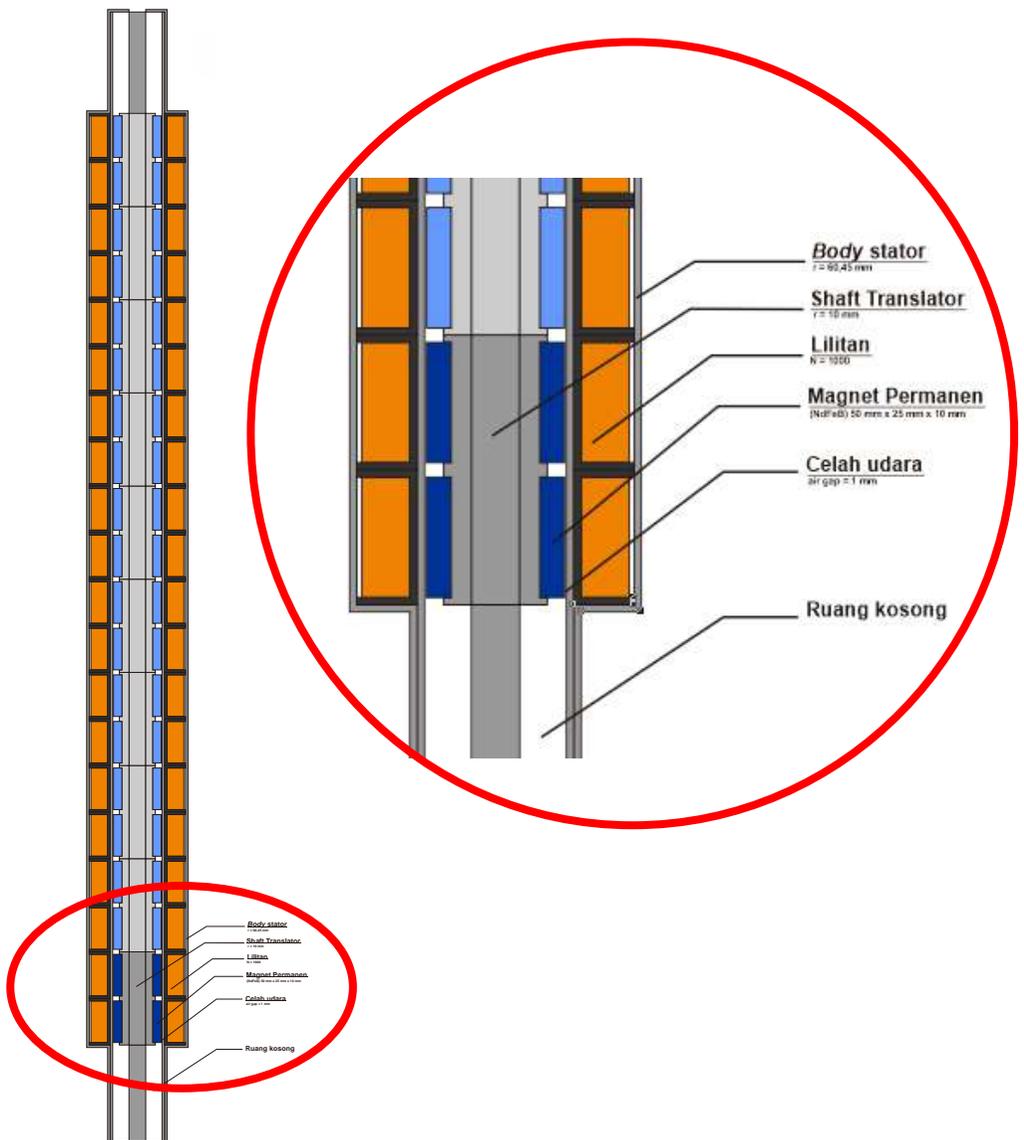
Tabel 4.14 Tegangan Efektif Rancangan 10

No.	Bulan	Tahun	h Total (m)	T Total (s)	f (Hz)	E eff (V)
1	Januari	2017	1,065	5,249	0,191	1273,8
2	Februari	2017	0,900	4,815	0,208	1388,7
3	Maret	2017	0,982	5,032	0,199	1328,7
4	April	2017	0,748	4,876	0,205	1371,3
5	Mei	2017	0,866	4,511	0,222	1482,1
6	Juni	2017	1,017	4,857	0,206	1376,7
7	Juli	2017	0,983	4,630	0,216	1444,1
8	Agustus	2017	1,000	4,744	0,211	1409,6
9	September	2017	0,782	4,463	0,224	1498,3
10	Oktober	2017	0,908	4,689	0,213	1426,0
11	November	2017	0,787	4,714	0,212	1418,6
12	Desember	2017	0,880	4,868	0,205	1373,6
RATA-RATA			0,910	4,787	0,209	1399,3

Dari semua rancangan (1-10) dapat diketahui bahwa jumlah magnet permanen yang digunakan pada translator memengaruhi tegangan keluaran dari generator linear magnet permanen. Diketahui juga bahwa tegangan efektif yang dihasilkan generator berbanding lurus dengan frekuensi gelombang atau berbanding terbalik dengan periode gelombangnya. Hal ini menunjukkan bahwa banyak gerakan translator inilah yang berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan atau dapat diartikan bahwa translator harus terus bergerak.

IV.3. Permodelan Linear Generator

Perhitungan tegangan efektif menjadi perhitungan awal dimana nantinya menjadi acuan perancangan generator linear menggunakan software autoCAD. Rancangan tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 4.3**.

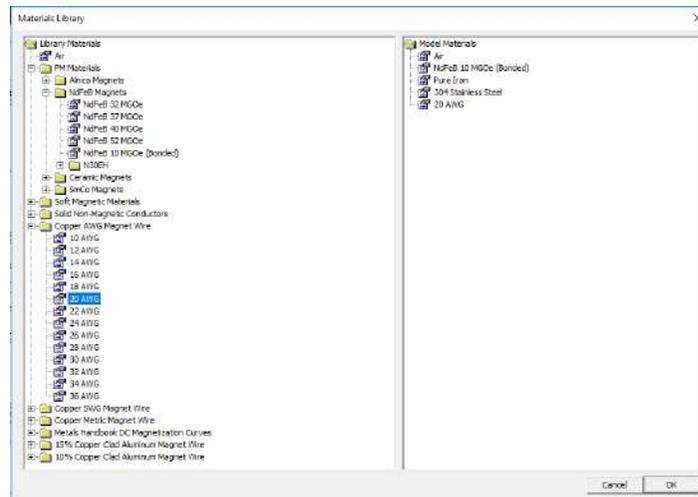


Gambar 4.3 Rancangan generator

Rancangan tersebut kemudian diterapkan ke software FEMM (Finite Element Method Magnetics) yang desainnya menggunakan titik-titik koordinat. Kemudian, desain tersebut dimulasikan, dimana software FEMM ini adalah salah satu software yang dikhususkan sebagai solver dari persoalan elektromagnetik frekuensi rendah.

A. Struktur Stator

Salah satu parameter dari stator yaitu celah udara (*air gap*). Celah udara dirancang sekecil mungkin atau translator sedekat mungkin dengan stator tetapi tidak boleh sampai terjadi friksi. Di dalam software FEMM sudah tersedia beberapa material yang dapat digunakan untuk membuat sebuah rancangan (**Gambar 4.4** Materials Library). Adapun daftar material yang tersedia pada FEMM telah disertakan (terlampir).



Gambar 4.3 Materials Library

Adapun parameter dari stator yang digunakan ditunjukkan oleh Tabel 4.15 Parameter Stator. Parameter ini berdasarkan tegangan efektif yang telah dihitung sebelumnya.

Tabel 4.15 Parameter Stator

Stator	Nilai	Satuan
Jumlah Fasa	1	
Air gap	1	mm
radius luar slot	57,45	mm
radius dalam slot	32,45	mm
Ketinggian slot	56	mm
Banyak kumparan	20	

Banyak lilitan tiap kumparan	1000	
Kabel AWG	20	AWG

B. Struktur Translator

Generator linear dirancang menggunakan magnet permanen jenis NdFeB dimana memiliki *flux density* yang lebih besar dibandingkan permanen magnet jenis yang lain. *Flux density* yaitu kerapatan fluks yang melewati suatu area. Adapun parameter dari translator ditunjukkan oleh Tabel 4.16 Parameter Translator.

Tabel 4.16 Parameter Translator

Stator	Nilai	Satuan
Magnet permanen	NdFeB 10MGOe	
Br	1,223	T
<i>PM force</i>	445,634	kA/m
<i>PM length</i>	50	mm
<i>PM width</i>	10	mm
<i>Shaft thickness</i>	10	mm

Parameter-parameter tersebut (jenis material, banyak lilitan, jenis rangkaian kumparannya, dan parameter lainnya) kemudian dimasukkan ke dalam rancangan generator di FEMM. Rancangan tersebut kemudian di-*meshing*. Adapun langkah-langkah dalam penggunaan FEMM adalah sebagai berikut :

A. Preprocessor

Tahap *preprocessor* adalah tahap awal atau tahap desain perencanaan pada *software* FEMM.

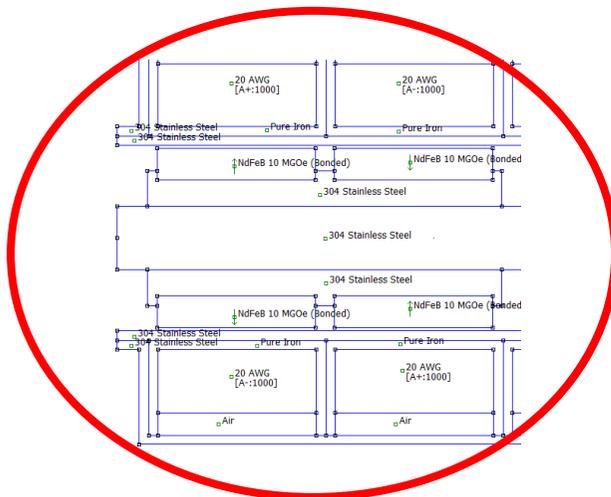
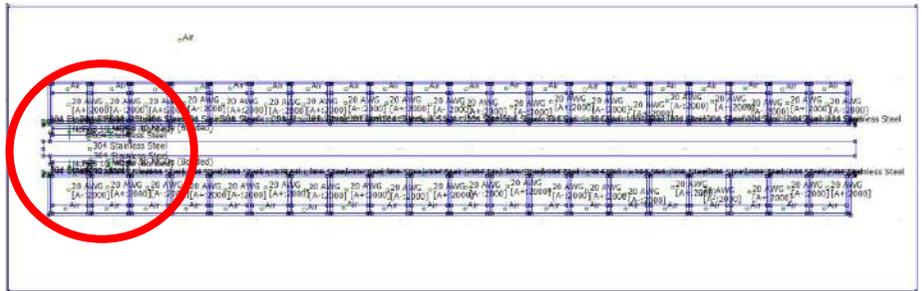
1. Membuat titik – titik koordinat berdasarkan desain yang telah dibuat sebelumnya dengan aplikasi autoCAD.
Klik ‘new’ > Magnetics problem > pilih di *toolbar* ‘nodes’ > klik ‘Tab’ pada *keyboard* > masukkan nilai koordinat ‘x’ dan ‘y’.
2. Menyambungkan antar titik-titik koordinat.
Pilih di *toolbar* ‘segments’ > gunakan klik kiri pada ‘mouse’ untuk menggabungkan titik-titik koordinat tersebut.

3. Persiapkan material yang akan digunakan
Pilih pada *menubar* 'properties' > pilih 'materials library' > pilih material-material yang akan digunakan, lalu drag ke kolom sebelah kanan.
4. Masukkan material-material yang telah ditetapkan.
Pilih di *toolbar* 'block labels' > klik di tengah kotak untuk memberikan 'labels' material > klik kanan pada 'titik labels' > klik 'spasi' pada *keyboard* > pilih 'block type' > pilih material yang diinginkan.
5. Buat rancangan sirkuit
Pilih pada *menubar* 'properties' > pilih 'circuits' > pilih 'add property' > beri nama sirkuit > pilih jenis rangkaian 'series' > masukkan nilai arus. Buat 2 sirkuit dengan nilai arus yang berbeda 'negatif' dan 'positif'.
6. Masukkan sirkuit yang dibuat pada blok
Pilih di *toolbar* 'block labels' > klik di tengah kotak untuk memberikan 'labels' material > klik kanan pada 'titik labels' > klik 'spasi' pada *keyboard* > pilih 'block type' > pilih material yang diinginkan. Kemudian pilih 'in circuit' > pilih sirkuit yang digunakan. Kemudian pilih 'number of turns' > masukkan jumlah lilitan.
7. Pemberian permasalahan
Pilih pada *menubar* 'problem' > isi parameter-parameter yang digunakan.
8. Melakukan *meshing*
Pilih di *toolbar* 'mesh generator'.
9. Melakukan *analyze*
Pilih di *toolbar* 'run analysis'.

B. Postprocessor

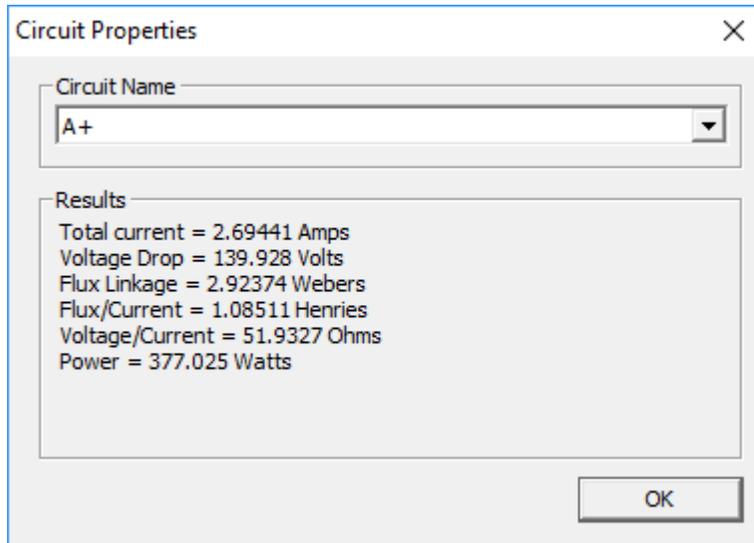
Tahap *postprocessor* adalah tahap melihat hasil dari analisis pada *software* FEMM.

1. Lihat Hasil
Pilih di *toolbar* 'view result'.
2. Memperllihatkan magnetisasi
Pilih di *menubar* 'view' > pilih 'contour plot'.
3. Memperllihatkan densitas
Pilih di *menubar* 'view' > pilih 'density plot'
4. Memperllihatkan arah medan
Pilih di *menubar* 'view' > pilih 'vector plot'.
5. Memperllihatkan hasil
Pilih di *menubar* 'view' > pilih 'circuit props'.

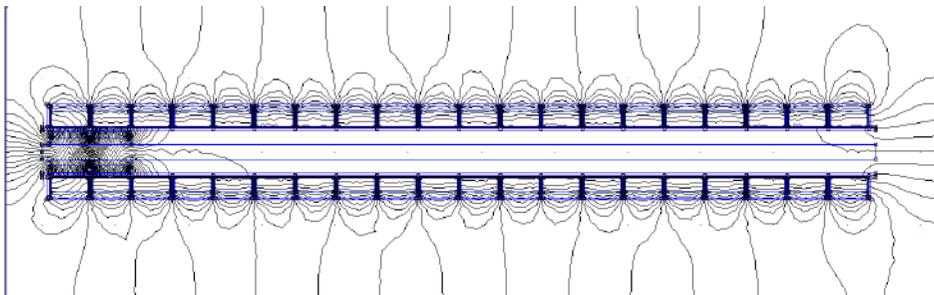


Gambar 4.4 Rancangan generator 1 pada FEMM

Rancangan *preprocessor* yang telah lengkap dengan parameter-parameternya dan telah di-meshing kemudian disimulasikan atau di-analyze. Hasil dari analyze tersebut yaitu *output* dari rancangan generator 1 yaitu menghasilkan 377,025 Watt (**Gambar 4.5** Hasil analyze). Adapun hasil simulasi dari rancangan lainnya ditunjukkan pada **Tabel 4.17** dan **Tabel 4.18**. Pada *postprocessor* didapatkan pula flux lines, dimana hal tersebut dapat membantu memvisualkan medan magnet yang ada di dalam rancangan generator tersebut.



Gambar 4.5 Hasil *analyze* rancangan 1



Gambar 4.6 *Flux lines* rancangan 1

Dari rancangan tersebut diperoleh hubungan antara tegangan dan arus. Jika voltase satu volt, maka arusnya 0,01926 A. Dari hubungan tersebut, maka daya yang diperoleh dari rancangan (1-5) ditunjukkan oleh **Tabel 4.17** dan rancangan (6-10) ditunjukkan oleh **Tabel 4.18**.

Tabel 4.17. Daya keluaran rancangan (1-5)

Bulan	Rancangan 1		Rancangan 2		Rancangan 3		Rancangan 4		Rancangan 5	
	Daya (W)	I (A)								
Januari	312,4	2,5	1249,7	4,9	2811,9	7,4	4999,0	9,8	7810,9	12,3
Februari	371,3	2,7	1485,3	5,3	3341,9	8,0	5941,1	10,7	9282,9	13,4
Maret	340,0	2,6	1359,9	5,1	3059,7	7,7	5439,6	10,2	8499,3	12,8
April	362,1	2,6	1448,3	5,3	3258,8	7,9	5793,4	10,6	9052,1	13,2
Mei	423,0	2,9	1692,0	5,7	3806,9	8,6	6767,9	11,4	10574,9	14,3
Juni	364,9	2,7	1459,8	5,3	3284,5	8,0	5839,0	10,6	9123,5	13,3
Juli	401,6	2,8	1606,3	5,6	3614,1	8,3	6425,0	11,1	10039,1	13,9
Agustus	382,6	2,7	1530,4	5,4	3443,4	8,1	6121,5	10,9	9564,9	13,6
September	432,3	2,9	1729,1	5,8	3890,4	8,7	6916,3	11,5	10806,7	14,4
Oktober	391,6	2,7	1566,2	5,5	3524,0	8,2	6265,0	11,0	9789,0	13,7
November	387,5	2,7	1550,0	5,5	3487,4	8,2	6199,8	10,9	9687,3	13,7
Desember	363,3	2,6	1453,2	5,3	3269,6	7,9	5812,6	10,6	9082,2	13,2
Rata-rata	377,7	2,7	1510,8	5,4	3399,4	8,1	6043,3	10,8	9442,7	13,5

Tabel 4.18. Daya keluaran rancangan (6-10)

Bulan	Rancangan 6		Rancangan 7		Rancangan 8		Rancangan 9		Rancangan 10	
	Daya (W)	I (A)	Daya (W)	I (A)						
Jan	11247,7	14,7	15309,3	17,2	19995,8	19,6	25307,2	22,1	31243,5	24,5
Feb	13367,4	16,0	18194,5	18,7	23764,3	21,4	30076,7	24,1	37131,7	26,7
Mar	12239,0	15,4	16658,6	17,9	21758,2	20,5	27537,7	23,0	33997,2	25,6
Apr	13035,1	15,8	17742,2	18,5	23173,5	21,1	29328,9	23,8	36208,6	26,4
Mei	15227,8	17,1	20726,7	20,0	27071,6	22,8	34262,5	25,7	42299,4	28,5
Jun	13137,8	15,9	17882,0	18,6	23356,1	21,2	29560,1	23,9	36493,9	26,5
Jul	14456,3	16,7	19676,6	19,5	25700,1	22,2	32526,7	25,0	40156,4	27,8
Ags	13773,4	16,3	18747,2	19,0	24486,1	21,7	30990,2	24,4	38259,5	27,1
Sep	15561,6	17,3	21181,1	20,2	27665,1	23,1	35013,6	26,0	43226,6	28,9
Okt	14096,2	16,5	19186,5	19,2	25059,9	22,0	31716,4	24,7	39156,0	27,5

Nov	13949,7	16,4	18987,0	19,1	24799,4	21,9	31386,7	24,6	38749,0	27,3
Des	13078,4	15,9	17801,1	18,5	23250,4	21,2	29426,3	23,8	36328,8	26,4
Rata2	13597,5	16,2	18507,7	18,9	24173,4	21,6	30594,4	24,2	37770,9	26,9

Daya keluaran dari FEMM memiliki nilai yang sebanding dengan perkalian arus dan tegangan. Hal ini dikarenakan nilai dari faktor dayanya dianggap bernilai 1. Faktor daya adalah rasio besarnya daya aktif yang dapat dimanfaatkan terhadap daya semu. Jika faktor daya tersebut $\cos \theta = 1$, kondisi ekstrem, berarti semua daya semu dianggap dapat dimanfaatkan semua sebagai daya aktif.

Berdasarkan hasil yang ditampilkan oleh **Tabel 4.17** dan **Tabel 4.18.**, maka kebutuhan listrik untuk penerangan di Pantai Sendiki sebesar 960 W sudah dapat terpenuhi oleh rancangan 2 dimana translator menggunakan 4 silinder magnet permanen, dimana menghasilkan daya rata-rata 1510,8 W.

IV.4. Berat Unit Generator

Berdasarkan hasil dari rancangan generator 1 hingga 10, semakin banyak magnet permanen yang digunakan pada translator, maka power power yang dihasilkan juga semakin besar. Tetapi hal itu juga berdampak pada dimensi dari struktur generator linear itu sendiri. Karena untuk mempertahankan periode atau menjaga agar translator terus bergerak, maka struktur 'ruang kosong' pada stator generator linear harus diperbesar. Jika panjang unit tidak terpenuhi maka gerakan translasi dari generator akan sering terhenti di titik mati atas, sehingga power yang direncanakan tidak dapat terpenuhi. Maka setelah ini, perhitungan akan difokuskan pada rancangan generator 2.

Berat dari rancangan generator linear magnet permanen ini juga dihitung. Adapun hasil perhitungan tersebut disajikan dalam **Tabel 4.19** Total Berat Rancangan Linear Generator Magnet Permanen.

Tabel 4.19 Total Berat Rancangan Linear Generator Magnet Permanen

Bagian	Item	Material	Volume (m3)	Density (kg/m3)	Berat (kg)	unit	Total Berat (kg)
Stator	Body	Stainless Steel 304	0,00159	7900	12,589	1	12,589
	Slot	pure iron	0,00007	7850	0,583	20	11,669

	Dinding	Stainless Steel 304	0,00100	2720	2,718	1	2,718
	Coil	AWG 20	0,00029	8888,4	2,537	20	50,740
Translator	shaft	Stainless Steel 304	0,00111	7900	8,750	1	8,750
	PM	NdFeB	0,00007	7007	0,516	2	1,032
	Pelampung	fiber (polypropylene)	0,00063	890	0,559	1	0,559
BERAT TOTAL							88,056

IV.5. Kebutuhan Baterai

Berdasarkan survei yang telah dilakukan secara langsung di wisata Pantai Sendiki, adapun kebutuhan listrik untuk penerangannya telah disajikan pada **Tabel 4.3**. Kemudian berdasarkan data tersebut, perlu dilakukan perhitungan untuk kebutuhan akan penyimpanan energi. Hal tersebut dilakukan karena ketinggian permukaan air laut berubah atau terjadi pasang surut air laut karena beberapa faktor, salah satunya adalah karena gravitasi bulan. Pasang tidak selalu terjadi pada malam hari, begitu juga dengan surutnya air laut tidak selalu terjadi pada siang hari. Maka, diasumsikan konversi energi gelombang optimal hanya berlangsung 11 jam atau hampir setengah hari. Adapun perhitungan dari kebutuhan baterai tersebut adalah sebagai berikut.

➤ **Kebutuhan Genartor**

Berdasarkan data beban penerangan di Pantai Sendiki, maka untuk pemenuhannya dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Ombak optimal} = 11 \text{ jam (asumsi)}$$

$$\text{Output generator} = 1510,8 \text{ Watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya generator} &= \text{Output generator} \times \text{waktu} \\ &= 1510,8 \times 11 \\ &= 16618,8 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah generator} &= \text{Kebutuhan daya} / \text{Daya generator} \\ &= 12480 / 16618,8 \\ &= 0,75 \text{ unit} \\ &= 1 \text{ unit} \end{aligned}$$

➤ **Kebutuhan Baterai**

Berdasarkan hasil keluaran generator tersebut maka diperlukan baterai sebagai penyimpan daya berupa aki basah yang mana keluarannya berupa arus DC yang dapat digunakan langsung oleh beban. Baterai yang dipilih dalam rancangan yaitu Aki GS N200 dengan spesifikasi sebagai berikut.

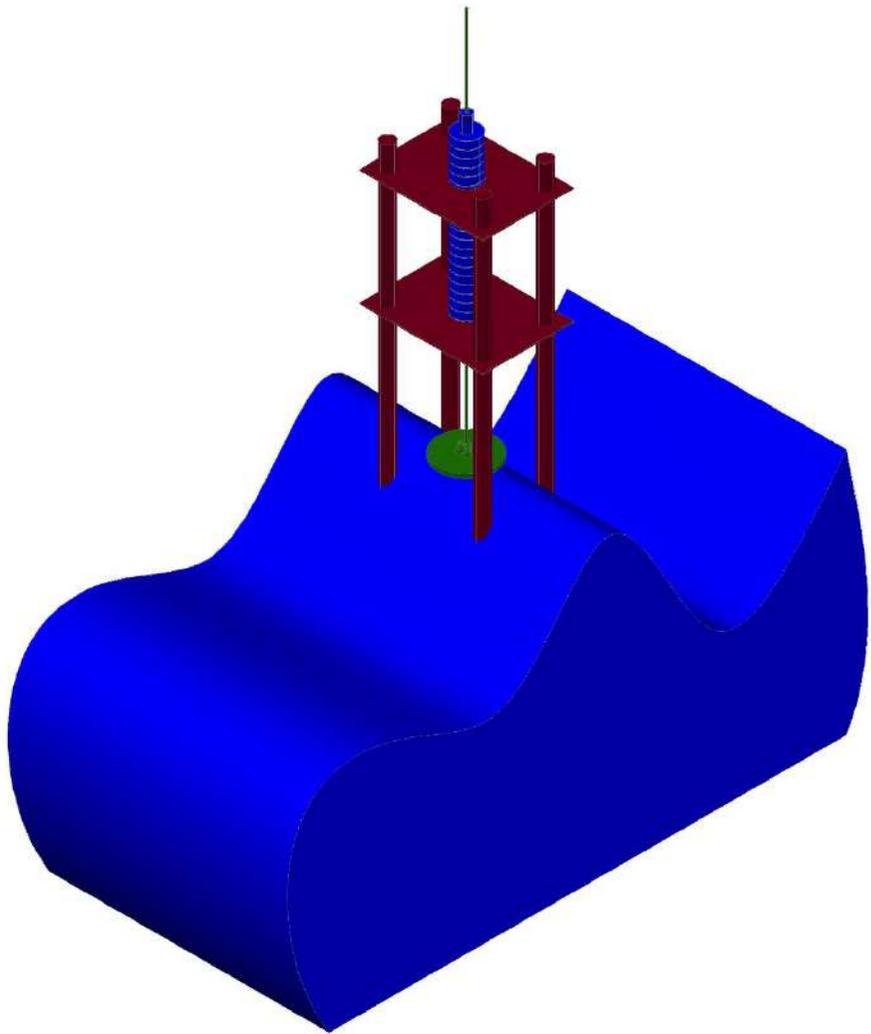
- Kapasitas = 200 Ah
- Tegangan = 12 V

Maka,

$$\begin{aligned}\text{Daya baterai} &= \text{Daya generator} \times \text{durasi penggunaan} \\ &= 1510,8 \times 13 \\ &= 19640,4 \text{ Wh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ah kebutuhan} &= (\text{Daya baterai} / \text{Volt spec}) \\ &= 19640,4 / 12 \\ &= 1636,7 \text{ Ah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baterai} &= \text{Ah kebutuhan} / \text{Ah baterai} \\ &= 1636,7 / 200 \\ &= 8,1835 \text{ unit} \\ &= 9 \text{ unit}\end{aligned}$$



Gambar 4.7 Rancangan Generator Linear Magnet Permanen

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari tugas akhir perancangan linear generator ini yaitu :

1. Rancangan generator ini menggunakan magnet permanen NdFeB yang memiliki kerapatan fluks magnet terbesar saat ini dibandingkan jenis magnet permanen lainnya. Sistem kumparan dirancang parsial sebanyak 20 *slot* dan dirangkai seri untuk mendapatkan tegangan 1 fasa. Rancangan generator linear magnet permanen untuk suplai kebutuhan penerangan berdimensi *stroke* 1m dan ditambah dimensi konstruksi menjadi 1,126m dengan diameter stator 0,1209 m.
2. Rancangan per unit generator dengan menggunakan 4 silinder magnet yang terdiri dari 5 magnet per silinder, menghasilkan daya rata-rata sebesar 1510,8 Watt. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik untuk penerangan di Wisata Pantai Sendiki cukup dengan satu unit generator.
3. Listrik yang dihasilkan dari generator tidak dapat langsung digunakan karena karakteristiknya tidak stabil karena karakter gelombangnya yang tidak stabil pula. Pula listrik yang dihasilkan yaitu listrik AC maka perlu disimpan ke dalam baterai melalui *rectifier* sehingga dapat dirubah menjadi DC. Kebutuhan baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan generator dan kemudian menyuplai lampu-lampu LED yang digunakan di Wisata Pantai Sendiki yaitu sejumlah 9 unit.

V.2. Saran

Adapun saran yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai struktur dan stabilitas bagan penyangga generator.
2. Perlu dilakukan kajian ekonomis dari rancangan generator linear magnet permanen beserta bagan.
3. Perlu dilakukan permodelan sehingga dapat diuji secara langsung dan diketahui potensi jika diaplikasikan di masyarakat.
4. Perlu dilakukan kalibrasi terhadap performa generator linear sesuai hasil laboratorium.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aditia, Felix Rizky. 2017. *Perancangan Tenaga Surya Lampu Celup Bawah Air (LACUBA) pada Bagan Apung*. Surabaya: Skripsi Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chiaramonte, Giuseppe. 2016. 'Design of A Tubular Permanent Magnet Linear Generator for Marine Applications'. Milan: Thesis Politecnico Di Milano, Master of Science in Electrical Engineering.
- Irasari, Pudji; Muhammad Kasim; dkk. 2017. 'Optimization of Modular Stator Construction to Improve Permanent Magnet Generator Characteristics for Very Low Head Hydro Power Application'. Bandung : International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA).
- Kumar, M Santosh, Dr. Manisha Dubey, Aalekh Ranjan. 2014. 'Permanent Magnet Linear Generator Design for Wave Power'. India: International Journal of Mathematical Science and Engineering (IJMSE).
- Manaf, Azwar. 2000. *Magnet Permanen Berbasis Nd-Fe-B*. Serpong: ISSN.
- Meeker, David. 2015. 'Finite Element Method Magnetics Version 4.2 User's Manual'.
- Mesantono, Leontius Dwi; Fransisco Danang Wijaya; Tarcisius Haryono. 2016. 'Comparison of Linear Flux Permanent Magnet Generator Topologies by Using FEMM 2D'. Yogyakarta : International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE).
- Oprea, C.A, dkk. 2011. 'Permanent Magnet Linear Generator for Renewable Energy Application : Tubular vs Four-Sided Structures'. Romania: IEEE.
- Prasetyo, Septian Heri. 2016. *Desain Prototype Generator Linear Magnet Permanen RPM rendah*. Surakarta: Skripsi Departemen Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Priandoko, Yuno. 2015. *Study Perancangan PLTGL Tipe Oscilating Water Column (OWC) dengan Tipe Masuda Katup di Pantai Bandalit, Jember, Jawa Timur*. Surabaya: Skripsi Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rao, K.S. Rama, dkk. 2016. 'Performance and Design Optimization of Two Model Based Wave Energy Permanent Magnet Linear Generators'. India: Elsevier Ltd.
- S, Achmad Maulana Soehada, Candra Kurniawan, Perdamean Sebayang. 2017. *Efek 'Air Gap' pada Rancang Bangun dan Uji Performa Generator Listrik Fluks Aksial Berbasis Magnet Permanen NdFeB*. Banten: Journal of Technical Engineering : Piston.
- Si, Jikai, Haichao Feng, Peng Su, dan Lufeng Zhang. 2014. 'Design and Analysis of Tubular Permanent Magnet Linear Wave Generator. China: Hindawi Publishing Corporation.

- Sinnadurai, Rajendran; C.M. Ting; Nor Hisyam Mohd Zani. 2016. 'Analysis and Optimization of a Three Phase Linear Generator Using Finite Element Methode Magnetics (FEMM)'. Selangor Daruls Ehsan, Malaysia : IEEE SCOReD.
- Sulasno. 2009. *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

LAMPIRAN

A. Lampiran FEMM's Library Materials

No.	FEMM's Library Materials		No.	FEMM's Library Materials	
	Materials	Item		Materials	Item
1	Pure Iron	Pure Iron	91	Metals Handbook DC Magnetization Curves	Supermendur
2	Alnico Magnets	Alnico 5	92		Vanadium Permedur
3		Alnico 6	93		Pure Iron, annealed
4		Alnico 8	94		Ingot iron, annealed
5		NdFeB Magnets	NdFeB 32 MGOE		95
6	NdFeB 37 MGOE		96		M-50
7	NdFeB 40 MGOE		97		Cold rolled low carbon strip steel
8	NdFeB 52 MGOE		98		Cold drawn carbon steel, annealed
9	NdFeB 10 MGOE		99		M-43 and M-36
10	Ceramic Magnets	Ceramic 5	100		Steel casting, as cast
11		Ceramic 8	101		Carbon steel forgings, annealed
12		Y25	102		3% Si strip, oriented
13		Y30	103		M-27
14	SmCo Magnets	SmCo 20 MGOe	104		M-22
15		SmCo 24 MGOe	105		M-19
16		SmCo 27 MGOe	106		M-14
17		Soft Magnetic Material	US Steel Type 2-S 0,018 inch thickness		107
18	Pure Iron		108		416 stainless steel, annealed
19	US Steel Type 2-S 0,018 inch thickness		109		Nodular cast iron
20	Low Carbn Steel	1006 Steel	110		Gray iron, as cast
21		1010 Steel	111		Deltamax, oriented
22		1018 Steel	112		Monimax, nonoriented
23		1020 Steel	113		65 Permalloy, oriented
24		1117 Steel	114		Sinimax
25	Magnetic Stainless Steel	416 Stainless Steel	115		78 Permalloy
26		430 Stainless Steel	116		Moly-Permalloy
27		455 Stainless Steel	117		Supermalloy

28	Silicon Iron	Carpenter Silicon Core Iron "A"	118	15% Copper Clad Aluminium Magnet Wire	Mumetal
29		M-15 Steel	119		Pure nickel, annealed
30		M-19 Steel	120		Soft magnetic ferrite (Fe-Ni-Zn-V)
31		M-22 Steel	121		30% Ni-Fe temperature compensation alloy)
32		M-27 Steel	122		Monel, annealed
33		M-36 Steel	123		10 AWG 15% CCA
34		M-43 Steel	124		11 AWG 15% CCA
35		M-45 Steel	125		12 AWG 15% CCA
36		M-47 Steel	126		13 AWG 15% CCA
37		Cobalt Iron	Hiperco-50		127
38	Vanadium Permedur		128	15 AWG 15% CCA	
39	Nickel Alloys	Supermalloy	129	16 AWG 15% CCA	
40		Mu Metal	130	17 AWG 15% CCA	
41	Solid Non-Magnetic-Conductor	Titanium	131	18 AWG 15% CCA	
42		316 Stainless Steel	132	19 AWG 15% CCA	
43		Copper	133	20 AWG 15% CCA	
44		304 Stainless Steel	134	21 AWG 15% CCA	
45		Aluminium, 6061-T6	135	22 AWG 15% CCA	
46		Aluminium, 1100	136	23 AWG 15% CCA	
47	Copper AWG Magnet Wire	10 AWG	137	24 AWG 15% CCA	
48		12 AWG	138	25 AWG 15% CCA	
49		14 AWG	139	26 AWG 15% CCA	
50		16 AWG	140	27 AWG 15% CCA	
51		18 AWG	141	28 AWG 15% CCA	
52		20 AWG	142	29 AWG 15% CCA	
53		22 AWG	143	30 AWG 15% CCA	
54		24 AWG	144	31 AWG 15% CCA	
55		26 AWG	145	32 AWG 15% CCA	
56		28 AWG	146	33 AWG 15% CCA	
57		30 AWG	147	34 AWG 15% CCA	
58		32 AWG	148	35 AWG 15% CCA	
59	34 AWG	149	36 AWG 15% CCA		
60	36 AWG	150	37 AWG 15% CCA		
61	Copper SWG Magnet Wire	10 SWG	151	38 AWG 15% CCA	
62		12 SWG	152	39 AWG 15% CCA	
63		14 SWG	153	40 AWG 15% CCA	
64		16 SWG	154	41 AWG 15% CCA	
65		18 SWG	155	42 AWG 15% CCA	
66		20 SWG	156	43 AWG 15% CCA	
67		22 SWG	157	44 AWG 15% CCA	
68		24 SWG	158	10 AWG 10% CCA	

69		26 SWG	159		11 AWG 10% CCA
70		28 SWG	160		12 AWG 10% CCA
71		30 SWG	161		13 AWG 10% CCA
72		32 SWG	162		14 AWG 10% CCA
73		34 SWG	163		15 AWG 10% CCA
74		36 SWG	164		16 AWG 10% CCA
75		38 SWG	165		17 AWG 10% CCA
76		40 SWG	166		18 AWG 10% CCA
77	Copper Metric Magnet Wire	2,5 mm	167	10% Copper Clad Aluminium Magnet Wire	19 AWG 10% CCA
78		2 mm	168		20 AWG 10% CCA
79		1,6 mm	169		21 AWG 10% CCA
80		1,25 mm	170		22 AWG 10% CCA
81		1 mm	171		23 AWG 10% CCA
82		0,8 mm	172		24 AWG 10% CCA
83		0,63 mm	173		25 AWG 10% CCA
84		0,5 mm	174		26 AWG 10% CCA
85		0,4 mm	175		27 AWG 10% CCA
86		0,315 mm	176		28 AWG 10% CCA
87		0,25 mm	177		29 AWG 10% CCA
88		0,2 mm	178		30 AWG 10% CCA
89		0,16 mm	179		31 AWG 10% CCA
90		0,125 mm	180		32 AWG 10% CCA
			181		33 AWG 10% CCA
			182		34 AWG 10% CCA
			183		35 AWG 10% CCA
			184		36 AWG 10% CCA
			185		37 AWG 10% CCA
			186		38 AWG 10% CCA
			187		39 AWG 10% CCA
			188		40 AWG 10% CCA
			189		41 AWG 10% CCA
			190		42 AWG 10% CCA
			191		43 AWG 10% CCA
			192		44 AWG 10% CCA

B. Dokumentasi Lapangan



Camp Ground malam hari



Penggunaan Baterai di Warung



Lampu LED Gerbang



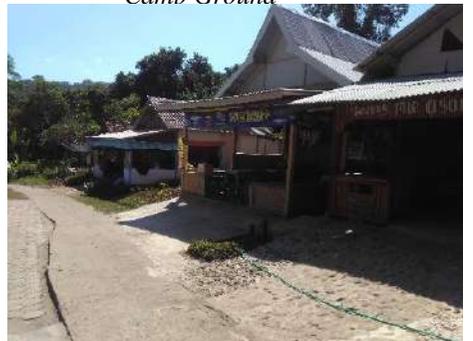
Penerangan di Rumah Pohon



Camp Ground



Pos Jaga (SAR)



Warung Warga



Kabel-kabel Penerangan

C. Baterai

GS Astra http://aki.gs-astra.com/n200

Bahasa English

<p>BERANDA TENTANG KAMI PERMAINAN</p>	<p>PRODUK HUBUNGI KAMI</p>	<p>BERITA PERTANYAAN & TIP</p>	<p><i>Cari...</i></p> <p>APLIKASI PRODUK</p>
---	--------------------------------	--	--

<p>BERANDA</p> <p>AKI MF OEM</p> <p>AKI Mobil Tipe MF ISS</p> <p>AKI HET & Katalog</p> <p>AKI mobil GS Calcium</p> <p>AKI Mobil Tipe Maintenance Free</p> <p>AKI Mobil Tipe Hybrid</p> <p>AKI Mobil Tipe Premium AM</p> <p>AKI Motor Tipe VELA</p> <p>AKI Motor Tipe Premium</p>	<p>PRODUK</p> <p>AKI MOBIL TIPE PREMIUM AM</p> <p>N200</p>	<p>AKI MOBIL TIPE PREMIUM AM</p> <p>N200</p> <p>Harga</p> <p>Kapasitas</p> <p>Tegangan</p> <p>Kategori</p> <p>Cocok Dengan</p> <p>Spesifikasi</p>	<p>N200</p> <p>Rp 3.264.000</p> <p>200 Ah (Ampere Hour)</p> <p>12 V (Volt)</p> <p>AKI Mobil-Tipe Premium AM</p> <p>DUM TRUK HD 785 & HD465</p> <p>KETERANGAN : - Harga mulai berlaku per 01 Februari 2018 - Harga tidak termasuk accu zuur kecuali GS Hybrid dan GS Maintenance Free (MF)</p>
--	--	---	--



1 of 2 09/07/2018 18:21

GS Astra http://aki.gs-astra.com/n200

- Harga dapat berubah sewaktu-waktu tanpa pemberitahuan terlebih dahulu

D. Copper AWG 20

Copper Magnet Wire Data

SIZE (AWG)	BARE COPPER									SIZE (AWG)
	DIAMETER * (INCHES)			RESISTANCE** (OHMS PER 1000 FT. AT 20°C)			FEET PER POUND	POUNDS PER 1000 FT.	CIRCULAR MILS NOMINAL	
	MIN.	NOM.	MAX.	MIN.	NOM.	MAX.				
6	.1604	.1620	.1633	.3875	.3952	.4031	12.59	79.44	26240	6
7	.1429	.1443	.1454	.4885	.4981	.5079	15.87	63.03	20620	7
8	.1272	.1285	.1294	.6156	.6281	.6410	20.01	49.98	16510	8
9	.1133	.1144	.1153	.7774	.7924	.8079	25.24	39.52	13090	9
10	.1009	.1010	.1027	.9765	.9988	1.019	31.82	31.43	10380	10
11	.0898	.0907	.0916	1.236	1.251	1.265	40.2	24.9	8226	11
12	.0800	.0808	.0816	1.558	1.589	1.620	50.6	19.8	6529	12
13	.0713	.0720	.0727	1.962	2.001	2.040	63.7	15.7	5184	13
14	.0635	.0641	.0647	2.477	2.524	2.572	80.4	12.4	4109	14
15	.0565	.0571	.0577	3.115	3.181	3.249	101	9.87	3260	15
16	.0503	.0508	.0513	3.941	4.019	4.099	128	7.81	2581	16
17	.0448	.0453	.0458	4.944	5.054	5.167	161	6.21	2052	17
18	.0399	.0403	.0407	6.261	6.386	6.514	203	4.92	1624	18
19	.0355	.0359	.0363	7.871	8.047	8.229	256	3.90	1289	19
20	.0317	.0320	.0323	9.941	10.13	10.32	323	3.10	1024	20
21	.0282	.0285	.0288	12.50	12.77	13.04	407	2.46	812.3	21
22	.0250	.0253	.0256	15.82	16.20	16.59	516	1.94	640.1	22
23	.0224	.0226	.0228	19.95	20.31	20.67	647	1.55	510.8	23
24	.0199	.0201	.0203	25.17	25.67	26.19	818	1.22	404.0	24
25	.0177	.0179	.0181	31.66	32.37	33.10	1030	.970	320.4	25
26	.0157	.0159	.0161	40.01	41.02	42.07	1310	.765	252.8	26
27	.0141	.0142	.0143	50.72	51.43	52.17	1640	.610	201.6	27
28	.0125	.0126	.0127	64.30	65.33	66.37	2080	.481	158.8	28
29	.0112	.0113	.0114	79.80	81.22	82.66	2590	.387	127.7	29
30	.0099	.0100	.0101	101.7	103.7	105.8	3300	.303	100.0	30
31	.0088	.0089	.0090	128.0	130.9	133.9	4170	.240	79.21	31
32	.0079	.0080	.0081	158.1	162.0	166.2	5160	.194	64.00	32
33	.0070	.0071	.0072	200.1	205.7	211.7	6550	.153	50.41	33
34	.0062	.0063	.0064	253.2	261.3	269.8	8320	.120	39.69	34
35	.0055	.0056	.0057	319.2	330.7	342.8	10500	.0949	31.36	35
36	.0049	.0050	.0051	398.7	414.8	431.9	13200	.0757	25.00	36
37	.0044	.0045	.0046	490.1	512.1	535.7	16300	.0613	20.25	37
38	.0039	.0040	.0041	617.0	649.2	681.9	20600	.0484	16.00	38
39	.0034	.0035	.0036	800.2	846.6	897.1	27000	.0371	12.25	39
40	.0030	.0031	.0032	1013	1079	1152	34400	.0291	9.61	40
41	.0027	.0028	.0029	1233	1323	1423	42100	.0237	7.84	41
42	.0024	.0025	.0026	1534	1659	1801	52900	.0189	6.25	42
43	.0021	.0022	.0023	1900	2143	2352	69300	.0147	4.84	43
44	.0019	.0020	.0021	2352	2593	2873	82500	.0121	4.00	44
45	.00169	.00176	.00183	3080	3348	3616	106,500	.00939	3.10	45
46	.00151	.00157	.00164	3870	4207	4544	134,400	.00744	2.47	46
47	.00135	.00140	.00146	4858	5291	5714	169,200	.00591	1.96	47
48	.00119	.00124	.00129	6205	6745	7285	213,400	.00469	1.54	48
49	.00107	.00111	.00116	7744	8417	9090	269,700	.00371	1.23	49
50	.00095	.00099	.00103	9734	10580	11430	339,700	.00294	.98	50
51	.00085	.00088	.00092	12320	13390	14460	428,400	.00233	.775	51
52	.00075	.00078	.00081	15690	17050	18410	540,000	.00185	.608	52
53	.00067	.00070	.00073	19490	21170	22860	681,200	.00147	.490	53
54	.00060	.00062	.00065	24820	26980	29140	859,100	.00116	.384	54
55	.00053	.00055	.00057	31540	34280	37020	1,083,000	.000923	.303	55

* Minimum and maximum dimensions are based on tolerances specified by ASTM Standard B3 and NEMA MW1000 2015 for sizes 6 - 44 AWG. Sizes 45 - 55 AWG dimensions calculated from DC resistance.
 ** Values are based on a resistivity of 10.371 ohms per circular mil-ft at 20°C. (100% IACS conductivity). Minimum resistance values are based on maximum bare diameter. Maximum resistance values are based on minimum bare diameter.
 6 - 44 AWG magnet wire will be furnished in dimensional standard with resistance values as a guideline.
 45 - 55 AWG magnet wire will be furnished to resistance with the dimensions as a guideline.

E. Permanen Magnet

Neodymium Batang / Kotak / Bar / Batang 50x25x10mm-silver-super-strong/

GRATIS 1.5 tahun Uang Dari Bisnis Online
Video Tutorial Bisnis Online [Akses Gratis >](#)

SBIM
INTERNET
KOMPAS

Beranda » NEODYMIUM SUPER KUAT » Neodymium Batang / Kotak / Bar » Neodymium Kotak / B
STRONG

Neodymium Kotak / Bar/ Batang 50x25x10mm Silver Super STRONG

Ditambahkan pada: 12 October 2017

★★★★★

Rp 170.000

Stock: **Tersedia**

SKU:

Dilihat: 219 kali

Kategori: Neodymium Batang / Kotak / Bar

[CARA ORDER](#)

« Arahkan kursor pada gambar untuk Zoom

« Klik gambar untuk Full Size

[f](#) [t](#) [G+](#) [P](#) [v](#) [e](#)

Magnet ROD Neodymium
Neodymium Batang / Kotak / Bar
Neodymium Disc/Coin
Neodymium Cylinder/Silinder
Neodymium Ring / Donut
Magnet Flexible / Lembaran
Ferrite Disc/Coin
Magnet Lain-lain

Follow Us on Twitter

[twitter](#)

Lapak FJB Kaskus Kami

KASKUS
THE LARGEST INDOONESIAN COMMUNITY



50 × 25 × 10



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 12 Juli 1995. Merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Bujel 2 Kediri, SMPN 4 Kediri, dan SMAN 1 Kediri.

Selama menjadi mahasiswa di Teknik Sistem Perkapalan ITS, Surabaya, penulis aktif dalam beberapa organisasi dan kegiatan. Organisasi yang pernah dijalani penulis yaitu menjadi manajer di UKM TDC(Technopreneurship Development Center) ITS 2016/2017 dan menjadi pengurus di UKM Merpati Putih ITS 2016/2017.

Bidang teknik sistem perkapalan yang menjadi fokus penulis yaitu *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*. Penulis juga aktif menjadi *grader* dalam praktikum listrik di Departement Teknik Sistem Perkapalan yang sekaligus menjadi anggota laboratorium *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*.