



TUGAS AKHIR – ME 18434

**PERANCANGAN DAN PENGUJIAN *TEST*
BED PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI
LAUT UNTUK KEPERLUAN DESAIN**

NICO KEVIN ADI NUGROHO
NRP. 04211540000059

Dosen pembimbing

1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT – ME 18434

DESIGN AND TESTING OF MARINE POWER PLANT TEST BED FOR DESIGN REQUIREMENTS

NICO KEVIN ADI NUGROHO
NRP. 0421154000059

Supervisors

1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN DAN PENGUJIAN *TEST BED* PEMBANGKIT LISTRIK
ENERGI LAUTLISTRIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Manufature and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh :

NICO KEVIN ADI NUGROHO
NRP. 0421154000059

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT
NIP. 195904101987011001

2. Irfan Syarif Arief, ST., MT.
NIP. 196912251997021001

.....

.....

SURABAYA
JULI 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN *TEST BED* PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI LAUTLISTRIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Manufature and Design (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
NICO KEVIN ADI NUGROHO
NRP. 0421154000059

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :


Dr. Eng Muhammad Badrus Zaman, ST, MT.

NIP. 197708022008011007



**SURABAYA
JULI 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN PEMBANGKIT *TEST BED* LISTRIK ENERGI LAUT UNTUK KEPERLUAN DESAIN

Nama : Nico Kevin Adi Nugroho
NRP : 0421154000059
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT
Dosen Pembimbing 2 : Irfan Syarif Arief, ST., MT.

ABSTRAK

Penggunaan energi baru terbarukan semakin gencar dilakukan. Energi baru terbarukan yang berasal dari laut merupakan salah satu potensi besar yang dimiliki Indonesia. Efisiensi merupakan hal yang sangat penting dalam pengembangan pembangkit listrik. Salah satu cara meningkatkan efisiensi yaitu dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. *MPPT* akan mengatur tegangan pada transfer energi dari panel menuju ke baterai yang biasanya digunakan pada photovoltaic. Pada tugas akhir ini akan dilakukan perancangan dan pengujian model pembangkit listrik energi laut dengan sistem *stand alone*. Dalam sistem *stand alone* baterai memiliki fungsi sangat penting sebagai penyimpan daya. Penelitian ini akan melakukan pengujian pada *test bed* pembangkit yang akan melihat keandalan dari generator yang diputar oleh motor induksi sebagai pengganti turbin dan pengaruh *MPPT* terhadap pembangkit. Motor induksi yang digunakan pada eksperimen ini dihubungkan menggunakan *pulley* ke generator dan putarannya bisa diatur oleh *variable speed drive controller*. Sehingga kecepatan generator bisa diatur dengan mengubah frekuensi motor. Eksperimen menunjukkan bahwa efisiensi *variable speed drive controller* sebesar 0,996 sehingga *test bed* bekerja dengan baik. Generator yang digunakan untuk eksperimen juga bekerja dengan baik dengan tegangan 500 pada kecepatan 245 rpm sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan oleh pabrik. Pengujian kinerja *MPPT* menunjukkan 3 buah kondisi yaitu mengambil daya baterai ketika tegangan *input* rata-rata adalah 51,47 V kebawah, tidak mengisi maupun mengambil daya baterai pada tegangan *input* rata-rata 61,3 V dan melakukan pengisian kepada baterai ketika tegangan 72,67 V keatas. Hal ini menunjukkan bahwa *MPPT* bisa mengambil daya dari baterai ketika tegangan *input* dari pembangkit tidak bisa memenuhi kebutuhan daya *MPPT* sebagai *charge controller*.

Kata kunci : *test bed*, *MPPT*, generator, *variable speed drive controller*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND TESTING OF MARINE POWER PLANT TEST BED FOR DESIGN REQUIREMENTS

Name : Nico Kevin Adi Nugroho
NRP : 0421154000059
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor 1 : Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT
Supervisor 2 : Irfan Syarif Arief, ST., MT.

ABSTRACT

Efficiency is very important in the development of a power plant. One way to increase efficiency is by using Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT will regulate the voltage on the transfer of energy from the panel to the battery normally used in photovoltaic. In this final project, the design and testing of marine energy power plant models will be carried out with a stand alone system. In a stand alone system the battery has a very important function as a storage power. This research will test the generator test bed which will see the reliability of the generator rotated by an induction motor instead of the turbine and the effect of MPPT on the generator. The induction motor used in this experiment is connected using a pulley to the generator and its rotation can be regulated by a variable speed drive controller. So that the speed of the generator can be adjusted by changing the frequency of the motor. The experiment showed that the efficiency of the variable speed drive controller was 0.996 so the test bed worked well. The generator used for experiments also works well with a voltage of 500 at 245 rpm in accordance with the standards set by the factory. MPPT performance testing shows 3 conditions namely taking battery power when the average input voltage is 51.47 V down, not charging or taking battery power at an average input voltage of 61.3 V and charging the battery when the voltage is 72.67 V and above. This shows that MPPT can take power from the battery when the input voltage from the generator cannot meet MPPT's power requirements as a charge controller.

Keywords—test bed, MPPT, generator, variable speed drive controller

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'alamiin. Segala puji bagi Allah SWT tuhan semesta alam atas barokah, rahmat dan hidayah-Nya serangkaian kegiatan penelitian dan penulisan laporan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan dan Pengujian *test bed* Pembangkit Listrik Energi Laut” dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini tidak hanya disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, akan tetapi juga diharapkan dapat dijadikan referensi dalam meningkatkan wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai dunia teknik pada umumnya serta dunia kemaritiman pada khususnya.

Tentunya dalam pelaksanaan kegiatan ini terdapat beberapa pihak yang senantiasa memberikan dukungan seperti doa, semangat dan motivasi, sehingga dalam kesempatan ini penulis berkenan untuk mengucapkan ungkapan syukur dan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis dan segenap keluarga yang selalu memberikan dukungan doa, moril, dan materil,
2. Bapak Dr. Eng., M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan,
3. Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT. dan Irfan Syarif Arief, ST. MT.. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan bimbingan, masukan dan ilmu bagi penulis,
4. Teman-teman seperjuangan ITS-120 di lab MMD yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini,
5. Teman-teman SALVAGE ‘15 yang selalu memberikan semangat serta doa dan dukungan,
6. Saudara-saudara Mahad Thaybah yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan, dan doa,
7. Serta semua teman, sahabat dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan kemajuan dalam skripsi ini. Semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua dan semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dikemudian hari. Aamiin.

Surabaya, Juli 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SIMBOL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II DASAR TEORI	3
2.1 Pembangkit Listrik Energi Laut [2]	3
2.1.1 Energi Arus Laut dan Pasang Surut	3
2.1.2 Energi Gelombang Laut	4
2.1.3 Energi Panas Laut	6
2.2 Sistem Energi Baru Terbarukan [7]	7
2.2.1 Stand Alone System	7
2.2.2 Hybrid System	11
2.2.2.1 Series Hybrid Energy Systems	11
2.2.2.2 Switched Hybrid Energy Systems	12
2.2.2.3 Parallel Hybrid Energy System	13
2.3 Mesin Elektrik	14
2.3.1 Generator	14
2.4 Inverter	15
2.4.1 Jenis Inverter [13]	16
2.4.1.1 Suare Wave	16
2.4.1.2 Modified Sine Wave	16
2.4.1.2 Pure Sine Wave	16
2.4.2 Grid Tie Inverter	16
2.5 Maximum Power Point Tracking	16

2.5.1	<i>DC-DC Converter</i> [16]	17
2.5.1.1	<i>Buck Converter</i>	17
2.5.1.2	<i>Boost Converter</i>	17
2.5.1.3	<i>Buck-Boost Converter</i>	17
2.6	<i>Variable Speed Drive Controller</i> [17]	18
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1	Diagram Alir Penelitian	19
3.2	Perancangan Model	21
3.2.1	Altivar 61 (<i>Variable Speed Drive Controller</i>)	21
3.2.2	Motor Induksi 3 Fasa	22
3.2.3	Generator Sinkron	23
3.2.4	Rectifier	24
3.2.5	MPPT	24
3.3	Baterai	25
3.4	Prosedur Percobaan	25
3.4.1	Prosedur Percobaan Pengujian Kinerja Generator	25
3.4.2	Prosedur Percobaan Pengujian Pengaruh MPPT	26
BAB IV	PEMBAHASAN	27
4.1	Kinerja Daya Hasil Generator Menggunakan Variasi Putaran	27
4.1.1	Efisiensi <i>Variable Speed Drive Controller</i>	28
4.1.2	Keandalan Generator	30
4.2	Kinerja Pengaruh MPPT pada Sistem Pembangkit	32
4.2.1	Efisiensi <i>Rectifier</i>	32
4.2.2	Pengaruh MPPT pada Pembangkit Listrik	34
BAB V	PENUTUP	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	51
DAFTAR	PUSTAKA	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Two basin tidal energy</i>	4
Gambar 2.2 Turbin bawah laut	4
Gambar 2.3 Potensi energi laut	5
Gambar 2. 4 Potensi energi daerah lepas pantai	6
Gambar 2. 5 Sistem OTEC	7
Gambar 2. 6 Diagram sistem kincir angin	8
Gambar 2. 7 Regulator pengisi seri.....	9
Gambar 2. 8 Regulator pengisi shunt.....	9
Gambar 2. 9 <i>Buck Converter</i>	10
Gambar 2. 10 <i>Boost Converter</i>	10
Gambar 2. 11 <i>Buck Boost Converter</i>	11
Gambar 2. 12 Sistem <i>hybrid</i> seri.....	12
Gambar 2. 13 Sistem <i>hybrid switch</i>	12
Gambar 2. 14 Sistem <i>Hybrid Parallel DC</i>	13
Gambar 2. 15 Sistem Hybrid Parallel AC.....	13
Gambar 2. 16 Rangkaian Inverter	15
Gambar 2. 17 Gelombang Inverter	15
Gambar 3 1 Diagram alur	21
Gambar 3 2 Altivar 61	22
Gambar 3 3 Motor Induksi 3 fasa	23
Gambar 3 4 Generator.....	24
Gambar 3 5 MPPT	25
Gambar 4 1 Grafik efisiensi vsdc.....	29
Gambar 4 2 Tegangan keluaran generator	31
Gambar 4 3 Standar tegangan generator	31
Gambar 4 4 Efisiensi Rectifier.....	34
Gambar 4. 5 Tampilan monitor MPPT	35
Gambar 4 6 Tampilan monitor kegagalan MPPT	36

Gambar 4 7 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 1 Hz.....	37
Gambar 4 8 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 2 Hz.....	38
Gambar 4 9 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 3 Hz.....	39
Gambar 4 10 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 4 Hz.....	40
Gambar 4 11 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 5 Hz	41
Gambar 4 12 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 6 Hz.....	42
Gambar 4 13 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 1 Hz	43
Gambar 4 14 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 2 Hz	44
Gambar 4 15 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 3 Hz	45
Gambar 4 16 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 4 Hz	46
Gambar 4 17 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 5 Hz	47
Gambar 4 18 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 6 Hz	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4 1 Efisiensi <i>Variable Speed Drive Controller</i>	28
Tabel 4 2 Hasil putaran generator	30
Tabel 4 3 Efisiensi Rectifier	33
Tabel 4 4 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 1 Hz.....	36
Tabel 4 5 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 2 Hz.....	37
Tabel 4 6 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 3 Hz.....	38
Tabel 4 7 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 4 Hz.....	39
Tabel 4 8 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 5 Hz.....	40
Tabel 4 9 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 6 Hz.....	41
Tabel 4 10 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 1 Hz	43
Tabel 4 11 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 2 Hz	44
Tabel 4 12 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 3 Hz	45
Tabel 4 13 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 4 Hz	46
Tabel 4 14 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 5 Hz	47
Tabel 4 15 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 6 Hz	48

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

V	Tegangan (Voltage)
I	Arus (Ampere)
ω	Kecepatan putaran turbin (rad/s)
η	Efisiensi (%)
CP	Koefisien Daya
P	Daya (watt)
ρ	Density Fluida (kg/m³)
τ_T	Torsi Turbin (N/m)
τ_G	Torsi Generator (N/m)
V_{dc}	Tegangan Direct Current (vdc)
V_{ac}	Tegangan Alternating Current (vac)
f	Frekuensi (Hz)
D	Duty Cycle

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki potensi energi baru terbarukan yang besar. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menargetkan pada tahun 2025 pemanfaatan energi baru terbarukan bisa mencapai 23% [1].

Salah satu sumber energi baru terbarukan adalah dari energi laut. Ada tiga tipe potensi energi dari laut yaitu energi gelombang, energi panas laut dan energi arus laut. Berdasarkan data dari Outlook Energi Indonesia, potensi energi laut Indonesia sebesar 61 GW dengan sebaran 2 GW berasal dari energi gelombang, 41 GW dari panas laut dan 18 GW dari energi arus laut [1]. Namun kapasitas pembangkit yang sudah terpasang untuk memanfaatkan energi ini masih 0,01 MW.

Energi laut diubah menjadi listrik menggunakan turbin yang tersambung ke generator. Generator yang biasanya digunakan adalah Permanent Magnet Synchronous Generator. Daya yang dihasilkan dari PSMG bervariasi sesuai dengan besarnya energi yang berhasil memutar turbin.

Salah satu hal penting dalam pengembangan pemanfaatan energi baru terbarukan dari laut adalah efisiensi. Peningkatan efisiensi bisa digunakan dengan mengontrol distribusi daya dari generator menuju pengisian baterai. Alat yang bisa digunakan untuk meningkatkan efisiensi adalah Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT biasanya digunakan pada sistem photovoltaic yang berfungsi untuk mengatur nilai tegangan keluaran panel sehingga titik kerja beroperasi pada kondisi maksimal.

Oleh karena itu perlu dilakukan perancangan pembangkit listrik energi laut menggunakan MPPT. Karena masih belum diketahui seberapa besar dampak yang diberikan MPPT terhadap distribusi daya dari PSMG menuju pengisian baterai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang akan dipakai pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana daya yang dihasilkan oleh generator dengan variasi perubahan kecepatan?
2. Bagaimana pengaruh perancangan pembangkit listrik energi laut dengan menggunakan MPPT?

1.3 Batasan

Batasan pada tugas akhir ini adalah:

1. Pemodelan pembangkit menggunakan PSMG yang digerakkan oleh motor dengan variasi putaran
2. Generator yang digunakan adalah *Permanent Synchronous Magnet Generator* dengan ukuran 3,5 KW
3. Pengaturan kecepatan menggunakan motor induksi 3 fasa.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui daya yang dihasilkan oleh generator dengan perubahan variasi putaran.
2. Mengetahui pengaruh perancangan pembangkit listrik energi laut dengan menggunakan MPPT

1.5 Manfaat

Tugas akhir ini akan memberikan informasi terkait peran MPPT kepada pembangkit dengan berbagai variasi kondisi putaran yang dihasilkan oleh penggerak generator. Informasi ini bisa menjadi bahan pertimbangan dalam perancangan dan pengembangan pembangkit listrik energi laut.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Energi Laut [2]

Laut merupakan bagian terluas di permukaan bumi. Laut memiliki berbagai macam sumber energi didalamnya. Sudah banyak dikembangkan pemanfaatan energi di laut khususnya energi baru terbarukan. Energi baru terbarukan di laut bisa dikelompokkan menjadi beberapa kategori, yaitu:

- Energi arus laut dan pasang surut
- Energi gelombang
- Energi panas laut
- Energi dari gradien salinitas
- Budidaya biomassa laut

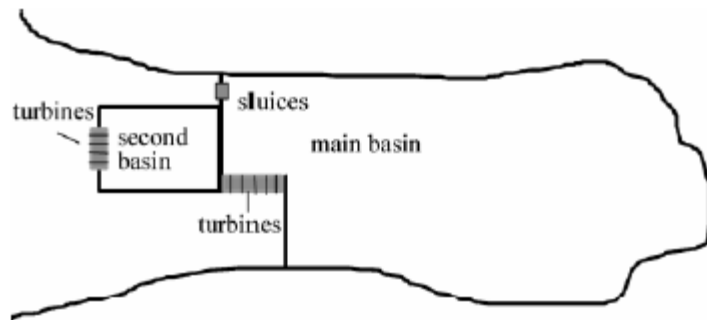
Proses konversi energi laut memiliki beberapa cara. Energi kinetik di laut bisa dikonversi dengan menggunakan sistem turbin sederhana. Berbeda dengan energi panas laut yang harus memiliki lokasi dengan perbedaan suhu yang tinggi. Perbedaan suhu yang cukup akan memudahkan dalam konversi energi uap. Gradien salinitas bisa diubah menjadi energi dengan memanfaatkan proses osmosis. Sedangkan budidaya biomassa laut akan membantu dalam menciptakan bahan bakar.

2.1.1 Energi Arus Laut dan Pasang Surut

Energi arus laut dan pasang surut merupakan energi kinetik yang berada di laut. Arus dan pasang surut dipengaruhi oleh pergerakan bulan. Berdasarkan statistik, setiap 24 jam terdapat dua kali pasang tinggi, dua kali pasang rendah dan dua kali pasang yang lebih kecil [3].

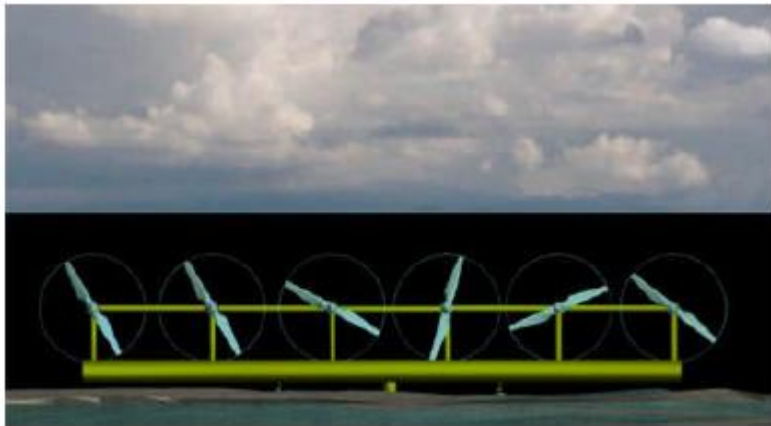
Energi arus laut dan pasang surut bisa didapatkan dengan memasang turbin vertikal maupun horisontal yang berada dibawah garis air. Terdapat dua buah cara untuk memanen energi yaitu dengan memasang turbin pada aliran bebas atau membuat sebuah bendungan pada teluk dan pantai. Pembuatan bendungan energi laut pada dasarnya memiliki prinsip yang sama dengan energi hidro yang sudah berkembang sejak lama. Salah satu proyek yang sudah berkembang adalah bendungan La Rance di Perancis [2].

Contoh penerapan pemanfaatan energi pasang surut bisa dilihat pada gambar 2.1 dan gambar 2.2 . Gambar 2.1 merupakan contoh bendungan pasang surut yang memiliki dua buah cekungan. Cekungan tersebut memiliki fungsi sebagai tempat penyimpanan dan bisa digunakan untuk menyesuaikan kebutuhan konsumen. Gambar 2.2 merupakan contoh turbin arus laut yang dipasang pada aliran bebas [4].



Gambar 1

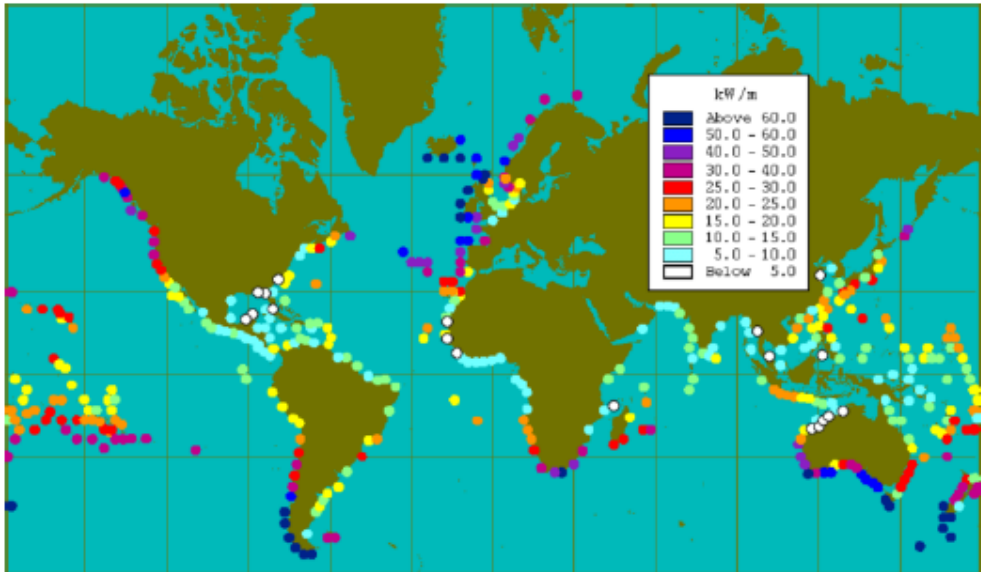
Gambar 2.18 *Two basin tidal energy*



Gambar 2.19 Turbin bawah laut

2.1.2 Energi Gelombang Laut

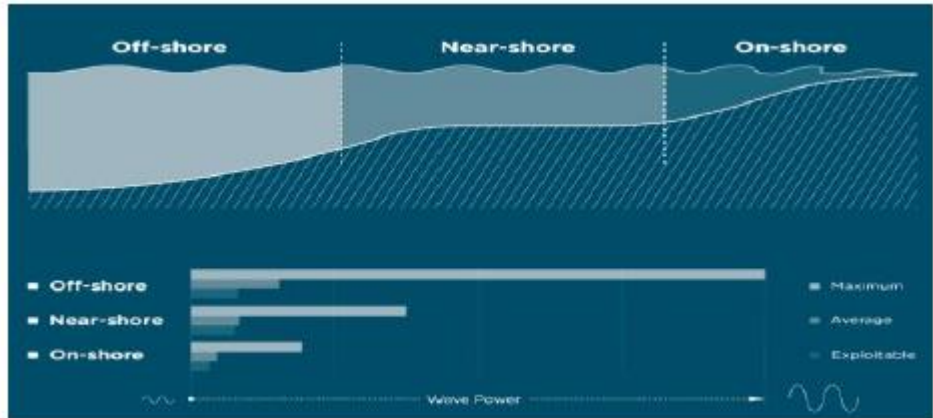
Energi gelombang laut dipengaruhi oleh pergerakan angin karena angin merupakan sumber utama terbentuknya gelombang [3]. Prinsip dasar dari pemanfaatan gelombang laut adalah dengan cara memasang pelampung di permukaan air sehingga pelampung akan mengikuti pergerakan gelombang. Gambar 2.3 merupakan potensi pemanfaatan energi gelombang laut di dunia.



Gambar 2.20 Potensi energi laut

Jenis pembangkit yang memanfaatkan gelombang laut adalah *oscillating water column*, *pelamis*, *wave dragon*, *archimedes wave swing*, *mccabe wave pump*, *power buoy* dan *aqua buoy* [4]. Penempatan pembangkit listrik gelombang laut bermacam-macam, beberapa dibariskan di garis pantai sedangkan yang lain dipasang didasar laut atau ditambatkan di kedalaman kurang dari 80 meter.

Pemanfaatan energi gelombang laut lebih banyak memiliki potensi di daerah lepas pantai. Namun tentunya konstruksi dari bangunan lepas pantai lebih sulit. Gambar 2.4. merupakan persebaran potensi energi gelombang pada lepas pantai, dekat pantai dan pantai [5].

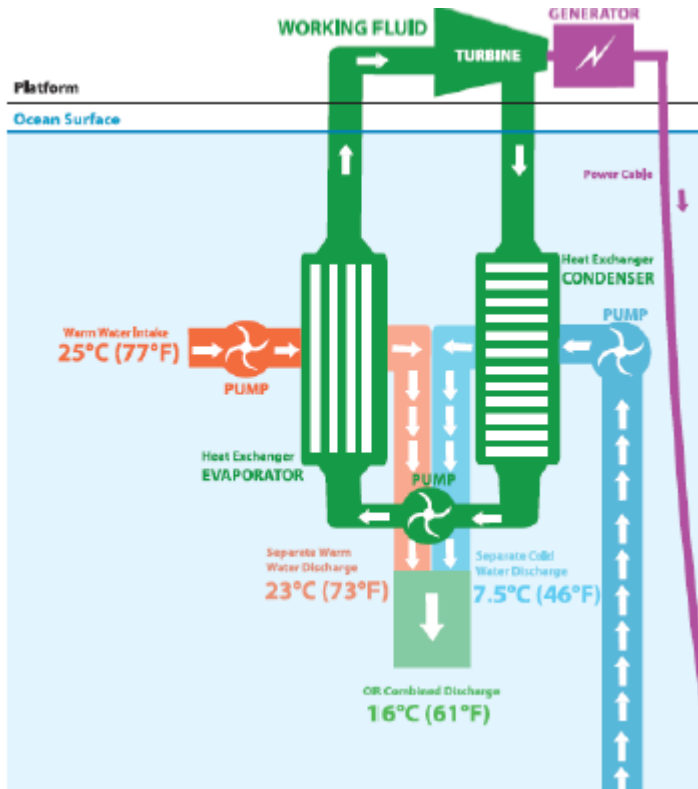


Gambar 2. 21 Potensi energi daerah lepas pantai

2.1.3 Energi Panas Laut

Secara tidak langsung, energi panas laut memanfaatkan energi surya untuk mendapatkan listrik. Cahaya matahari tidak bisa menyinari bagian laut dalam. Cahaya matahari hanya mampu menembus sampai kedalaman 100 m. Biasanya pembangkit energi pasang laut mengambil air pada kedalaman 600 hingga 1000 m dibawah permukaan laut untuk menghasilkan listrik [6].

Prinsip kerja konversi energi panas laut adalah penguapan. Cara kerja pembangkit listrik energi laut bisa dilihat pada gambar 2.5 . Terdapat aliran air tertutup yang akan menjadi aliran utama memutar turbin. Kemudian air laut dalam yang dingin akan dipompakan menuju kondenser untuk mendinginkan aliran utama. Setelah aliran utama didinginkan maka akan dialirkan menuju *evaporator* untuk dipanaskan menggunakan air hangat dari permukaan laut. Aliran utama yang dipanaskan akan menjadi uap. Kemudian uap akan memutar turbin dan menggerakkan generator. Sehingga energi listrik bisa dihasilkan.



Gambar 2. 22 Sistem OTEC

2.2 Sistem Energi Baru Terbarukan [7]

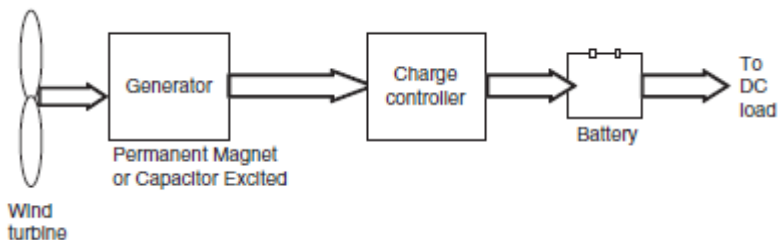
Energi baru terbarukan memiliki beberapa jenis sistem distribusi daya. Sistem ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah skala daya pembangkit, lokasi pembangkit dan pertimbangan biaya pembangunan serta operasional pada sebuah pembangkit. Semua sistem distribusi daya pada pembangkit listrik energi baru terbarukan pada dasarnya sama-sama memiliki tiga jenis sistem, yaitu *stand alone systems*, *hybrid systems* dan *Grid-connected systems*.

2.2.1 Stand Alone System

Stand alone systems merupakan sistem pembangkit yang dipakai pada daerah terpencil yang tidak memiliki akses pada grid. Bagian terpenting dari stand alone system adalah sistem penyimpanan energinya. Terdapat berbagai jenis baterai yang bisa dipakai sebagai tempat penyimpanan energi yaitu lead acid, nickel-cadmium, lithium, zinc bromide, zinc chloride, sodium sulfur, nickel-hydrogen, redox, dan vanadium. Dalam prakteknya baterai lead acid lebih sering dipakai karena memiliki harga yang lebih ekonomis dan membutuhkan perawatan yang rendah. Berikut merupakan beberapa kriteria untuk memilih baterai sebagai tempat penyimpanan energi.

- Arus pengisian dan pengosongan daya yang rendah
- Durasi pengisian dan pengosongan daya yang lama (long duty cycle)
- Deep discharge (70%-80% depth of discharge)
- Pengosongan pribadi yang rendah
- Rendahnya kebutuhan perawatan
- Efisiensi penyimpanan yang tinggi
- Harga yang murah
- Durasi pemakaian yang lama
- Pengisian/pengosongan yang bervariasi dan tidak tetap

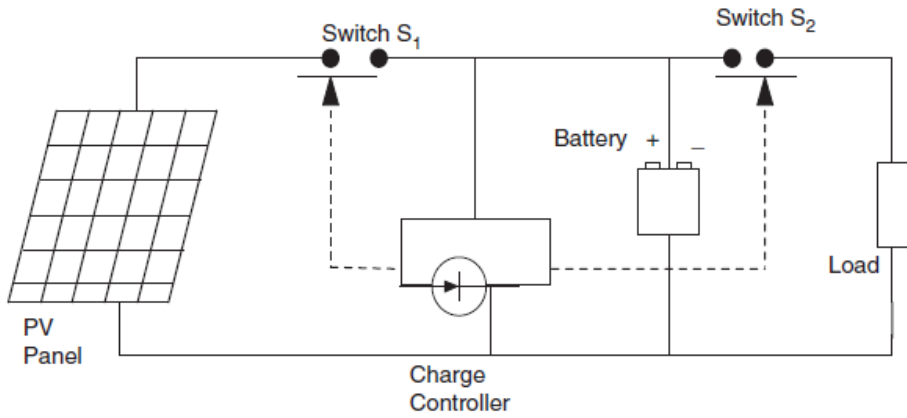
Baterai merupakan alat yang menggunakan arus DC. Perlu dipastikan bahwa arus yang masuk ke baterai harus berbentuk arus DC. Sedangkan pada pembangkit energi baru terbarukan yang menggunakan turbin, arus yang keluar dari generator adalah arus AC. Sehingga dibutuhkan sebuah alat kontroler untuk mengubah arus AC menjadi DC dan sesuai dengan kebutuhan spesifikasi baterai. Diagram sederhana dalam sistem stand alone pada kincir angin bisa dilihat pada gambar 2.6 .



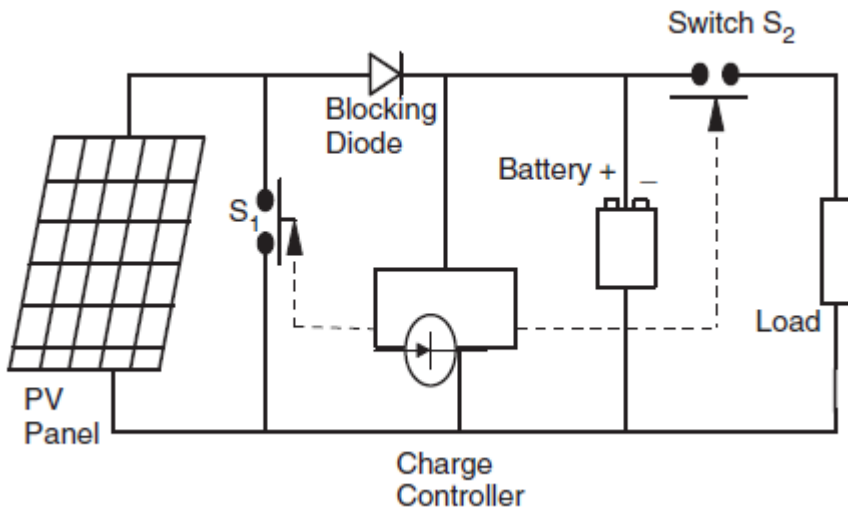
Gambar 2. 23 Diagram sistem kincir angin

Kontroler juga berfungsi sebagai pencegah agar tidak terjadi pengisian yang berlebihan pada baterai dan terjadinya pengeluaran daya ketika malam hari menuju panel surya karena sudah tidak ada cahaya matahari. Tiga tipe dari pengontrol pengisian daya adalah:

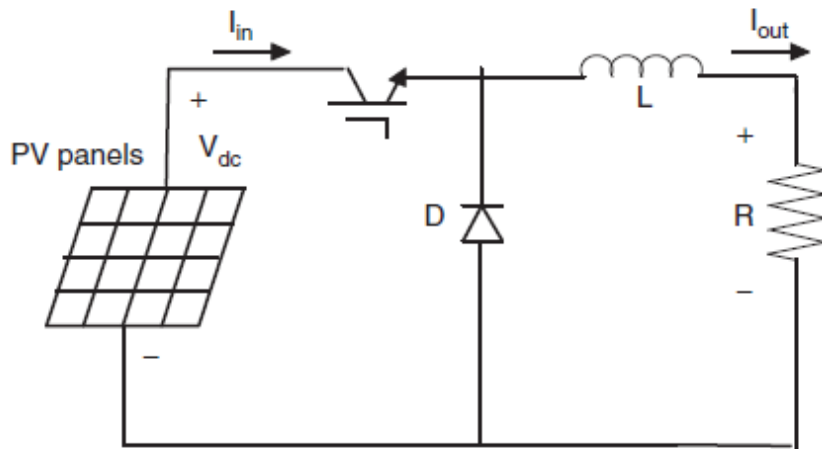
- Regulator pengisian seri
- Regulator pengisian shunt
- Konverter DC-DC



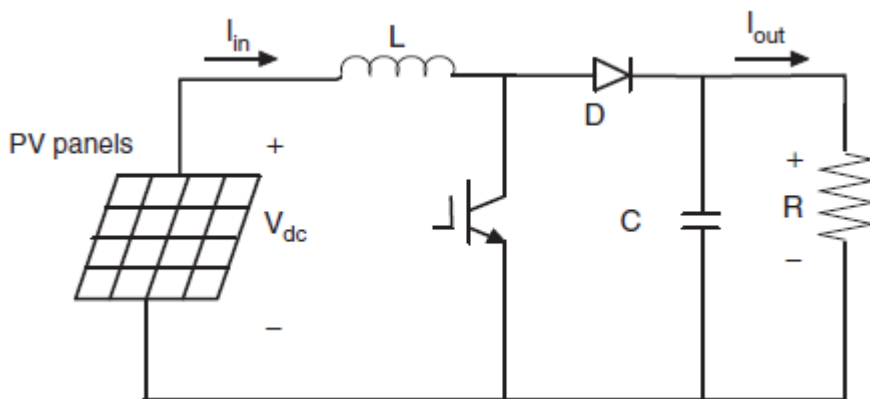
Gambar 2. 24 Regulator pengisi seri



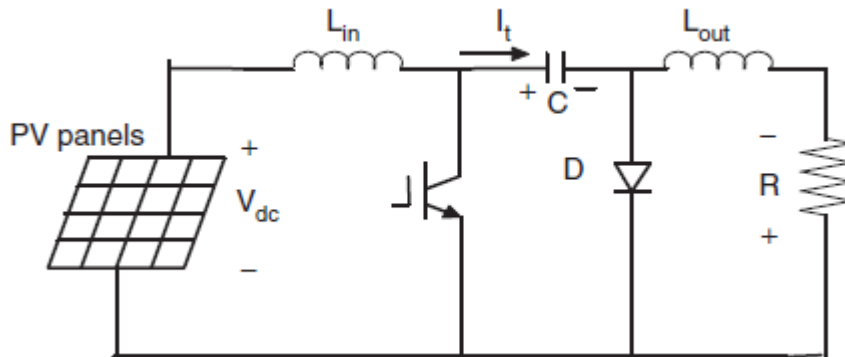
Gambar 2. 25 Regulator pengisi shunt



Gambar 2. 26 Buck Converter



Gambar 2. 27 Boost Converter



Gambar 2. 28 Buck Boost Converter

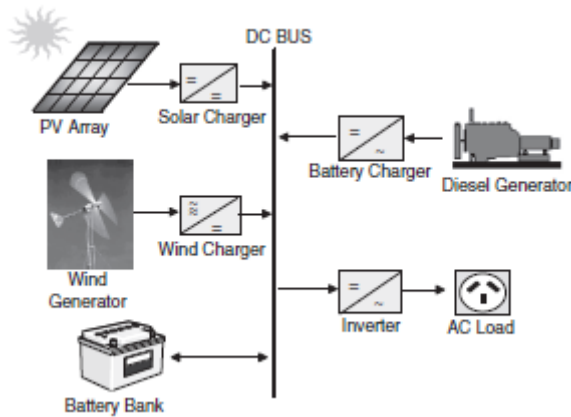
2.2.2 Hybrid System

Hybrid Renewable Energy System merupakan sistem yang menggabungkan satu atau lebih pembangkit baru terbarukan dengan sebuah pembangkit konvensional (generator diesel atau bensin) bersama penyimpanan energi. Sumber energi seperti matahari dan angin tersedia hampir di setiap ujung dunia. Namun karena dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan musim membuat sumber energi tersebut tidak bisa dimanfaatkan secara terus menerus secara konstan. Sehingga *hybrid systems* menjadi sebuah pilihan yang baik untuk menjadi sumber energi pada daerah terpencil. Penggunaan sumber energi baru terbarukan disesuaikan dengan kebutuhan lingkungan. Berdasarkan kombinasinya, *hybrid systems* bisa dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

- *Series hybrid energy systems*
- *Switched hybrid energy systems*
- *Parallel hybrid energy systems*

2.2.2.1 Series Hybrid Energy Systems

Dalam sistem seri, semua sumber energi dihubungkan ke baterai dan juga ke jaringan listrik. Sehingga setiap sumber energi harus memiliki komponen kontrol pengisian baterai. Pada generator yang memiliki arus AC harus memiliki *rectifier* untuk mengubahnya menjadi arus DC.

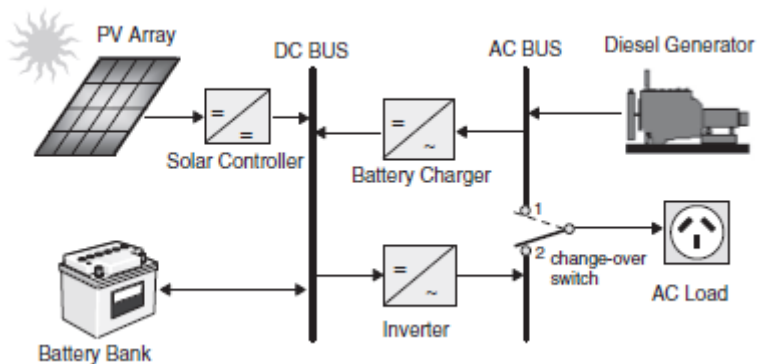


Gambar 2. 29 Sistem *hybrid* seri

Arus DC dari baterai dan dari sumber energi akan didistribusikan ke beban dengan menggunakan inverter. Inverter berfungsi untuk mengubah arus DC ke AC dan menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan. Kombinasi sistem seri bisa dilihat pada gambar 2.12

2.2.2.2 *Switched Hybrid Energy Systems*

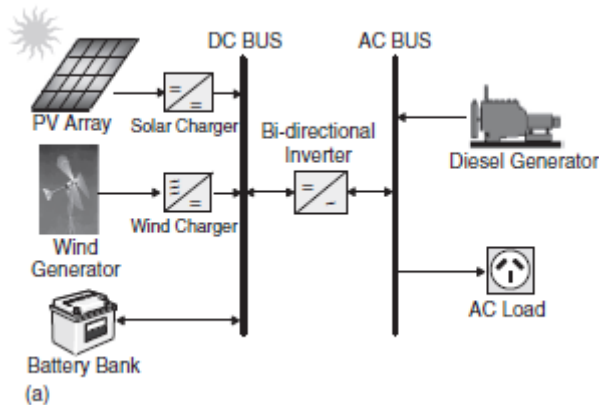
Switched hybrid energy systems seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.13 memungkinkan generator diesel untuk langsung terhubung ke jaringan listrik dan melakukan pengisian ke baterai. Sumber energi alternatif akan dihubungkan ke baterai dan inverter. Keunggulan sistem ini dibandingkan dengan sistem seri adalah memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena arus dari generator diesel langsung disambungkan ke jaringan listrik. Jika terjadi pasokan daya yang berlebih ke beban maka daya bisa digunakan untuk mengisi baterai. Hal ini yang menjadikan *switched hybrid energy system* banyak digunakan dalam sistem pembangkit.



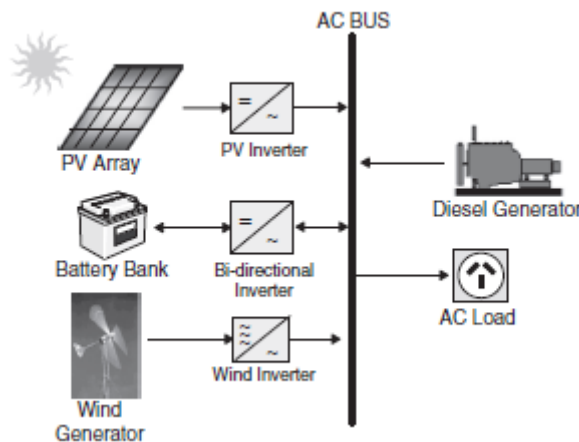
Gambar 2. 30 Sistem *hybrid* switch

2.2.2.3 Parallel Hybrid Energy System

Generator diesel dan sumber energi alternatif dipasang secara paralel dan menggunakan inverter dua arah. Inverter dua arah ini bisa berfungsi sebagai pengisi daya pada baterai yang berasal dari arus AC dan juga bisa sebagai pengubah arus DC menjadi arus AC untuk disalurkan kepada beban.



Gambar 2. 31 Sistem Hybrid Parallel DC



Gambar 2. 32 Sistem Hybrid Parallel AC

Sistem paralel dibagi menjadi dua jenis yaitu kopling AC dan kopling DC. Dalam kopling AC seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.14 . mengatur semua sumber energi untuk dijadikan arus AC dan siap didistribusikan ke beban. Setiap energi alternatif memiliki inverter dan inverter dua arah dipasang pada baterai untuk mengubah arus AC dari setiap sumber energi menjadi DC menuju ke baterai dan mengubah arus DC menjadi AC untuk dihubungkan ke jaringan listrik. Berbeda dengan kopling DC dimana penempatan inverter dua arah mengurangi kebutuhan

inverter pada sumber energi alternatif. Sistem kopling DC bisa dilihat pada gambar 2.15 .

2.3 Mesin Elektrik

Mesin elektrik adalah alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik atau energi listrik menjadi energi mekanik. Motor adalah alat yang bisa mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sedangkan alat yang bisa mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut dengan generator.

2.3.1 Generator

Generator pada energi terbarukan berfungsi untuk mengubah energi mekanik dari rotor turbin menjadi energi listrik yang akan di suplai ke beban atau pun ke jaringan listrik yang lain. Beberapa macam generator telah digunakan bersama dengan teknologi energi terbarukan seperti turbin angin. Turbin angin kecil biasanya dilengkapi dengan generator arus searah (DC) dengan kapasitas sampai dengan beberapa kilowatt. Turbin angin modern telah menggunakan sistem tiga fasa dengan generator arus bolak-balik (AC).

Beberapa tipe generator AC yang digunakan dalam turbin energi terbarukan antara lain:

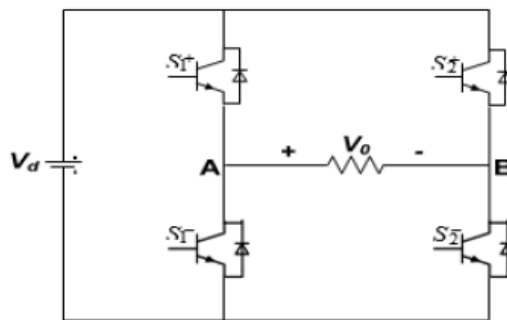
1. Generator Induksi Rotor Sangkar / *Squirrel Cage rotor Induction Generator (SCIG)*
2. Generator Induksi Rotor Belitan / *Wound rotor Induction Generator (WRIG)*
3. Generator Induksi Eksitasi Ganda / *Double Fed Induction Generator (DFIG)*
4. Generator Sinkron (dengan eksitasi eksternal) / *Synchronous Generator (with external field excitation)*
5. Generator Sinkron Magnet Permanen / *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* [8] [9].

PMSG merupakan pilihan yang baik untuk kinerja tinggi dalam pembangkit berkecepatan variabel termasuk efisiensi tinggi dan kemampuan kontrol tinggi untuk sistem pembangkit listrik [10]. Tegangan PMSG berbanding terbalik dengan daya beban. Semakin besar daya bebannya maka semakin kecil tegangan generatonya dan semakin besar arus yang perlu disuplai ke beban tersebut. Adanya resistansi dan reaktansi pada belitan stator akan mengakibatkan munculnya susut tegangan. Menurut Hukum Ohm, besarnya susut tegangan ini akan berbanding lurus dengan arus yang mengalir. Arus tersebut akan ditentukan oleh daya bebannya. Hubungan antara daya dengan arus ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$$

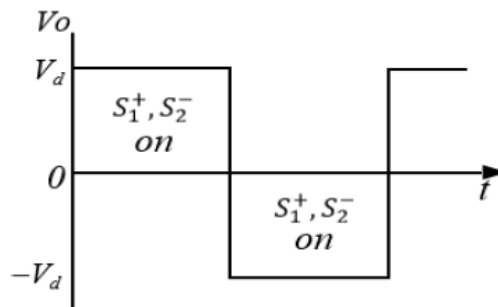
2.4 Inverter

Inverter merupakan sebuah alat yang diunakan untuk mengubah arus serah menjadi arus bolak-balik [11]. Inverter membuat tegangan bolak balik dengan cara pembentukan gelombang tegangan. Cara membuat gelombang tegangan yang bolak balik adalah dengan menggunakan saklar. Gelombang yang dihasilkan oleh inverter berbeda-beda sesuai dengan kualitas inverter. Gelombang yang terbaik adalah gelombang sinusoida, namun bentuk gelombang yang dihasilkan juga bisa berbentuk persegi (*square wave*) atau persegi termodifikasi (*quasi square wave*). Prinsip kerja inverter bisa dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2. 33 Rangkaian Inverter

Gambar 2.16 menunjukkan sistem kerja inverter satu fasa. Gelombang bolak balik terbentuk karena pengaturan saklar. Tegangan dari titik A ke B akan bernilai positif jika saklar S_1^+ dan S_2^- dinyalakan. Sebaliknya jika saklar S_1^- dan S_2^+ dinyalakan maka akan menimbulkan tegangan negatif seperti yang terlihat pada gambar 2.17.



Gambar 2. 34 Gelombang Inverter

Dengan mengatur waktu bergantiannya saklar tersambung maka inverter bisa menghasilkan frekuensi yang diinginkan. Apabila dalam satu periode saklar S_1^+ dan

S_2^- dinyalakan selama 0,5 detik dan kemudian diganti dengan saklar S_1^- dan S_2^+ yang dinyalakan selama 0,5 detik maka dalam satu periode membutuhkan waktu 1 detik. Sehingga frekuensi yang dihasilkan oleh inverter adalah 1 Hz [12].

2.4.1 Jenis Inverter [13]

Inverter dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan gelombang yang dihasilkannya yaitu *square wave*, *modified sine wave*, dan *pure sine wave*.

2.4.1.1 Square Wave

Square wave merupakan gelombang inverter yang paling sederhana. *Square wave* bisa juga disebut sebagai *dirty power supply* karena bentuk gelombangnya yang persegi. Gelombang yang persegi menyebabkan total *harmonic distortion* yang tinggi. Sehingga meskipun bisa menghasilkan tegangan 220V dan frekuensi 50 Hz inverter dengan gelombang *square wave* hanya bisa digunakan pada beberapa alat listrik.

2.4.1.2 Modified Sine Wave

Gelombang *modified square wave* bentuknya hampir sama dengan *square wave* sehingga bisa juga disebut *modified square wave* atau *quasy sine wave*. *Modified sine wave* sedikit berbeda karena gelombangnya menyentuh titik nol selama beberapa saat. Bentuk gelombang yang lebih mendekati sinusoidal membuatnya memiliki *harmonic distortion* yang lebih tinggi dan bisa dipakai pada beberapa alat elektronik yang tidak terlalu sensitif.

2.4.1.2 Pure Sine Wave

Pure sine wave merupakan gelombang paling sempurna dari inverter. Nilai total *harmonic distortion*nya bisa mencapai <3%. Inverter tipe *pure sine wave* bisa juga disebut *clean supply* dimana cocok untuk semua alat elektronik.

2.4.2 Grid Tie Inverter

Grid tie inverter merupakan inverter khusus yang biasanya dipasang pada sistem pembangkit listrik energi baru terbarukan yang langsung terhubung ke jaringan listrik. Sama dengan inverter pada umumnya yang mengubah arus DC menjadi AC, inverter ini juga bisa disebut sebagai *synchronous inverter* atau *grid-interactive inverter*.

2.5 Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracker (MPPT) adalah sebuah metode yang digunakan untuk memaksimalkan daya keluaran dari sumber energi menuju ke sistem kelistrikan [14]. Pada pembangkit listrik tenaga angin atau hidro, MPPT biasa digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran dari generator menggunakan converter daya elektronik [15]. Terdapat 19 metode MPPT yang sudah dikembangkan hingga saat ini. *Perturb and observe* dan *incremental conductance* merupakan metode yang paling banyak digunakan. Salah satu keunggulannya adalah karena mudah diterapkan.

Sebagian besar komponen MPPT terdiri dari switch mode *dc-dc converter*, control system, dan *tracking component*. MPPT dicapai dengan *mengendalikan duty cycle dari dc-dc converter*. Ketika *dc-dc converter* dikendalikan, laju rotor juga dikendalikan untuk mendapatkan daya yang maksimum. Pada pengujian keandalan MPPT pada pembangkit listrik energi laut, eksperimen dilakukan dengan cara memutar generator menggunakan motor listrik yang divariasikan putarannya.

2.5.1 DC-DC Converter [16]

DC-DC converter merupakan komponen paling penting dalam sistem distribusi daya. DC-DC converter mengatur tegangan keluaran dari modul PV agar mencapai titik daya maksimum. Duty cycle (D) menjadi poin penting dalam proses pengaturan tegangan keluaran DC-DC converter.

2.5.1.1 Buck Converter

Buck converter bekerja dengan cara menurunkan tegangan dengan cara menurunkan tegangan keluaran atau sama dengan tegangan masukan. Persamaan rasio konversi pada buck converter bisa dilihat pada persamaan:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = D$$

2.5.1.2 Boost Converter

Proses transfer energi dalam boost converter dilakukan oleh kombinasi empat buah komponen yaitu powerswitch, induktor, kapasitor dan dioda. Perbandingan tegangan output dan input dapat dinyatakan pada persamaan. *Duty cycle* atau D adalah rasio waktu ON dari switch terhadap waktu perioda switching secara keseluruhan.

$$V_{dc2} = \frac{1}{(1 - D)} V_{dc1}$$

2.5.1.3 Buck-Boost Converter

Buck-boost converter merupakan gabungan dari konverter yang bisa menaikkan dan menurunkan tegangan. Cara kerja buck-boost converter dengan cara membuat tegangan output terbalik. Sehingga switch bisa mengubah tegangan keluaran lebih rendah atau lebih tinggi.

$$V_o = - \frac{V_{in} D}{(1 - D)}$$

2.6 Variable Speed Drive Controller [17]

Variable speed drive controller berfungsi untuk mengatur putaran motor induksi. Sistem pengendalian dibutuhkan dalam mengatur jangkauan putaran dan mengatur kestabilan untuk mendapatkan putaran motor ideal yang diinginkan.

Pengaturan putaran pada motor induksi menggunakan prinsip pengaturan kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron bisa disebut sebagai kecepatan medan magnet putar. Besar Kecilnya kecepatan dipengaruhi oleh jumlah kutub stator dan frekuensi dayanya. stator merupakan bagian yang berputar, kumparan yang ada didalamnya dihubungkan dengan sumber daya 3 fasa. Sehingga persamaan kecepatan sinkron bisa dilihat pada :

$$N_s = \frac{f \cdot 120}{P}$$

dengan N_s adalah kecepatan sinkron (rpm), f adalah frekuensi sumber daya (Hz), dan P adalah jumlah kutub stator.

Frekuensi pada jaringan listrik mempunyai nilai konstan. Frekuensi di indonesia adalah 50 Hz. Sehingga dalam mengatur frekuensi digunakan sebuah inverter. Inverter akan mengatur frekuensi dengan mengontrol waktu pensaklaran pada rangkaian *switch*. Pengontrol pensaklaran ini dengan menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation*. *Switch* bekerja dengan mengubah arus DC menjadi arus AC. Arus DC berasal dari jaringan listrik yang disearahkan dengan menggunakan rectifier.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk menjawab tujuan yang telah dibuat maka diperlukan metodologi penelitian berupa diagram alir dimana terdiri dari langkah-langkah melakukan eksperimen. Pembuatan diagram alir bertujuan agar peneliti dapat memonitoring hasil capaian yang dilakukan tidak menyimpang dari tujuan tugas akhir ini. Pada Gambar 3.1 merupakan diagram alir penelitian tugas akhir yang akan digunakan. Pelaksanaan tugas akhir mengenai perancangan dan pengujian *test bed* pembangkit listrik energi laut dimulai identifikasi masalah. Identifikasi masalah dilakukan dengan tujuan untuk memperdalam masalah sehingga peneliti bisa fokus pada permasalahan yang sedang dihadapi. Permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini adalah tentang test bed pembangkit listrik energi laut yang akan diuji sebelum alat dioperasikan di lapangan. Selanjutnya dilanjutkan dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan bertujuan untuk mendapatkan referensi agar dapat mendukung jalannya penelitian, sehingga dapat mengetahui prosedur yang akan dilakukan untuk penelitian ini.

Pada tahap selanjutnya akan dilakukan perancangan model. Model pembangkit listrik energi laut yang akan diuji merupakan pembangkit listrik energi laut dengan sistem stand alone. Sistem stand alone merupakan sistem pembangkit yang menyimpan daya hasil dari generator pada baterai. Sehingga ketika ingin menggunakan daya harus melalui baterai.

Model pembangkit listrik energi laut berada di Laboratorium Perancangan dan Manufaktur Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Model pembangkit listrik energi laut yang dirancang terdiri dari permanen magnet generator 3 fasa sebagai penghasil daya listrik. Generator akan dihubungkan pada rectifier 3 fasa *full wave* untuk menghasilkan gelombang DC yang maksimal. Arus dirubah dari AC menuju DC agar bisa diproses oleh *Maximum Power Point Tracking*. Alat *maximum power point tracking* yang digunakan sudah termasuk dengan regulator. Regulator berfungsi sebagai pengatur daya yang akan diisikan kepada baterai. Proses terakhir pada perancangan model pembangkit listrik energi laut adalah pemasangan baterai ke MPPT.

Generator sebagai penghasil daya digerakkan oleh motor induksi 3 fasa. Motor induksi 3 fasa berfungsi sebagai pengganti turbin untuk memutar generator. Motor induksi dihubungkan ke generator dengan menggunakan pulley. Perbandingan pulley yang digunakan adalah 1:4 dimana diameter pada motor lebih kecil sehingga kecepatan generator bisa lebih rendah. Motor yang digunakan adalah motor dengan kapasitas 32 kW. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa dengan variasi putaran pada generator. Sehingga motor sebagai penggerak generator akan diatur kecepatan putarnya. Pengaturan kecepatan motor menggunakan *variable speed drive controller*. *Variable speed drive controller* mengatur kecepatan motor dengan memvariasikan

frekuensi motor. Frekuensi motor ini akan menjadi variable tetap dalam penelitian. Pemilihan frekuensi motor sebagai variabel tetap karena mudahnya pengaturan besar kecilnya frekuensi.

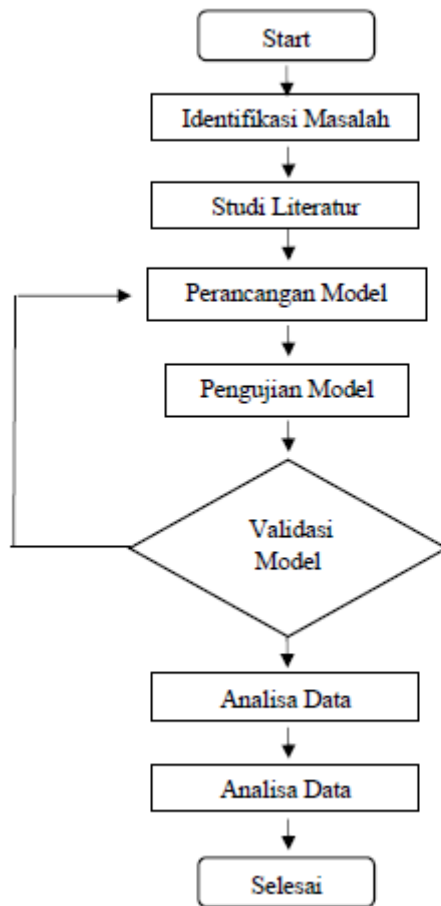
Setelah model pembangkit listrik energi laut sudah jadi dan test bed sudah terpasang maka tahap selanjutnya adalah pengujian. Proses pengujian dilakukan menjadi dua tahap yaitu pengujian kinerja generator dan pengujian kinerja MPPT. Dalam pengujian kinerja generator akan dilakukan pengukuran putaran, tegangan dan arus yang keluar dari generator. Sedangkan dalam pengujian kinerja MPPT akan dilihat tegangan yang masuk dan yang keluar menuju baterai.

Pada pengujian generator, data akan dibandingkan dengan data dari standar generator yang sudah ada. Dari pengujian ini akan terlihat keandalan dari generator yang dipakai pada model pembangkit listrik energi laut. Sebelum dilakukan pengukuran pada generator akan dilakukan pengujian pada *variable speed drive controller*. *Variable speed drive controller* akan diuji dengan mengukur putaran motor yang dihasilkan berdasarkan frekuensi yang sudah ditetapkan. Selanjutnya akan dibandingkan apakah kondisi *speed drive controller* pada eksperimen sudah sesuai dengan teori perhitungan yang sudah ada.

Pengujian MPPT dilakukan dengan menghubungkan MPPT dengan komputer. Data yang didapatkan dari tampilan akan diukur tegangan yang masuk dan tegangan yang keluar pada MPPT. Akan diambil data tegangan dalam keadaan baterai tersambung dan baterai tidak tersambung. Dari data ini akan dilihat bagaimana pengaruh MPPT pada sistem pembangkit.

Setelah dilakukan pengujian maka akan dilakukan validasi. Validasi bertujuan untuk mengatasi masalah jika terdapat data yang tidak bisa diambil. Seperti contoh jika baterai yang digunakan tidak cocok maka akan dilakukan penggantian jenis baterai.

Data eksperimen yang didapat diolah dan dianalisa dalam bentuk tabel dan grafik untuk dapat disimpulkan hasilnya. Penyusunan laporan dilakukan setelah mendapatkan hasil analisa dan kesimpulan pada tugas akhir ini.



Gambar 3 6 Diagram alur

3.2 Perancangan Model

Dalam proses perancangan model akan dilakukan perancangan model pembangkit energi laut di laboratorium. Penggerak generator akan diganti dengan menggunakan motor. Alat yang digunakan adalah:

3.2.1 Altivar 61 (*Variable Speed Drive Controller*)

Altivar 61 merupakan pengatur kecepatan pada motor yang akan memutar generator.



Gambar 3 7 Altivar 61

3.2.2 Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa berfungsi untuk memutar generator. Berikut merupakan spek motor induksi 3 fasa :

1. Merk : Melco
2. Frekuensi : 60 Hz
3. Putaran : 1724 rpm
4. Daya : 36 kW



Gambar 3 8 Motor Induksi 3 fasa

3.2.3 Generator Sinkron

Generator merupakan alat yang akan diuji performanya. Pada perancangan ini generator yang digunakan adalah:

Merk	: Ginlong
Putaran	: 250
Daya	: 3500 Watt



Gambar 3 9 Generator

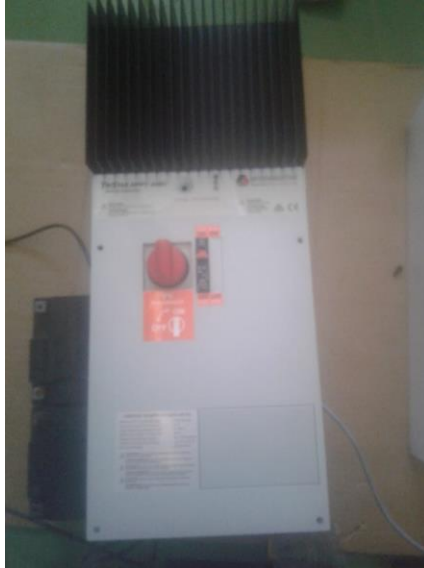
3.2.4 Rectifier

Rectifier berfungsi sebagai engubah arus AC menjadi arus DC. *Rectifier* yang digunakan adalah *rectifier* 3 fasa dengan *full wave rectification*.

3.2.5 MPPT

MPPT merupakan kontroler yang biasanya digunakan untuk memaksimalkan daya yang keluar dari photovoltaik. MPPT saat ini juga sudah digunakan pada pembangkit listrik tenaga bayu. Dalam eksperimen kali ini MPPT yang digunakan adalah :

Merk	: Tristar
Maksimal arus	: 60 A
Maksimal tegangan masuk	:600 V

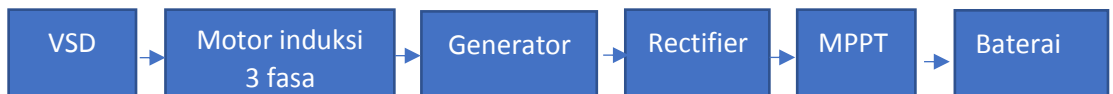


Gambar 3 10 MPPT

3.3 Baterai

Terdapat tiga jenis baterai pada eksperimen kali ini yaitu baterai Sealed Lead Acid dengan kapasitas 12 V 70 Ah, Sealed Lead Acid dengan kapasitas 12 V 3,5 Ah, dan Sealed Acid dengan kapasitas 12 V 6,5 Ah.

Alat-alat akan dirangkai menjadi test bed pembangkit listrik energi laut dengan susunan sebagai berikut:



3.4 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan merupakan langkah dalam mengambil data pada tugas akhir kali ini. Pengujian komponen dilakukan sebanyak dua macam yaitu pengujian kinerja generator dan pengujian pengaruh MPPT.

3.4.1 Prosedur Percobaan Pengujian Kinerja Generator

- a. Generator dihubungkan dengan motor menggunakan pulley dengan rasio 1:4.
- b. Motor induksi dihubungkan ke *variable speed drive controller*.
- c. *Variable speed drive controller* dihubungkan ke jaringan listrik PLN sebagai sumber daya utama.

- d. Melakukan pengaturan pada *variable speed drive controller* agar sesuai dengan spesifikasi motor.
- e. Menjalankan motor dengan memvariasikan frekuensi motor.
- f. Mengukur kecepatan motor.
- g. Tegangan generator diukur menggunakan *multimeter*. Kecepatan generator diukur menggunakan tachometer.
- h. Langkah g diulangi dengan variasi frekuensi motor yang berbeda.

3.4.2 Prosedur Percobaan Pengujian Pengaruh MPPT

- a. Melakukan pengukuran tegangan yang masuk dan keluar pada *rectifier* 3 fasa yang sudah dihubungkan ke generator.
- b. Menghubungkan *rectifier* 3 fasa dengan MPPT dengan menghentikan generator terlebih dahulu.
- c. Menghubungkan MPPT pada baterai.
- d. Melakukan pengaturan pengisian baterai pada MPPT.
- e. Menghubungkan MPPT dengan komputer.
- f. Menghidupkan saklar MPPT dari baterai dan menganalisa tegangan baterai. Jika baterai sudah siap untuk diisi maka dilakukan tahap selanjutnya.
- g. Menghubungkan saklar MPPT dari *rectifier* dan menjalankan generator.
- h. Mengamati tegangan yang masuk dan keluar dari MPPT serta memvariasikan putaran generator dengan mengatur frekuensi motor. Pengamatan dilakukan dengan mengambil data saat baterai terisi dan tidak

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Kinerja Daya Hasil Generator Menggunakan Variasi Putaran

Penelitian perancangan dan pengujian test bed pembangkit listrik energi laut dilakukan di Laboratorium Perancangan dan Manufaktur Teknik Sistem Perkapalan. Penelitian dimulai dengan mengukur kinerja generator. Pengujian generator dilakukan di dalam laboratorium dan menggunakan turbin sebagai penggerak generator. Fungsi turbin sebagai penggerak di lapangan sesungguhnya digantikan oleh motor induksi 3 fasa.

Motor induksi 3 fasa dihubungkan dengan generator menggunakan pulley dengan rasio ukuran pulley 1:4. Penggunaan pulley yang lebih besar agar torsi yang dibutuhkan motor lebih rendah. Pulley pada sambungan generator dan motor dipasang secara permanen. Sehingga perbandingan kecepatan pada motor dan generator akan selalu sama.

Variable speed drive controller digunakan sebagai pengatur kecepatan pada motor. Sehingga motor bisa menyesuaikan kecepatannya sesuai dengan kecepatan yang dibutuhkan oleh generator. Cara kerja *variable speed drive controller* adalah dengan mengatur frekuensi motor sesuai dengan persamaan :

$$N_s = \frac{f \cdot 120}{P}$$

Penelitian menggunakan permanen magnet generator 3 fasa yang memiliki daya maksimal sebesar 3,5 kW. Daya sebesar 3,5 kW bisa dicapai pada kecepatan maksimal sebesar 250 rpm. Dengan rasio pulley 1:4 maka kecepatan motor maksimal adalah 1000 rpm. Motor induksi yang dipakai pada eksperimen merupakan motor induksi 3 fasa dengan spesifikasi 4 pole dan 32 kW. Berdasarkan persamaan kecepatan rasio motor maka frekuensi yang seharusnya diatur pada *variable speed generator* adalah:

$$f = \frac{N_s \cdot P}{120}$$

$$f = \frac{1000 \cdot 4}{120}$$

$$f = 33,333$$

Sehingga frekuensi maksimal pada *variable speed drive controller* adalah 33,333.

Pada eksperimen ini ditetapkan nilai variasi frekuensi maksimal pada motor induksi adalah 33. Frekuensi divariasikan dari nilai yang paling kecil yaitu 3 dan kemudian variasi selanjutnya adalah kelipatan 3 hingga mencapai angka 33.

4.1.1 Efisiensi *Variable Speed Drive Controller*

Pengujian test bed pembangkit listrik energi laut akan membandingkan kinerja *variable speed drive controller* secara eksperimen dan perhitungan matematis. Kinerja *variable speed drive controller* dilihat dari kecepatan motor yang dihasilkan. Berdasarkan perhitungan pada persamaan kecepatan rasio motor maka nilai kecepatan motor sesuai dengan perhitungan adalah :

$$N_s = \frac{f \cdot 120}{P}$$
$$N_s = \frac{3 \cdot 120}{4}$$
$$N_s = 90 \text{ rpm}$$

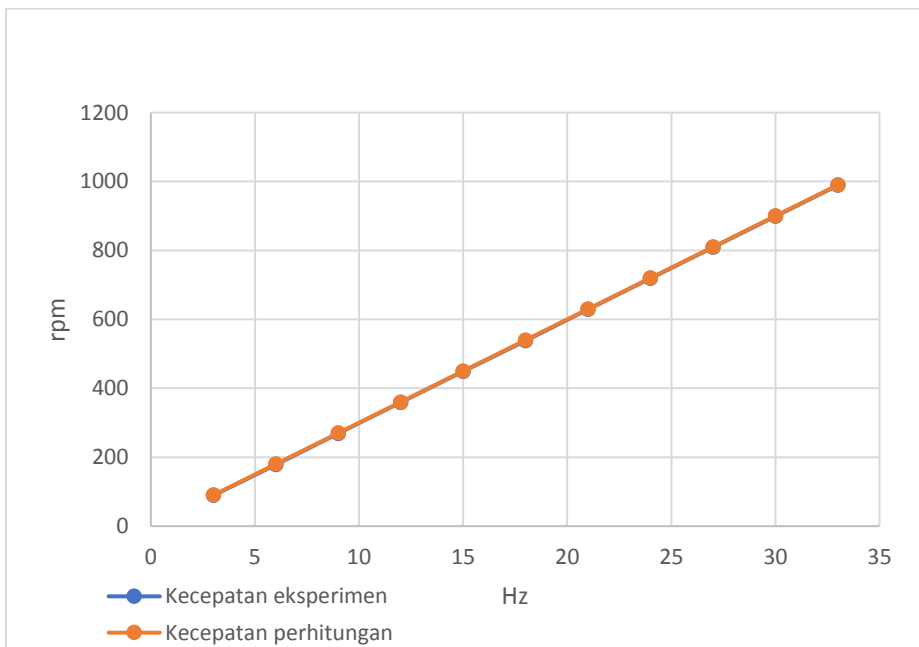
Sehingga pada frekuensi motor 3 Hz, kecepatan motor adalah 90 rpm. Perbandingan kecepatan motor berdasarkan eksperimen dan perhitungan bisa dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4 16 Efisiensi *Variable Speed Drive Controller*

Frekuensi motor	Kecepatan motor eksperimen	Kecepatan motor perhitungan	Efisiensi
Hz	Rpm	rpm	%
3	89	90	0,989
6	178	180	0,989
9	269	270	0,996
12	359	360	0,997
15	449	450	0,998
18	538	540	0,996
21	629	630	0,998
24	719	720	0,999
27	809	810	0,999
30	899	900	0,999

33	989	990	0,999
----	-----	-----	-------

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kecepatan motor pada eksperimen lebih rendah dari kecepatan motor berdasarkan perhitungan. Pada frekuensi 3 Hz berdasarkan perhitungan maka kecepatan motor seharusnya adalah 90 rpm namun pada hasil pengukuran eksperimen menunjukkan kecepatan motor adalah 89 Hz. Selisih putaran perhitungan dan eksperimen berada pada angka 1 sampai dengan 2. Sedangkan efisiensi hasil dari variabel speed drive controller adalah 0,989 pada frekuensi 3 Hz. Semakin tinggi frekuensi motor yang digunakan frekuensi yang dihasilkan semakin tinggi. Rata-rata frekuensi pada eksperimen ini adalah 0,996.



Gambar 4.19 Grafik efisiensi vsdc

Efisiensi pada kinerja variable speed drive controller mendekati 100% seperti yang terlihat pada gambar 4.1. Grafik berbentuk garis linear sesuai dengan persamaan kecepatan ratio. Grafik yang muncul menunjukkan garis kecepatan eksperimen dengan kecepatan perhitungan hampir berdampingan. Hal ini menunjukkan bahwa variable speed drive controller bekerja dengan baik.

Hasil eksperimen menunjukkan nilai yang lebih kecil dari pada berdasarkan perhitungan. Hal ini bisa disebabkan karena rugi-rugi daya yang disebabkan oleh rangkaian listrik, tembaga dan besi.

4.1.2 Keandalan Generator

Generator yang digunakan adalah generator 3 fasa dengan rangkaian star. Pada rangkaian star maka

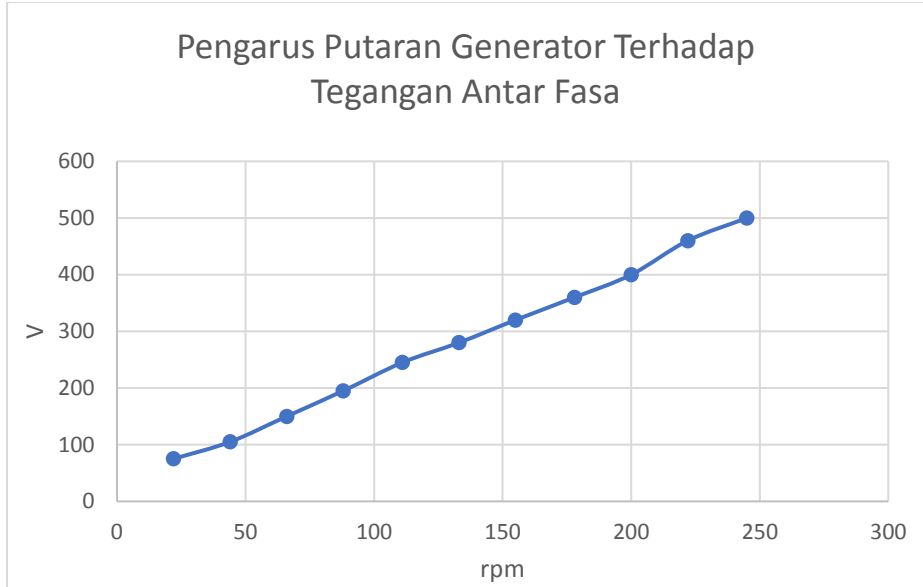
$$\sqrt{3} V_{phase} = V_{line}$$

Dari eksperimen yang dilakukan didapatkan data sesuai pada tabel 4.2.

Tabel 4 17 Hasil putaran generator

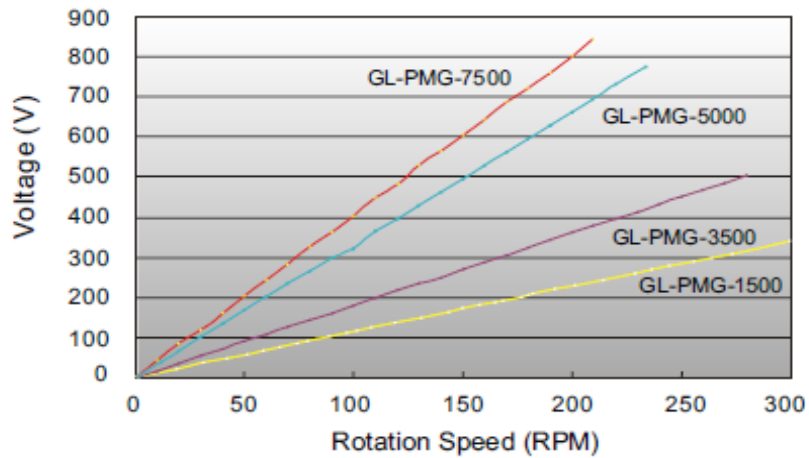
Frekuensi motor (Hz)	Kecepatan generator (rpm)	Tegangan fasa nol(V)			Tegangan line(V)		
		RN	SN	TN	RS	ST	TN
3	22	30	30	30	75	75	75
6	44	60	60	60	105	105	105
9	66	90	90	90	150	150	150
12	88	120	120	120	195	195	195
15	111	155	155	155	245	245	245
18	133	185	185	185	280	280	280
21	155	200	200	200	320	320	320
24	178	230	230	230	360	360	360
27	200	260	260	260	400	400	400
30	222	290	290	290	460	460	460
33	245	320	320	320	500	500	500

Dari tabel 4.2 diketahui bahwa semakin tinggi putaran generator maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4 20 Tegangan keluaran generator

Unloaded Voltage



Gambar 4 21 Standar tegangan generator

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa grafik pengaruh putaran generator terhadap tegangan antar fasa berupa grafik linear. Grafik pada eksperimen sudah hampir sesuai dengan grafik pada katalog generator yang dipakai. Namun grafik yang

dihasilkan dari pengukuran pada eksperimen tidak berupa grafik linear sempurna. Hal ini bisa terjadi dikarenakan umur generator.

4.2 Kinerja Pengaruh MPPT pada Sistem Pembangkit

Setelah tegangan generator sudah sesuai dengan standar yang ada maka tahap selanjutnya adalah menyambungkan generator ke model pembangkit listrik dengan menghubungkan generator ke *rectifier*. Jika *rectifier* sudah sesuai dengan spesifikasi MPPT maka akan disambungkan ke MPPT dan dilakukan pengukuran kinerja MPPT.

4.2.1 Efisiensi Rectifier

Rectifier berfungsi untuk menyearahkan arus dari generator yang berupa arus AC menjadi arus DC agar bisa diproses oleh konverter yang akan mengisi daya menuju baterai yang memiliki tegangan DC. *Rectifier* yang digunakan pada eksperimen ini merupakan *rectifier* 3 fasa dengan *full wave three-phase rectification*. *Full wave three-phase rectification* dipilih agar gelombang DC yang dihasilkan lebih halus dibandingkan dengan *half wave rectification*. Untuk menghitung tegangan yang keluar dari *rectifier full wave three-phase rectification* bisa menggunakan persamaan :

$$V_{DC} = \left[\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \right] \cdot V_s$$

Dimana :

V_{DC} = tegangan DC yang keluar dari *rectifier*

V_s = merupakan hasil dari persamaan

$$V_s = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

V_L = tegangan maksimal pada line

Dari persamaan tersebut maka bisa dihitung tegangan DC yang keluar dari *rectifier* sebagai berikut:

$$V_s = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$V_s = \frac{75}{\sqrt{3}}$$

$$V_s = 43,30$$

Setelah didapatkan V_s maka selanjutnya dihitung tegangan DC yang keluar dari rectifier 3 fasa. Perhitungan tegangan DC yang keluar dari *rectifier* 3 fasa menggunakan persamaan:

$$V_{DC} = \left[\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \right] \cdot V_s$$

$$V_{DC} = \left[\frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \right] \cdot 43,30$$

$$V_{DC} = 1,654 \cdot 43,30$$

$$V_{DC} = 71,62$$

Dari perhitungan yang didapatkan maka pada tegangan AC sebesar 75 V dari generator akan menghasilkan tegangan DC sebesar 71,62 V dari *rectifier*. Hasil dari perhitungan tegangan bisa dilihat pada table 4.3.

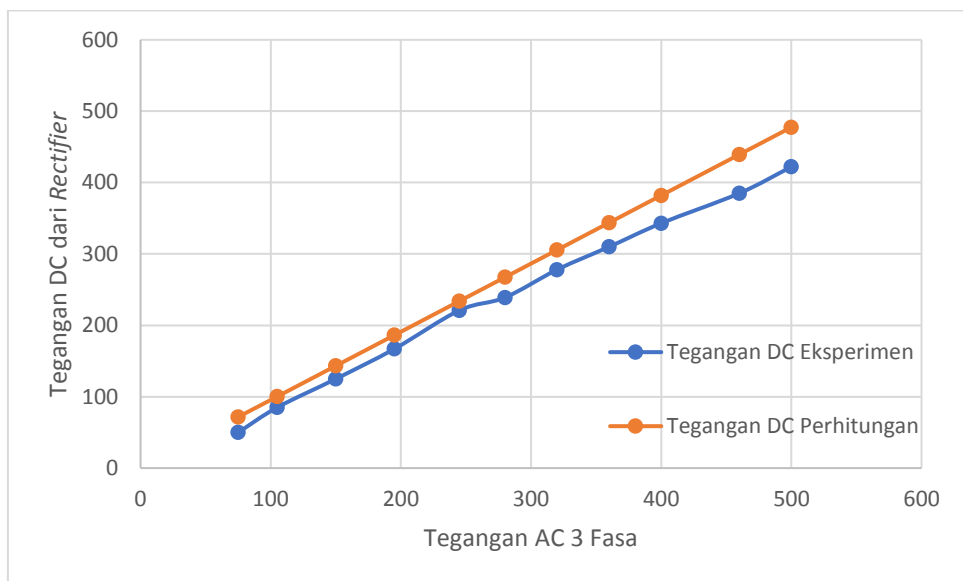
Tabel 4 18 Efisiensi Rectifier

Tegangan Antar Fasa(V)			Tegangan Output DC Eksperimen (V)	Tegangan Output DC Perhitungan (V)	Efisiensi
RS	ST	TN			
75	75	75	50	71,62	0,698126
105	105	105	85	100,27	0,847725
150	150	150	125	143,24	0,872658
195	195	195	167	186,21	0,896824
245	245	245	221	233,96	0,944607
280	280	280	239	267,38	0,893851
320	320	320	278	305,58	0,909746
360	360	360	310	343,78	0,901746
400	400	400	343	381,97	0,897965
460	460	460	385	439,27	0,876452

500	500	500	422	477,47	0,883828
-----	-----	-----	-----	--------	----------

Dari tabel 4.3 bisa dilihat bahwa nilai tegangan output dari *rectifier* lebih rendah dari pada nilai tegangan dari perhitungan. Pada tegangan AC 75 V selisih tegangan DC eksperimen dan perhitungan adalah 21,62 V. Selisih tegangan semakin naik hingga pada tegangan AC 500 V selisih tegangan DC eksperimen dan perhitungan adalah 55,47 V. Hal ini menunjukkan rendahnya efisiensi *rectifier* yang dipakai. Rata-rata efisiensi tegangan DC *rectifier* adalah 0,874 %. Efisiensi *rectifier* memiliki nilai tertinggi pada tegangan AC 245 V yaitu sebesar 0,945 %.

Rendahnya tegangan DC hasil dari eksperimen dibandingkan dengan perhitungan disebabkan karena adanya voltage drop pada rangkaian dioda yang dipasang pada *rectifier*.

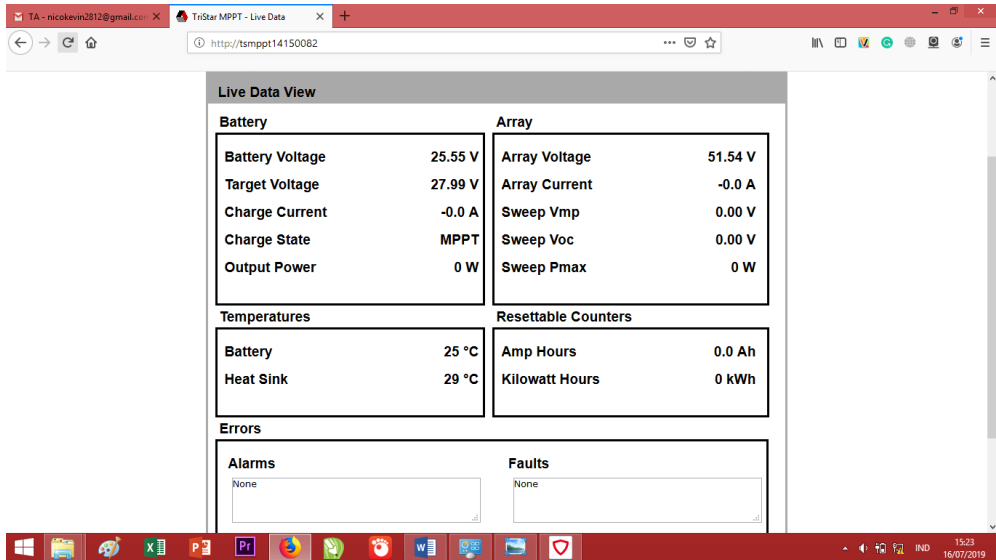


Gambar 4 22 Efisiensi Rectifier

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin besar tegangan AC tiga fasa yang keluar dari generator maka semakin jauh selisih dari tegangan DC yang keluar.

4.2.2 Pengaruh MPPT pada Pembangkit Listrik

Pengujian pengaruh MPPT pada pembangkit listrik energi laut dilakukan dengan beberapa variasi baterai. Variasi penggunaan baterai yang bermacam-macam disebabkan karena MPPT masih belum bisa bekerja hingga dilakukannya percobaan menggunakan baterai yang ke empat. Gambar 4.4 menunjukkan tampilan pada layar monitor yang menyatakan bahwa MPPT sudah aktif dan siap untuk digunakan.



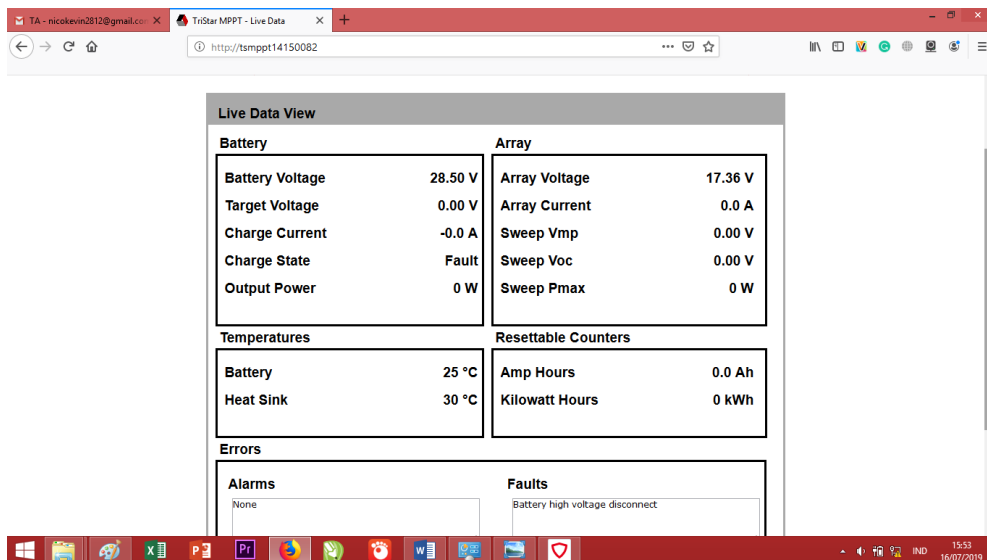
Gambar 4. 23 Tampilan monitor MPPT

Percobaan berhasil setelah peneliti menggunakan dua buah baterai lead acid dengan kapasitas 12V dan 3,5 Ah.

Percobaan sebelumnya berturut-turut menggunakan baterai Sealed Lead Acid dengan kapasitas 12 V dan 7,2 Ah. Pada percobaan ini peneliti menggunakan 5 buah baterai. Pada saat diukur dengan multimeter tegangan yang muncul hanya 32 V dimana seharusnya tegangan yang ada adalah 60 V. Ketika dihubungkan dengan indikator MPPT tidak menyala. Tegangan baterai juga tidak terbaca oleh MPPT. Hal ini disebabkan karena kondisi baterai yang sudah lama dan tidak pernah digunakan.

Percobaan selanjutnya yang gagal adalah menggunakan baterai Sealed Lead Acid 12 V dengan 70 Ah. Pada percobaan ini indikator MPPT menyala namun terjadi kesalahan dan fungsi MPPT tidak menyala. Hal ini disebabkan karena tegangan dari baterai terlalu rendah.

Percobaan ketiga yang gagal adalah menggunakan 3 buah baterai Lead Acid 12 V 3,5 Ah. Percobaan gagal karena seharusnya tegangan yang dihasilkan oleh baterai adalah 36 V akan tetapi yang terbaca adalah 28,5 Volt. Algoritma MPPT menyatakan bahwa tegangan terlalu tinggi untuk pengisian sehingga dengan sendirinya memutuskan hubungan. Indikator kegagalan bisa dilihat pada tampilan monitor pada gambar 4.5.



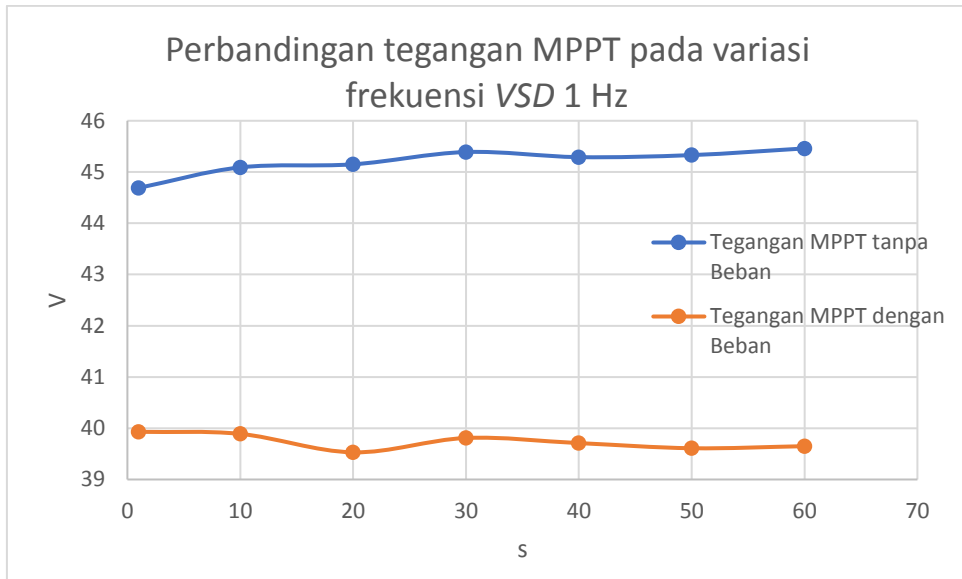
Gambar 4 24 Tampilan monitor kegagalan MPPT

Dari data yang didapatkan oleh pengujian menggunakan baterai Lead Acid 12 V dan 3,5 Ah dilakukan pengamatan pada tiap variasi frekuensi motor selama 1 menit. Variasi frekuensi motor yang dilakukan adalah 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz, 4 Hz, 5 Hz, dan 6 Hz. Variasi frekuensi rendah karena kapasitas baterai yang digunakan rendah.

Tabel 4 19 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 1 Hz

Waktu (s)	Tegangan MPPT tanpa beban (V)	Tegangan MPPT dengan beban (V)
1	44,69	39,93
10	45,09	39,89
20	45,15	39,53
30	45,39	39,81
40	45,29	39,71
50	45,33	39,61

60	45,46	39,65
----	-------	-------

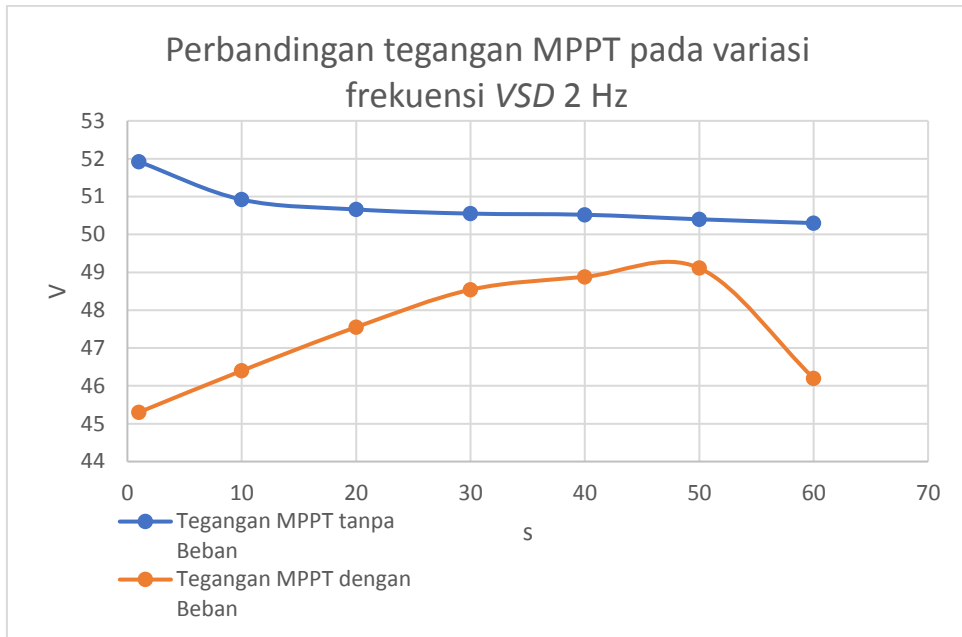


Gambar 4 25 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 1 Hz

Tabel 4 20 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 2 Hz

Waktu (s)	Tegangan MPPT tanpa beban (V)	Tegangan MPPT dengan beban (V)
1	51,92	45,3
10	50,92	46,4
20	50,66	47,55
30	50,55	48,54
40	50,52	48,88
50	50,4	49,11

60	50,3	46,2
----	------	------

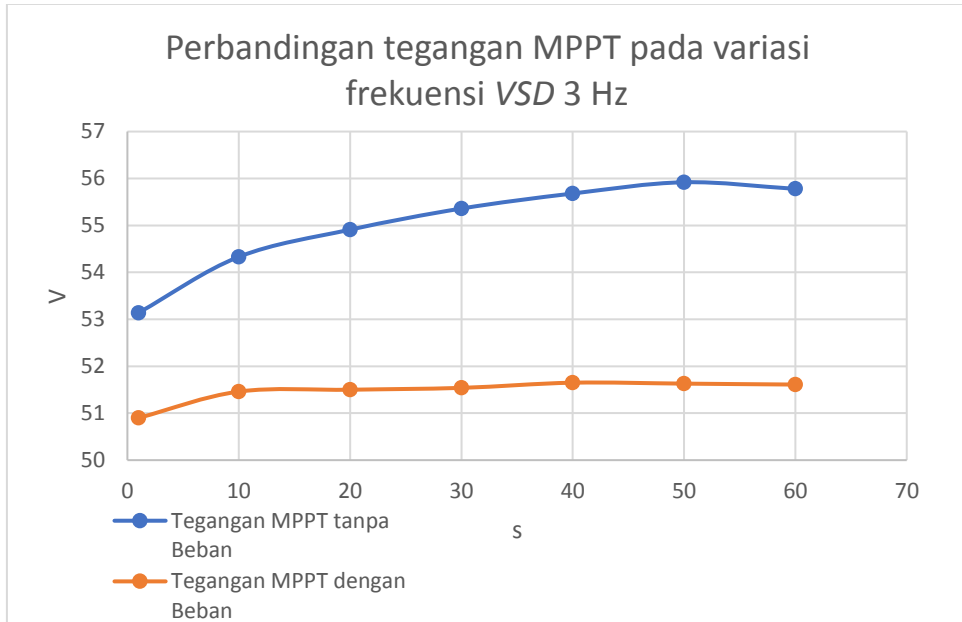


Gambar 4 26 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 2 Hz

Tabel 4 21 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 3 Hz

Waktu (s)	Tegangan MPPT tanpa beban (V)	Tegangan MPPT dengan beban (V)
1	53,14	50,9
10	54,33	51,46
20	54,91	51,5
30	55,36	51,54
40	55,68	51,65

50	55,92	51,63
60	55,78	51,61

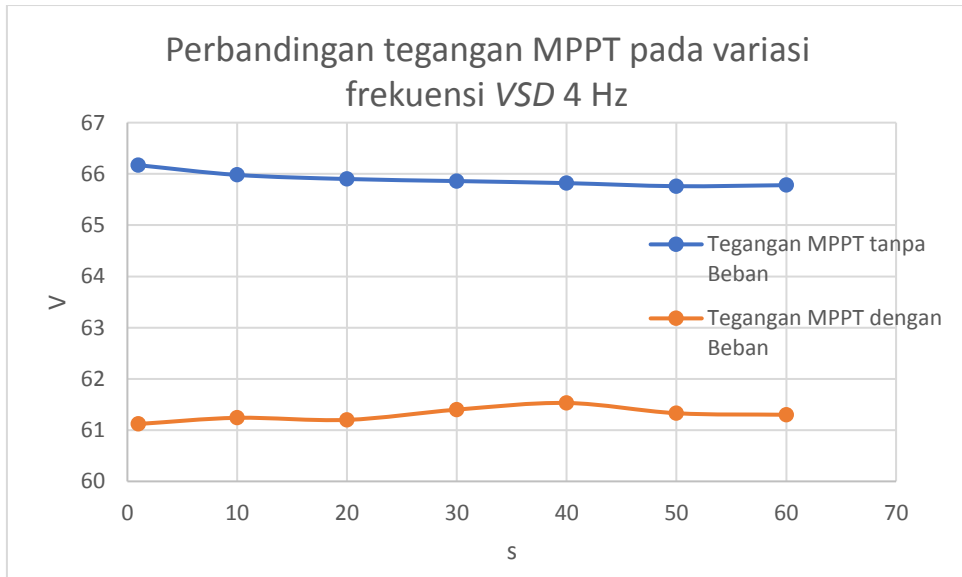


Gambar 4 27 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 3 Hz

Tabel 4 22 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 4 Hz

Waktu (s)	Tegangan MPPT tanpa beban (V)	Tegangan MPPT dengan beban (V)
1	66,17	61,12
10	65,98	61,24
20	65,9	61,2

30	65,86	61,4
40	65,82	61,53
50	65,76	61,33
60	65,78	61,3

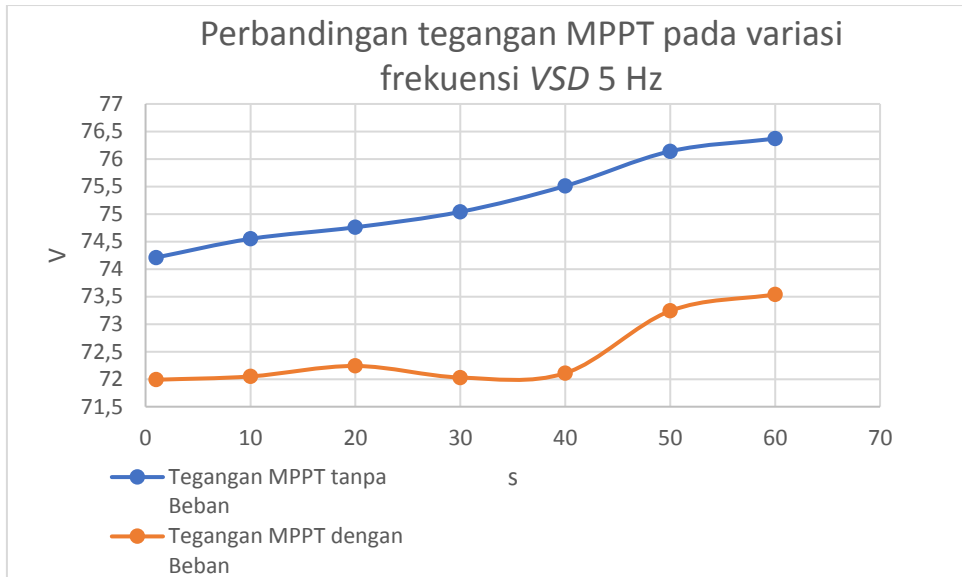


Gambar 4 28 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 4 Hz

Tabel 4 23 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 5 Hz

Waktu (s)	Tegangan MPPT tanpa beban (V)	Tegangan MPPT dengan beban (V)
1	74,21	71,99
10	74,55	72,05
20	74,76	72,24

30	75,04	72,03
40	75,51	72,11
50	76,14	73,24
60	76,37	73,54



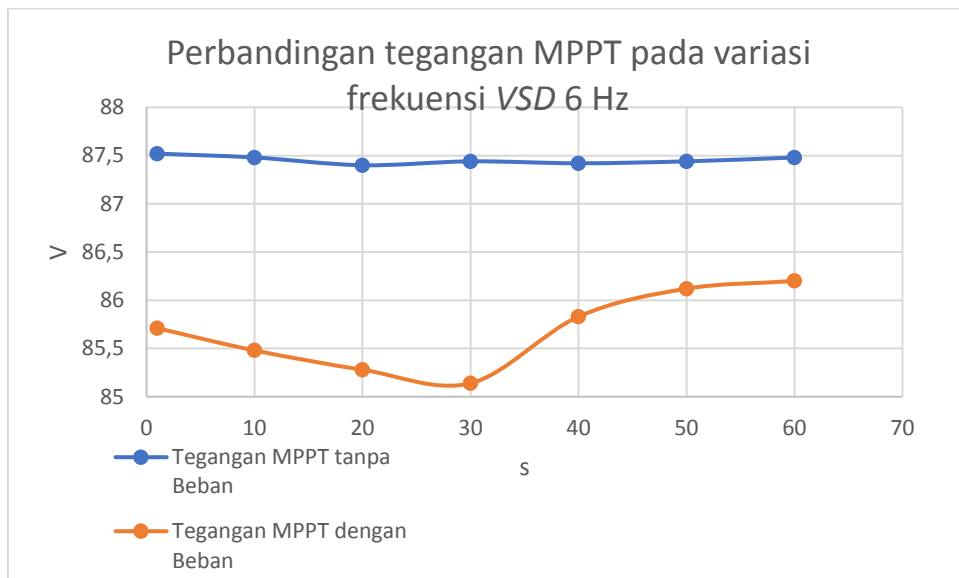
Gambar 4 29 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 5 Hz

Tabel 4 24 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 6 Hz

Waktu (s)	Tegangan MPPT tanpa beban (V)	Tegangan MPPT dengan beban (V)
1	87,52	85,71
10	87,48	85,48
20	87,4	85,28

30	87,44	85,14
40	87,42	85,83
50	87,44	86,12
60	87,48	86,2

Dari tabel 4.4 hingga 4.10 menunjukkan bahwa tegangan MPPT dengan beban baterai yang disambungkan memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dari saat baterai mengalami kegagalan dan tidak bisa tersambung. Rata-rata selisih dari tiap frekuensi juga bervariasi. Pada frekuensi motor 1 Hz rata-rata selisihnya adalah 5,46 V, ketika 2 Hz rata-rata selisihnya adalah 3,32 V, ketika 3 Hz rata-rata selisihnya adalah 3,54 V, ketika 4 Hz rata-rata selisihnya adalah 4,59 V, ketika 5 Hz rata-rata selisihnya adalah 2,76, dan ketika 6 Hz rata-rata selisihnya adalah 1,76. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban yang sama tidak mempengaruhi selisih tegangan ketika dilakukan pembebanan dan tidak pada MPPT ketika tegangan generator dinaikkan karena putaran meningkat.

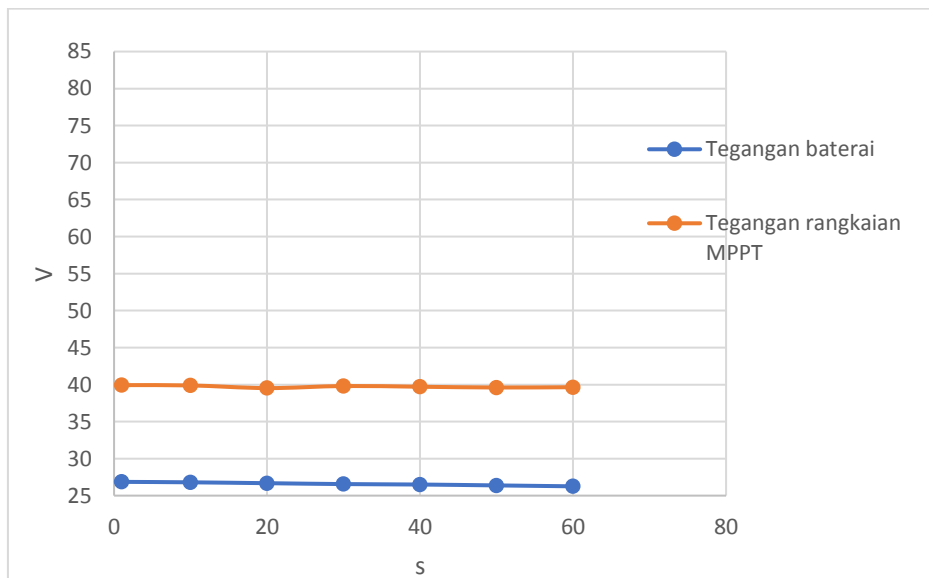


Gambar 4.30 Perbandingan tegangan dengan beban dan tanpa beban pada frekuensi 6 Hz

Tahapan selanjutnya adalah menguji tegangan baterai dengan variasi putaran yang diatur dengan mengubah variabel frekuensi pada motor induksi. Frekuensi motor induksi yang divariasikan adalah 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz, 4 Hz, 5 Hz dan 6 Hz. Hasil dari pengamatan bisa dilihat pada tabel 4.10 hingga tabel 4.15.

Tabel 4 25 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 1 Hz

Waktu (s)	Tegangan baterai (V)	Tegangan rangkaian input MPPT (V)
1	26,86	39,93
10	26,8	39,89
20	26,68	39,53
30	26,56	39,81
40	26,5	39,71
50	26,38	39,61
60	26,26	39,65

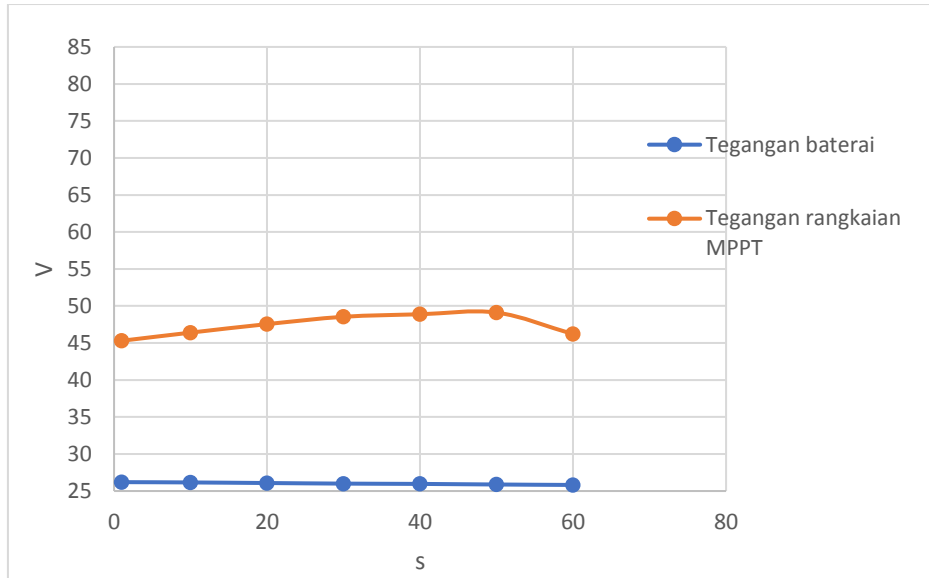


Gambar 4 31 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 1 Hz

Tabel 4.10 menunjukkan terjadi penurunan tegangan pada baterai ketika rata-rata tegangan yang masuk adalah 39,73. Penurunan tegangan baterai sebesar 0,06 V tiap 6 detik.

Tabel 4 26 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 2 Hz

Waktu (s)	Tegangan baterai (V)	Tegangan rangkaian input MPPT (V)
1	26,2	45,3
10	26,16	46,4
20	26,08	47,55
30	26	48,54
40	25,96	48,88
50	25,88	49,11
60	26,26	46,2



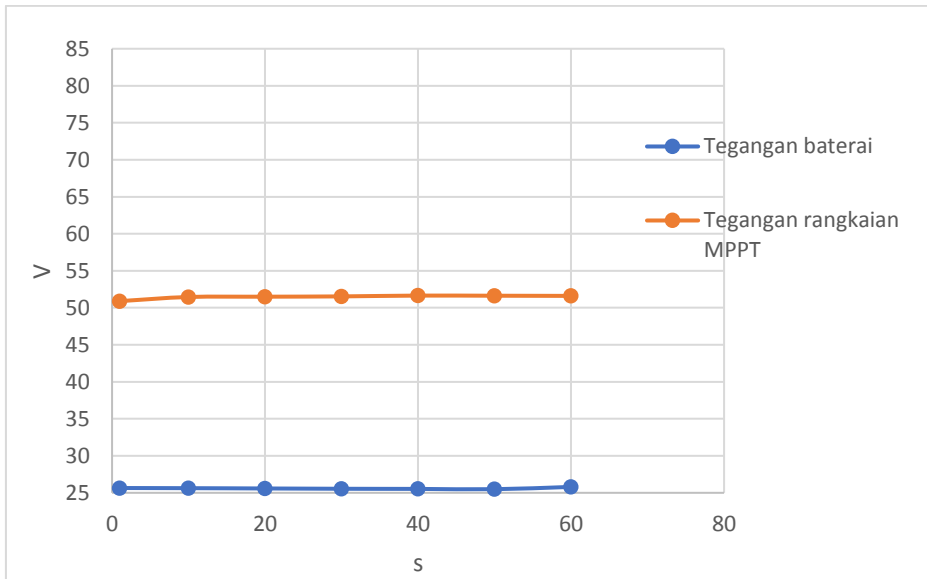
Gambar 4 32 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 2 Hz

Tabel 4.11 menunjukkan terjadi penurunan tegangan pada baterai ketika rata-rata tegangan yang masuk adalah 47,42. Penurunan tegangan baterai sebesar 0,04 V tiap 6 detik.

Tabel 4 27 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 3 Hz

Waktu (s)	Tegangan baterai (V)	Tegangan rangkaian input MPPT (V)
1	25,65	50,9
10	25,63	51,46
20	25,59	51,5
30	25,55	51,54
40	25,53	51,65
50	25,49	51,63

60	25,8	51,61
----	------	-------



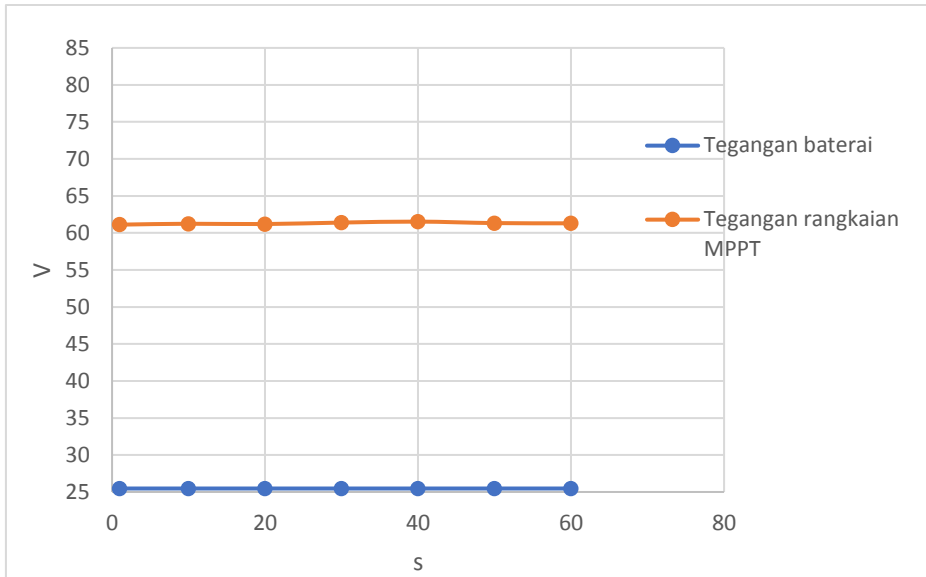
Gambar 4 33 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 3 Hz

Tabel 4.12 menunjukkan terjadi penurunan tegangan pada baterai ketika rata-rata tegangan yang masuk adalah 51,47. Penurunan tegangan baterai sebesar 0,02 V tiap 6 detik.

Tabel 4 28 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 4 Hz

Waktu (s)	Tegangan baterai (V)	Tegangan rangkaian input MPPT (V)
1	25,47	61,12
10	25,47	61,24
20	25,47	61,2
30	25,47	61,4

40	25,47	61,53
50	25,47	61,33
60	25,47	61,3



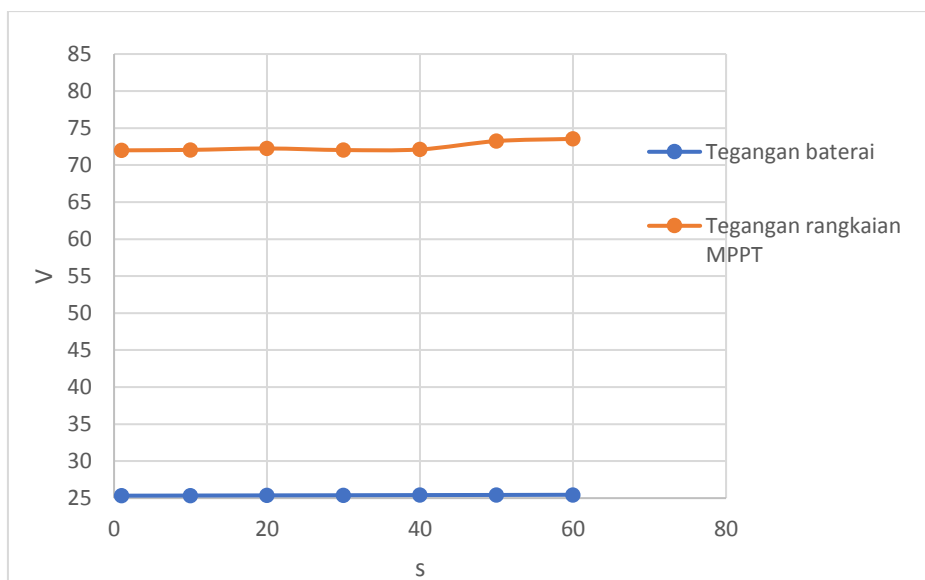
Gambar 4 34 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 4 Hz

Tabel 4.13 menunjukkan kondisi tegangan pada baterai ketika rata-rata tegangan yang masuk adalah 61,3. Tegangan pada baterai tetap pada nilai 25,47 V.

Tabel 4 29 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 5 Hz

Waktu (s)	Tegangan baterai (V)	Tegangan rangkaian input MPPT (V)
1	25,33	71,99
10	25,35	72,05

20	25,37	72,24
30	25,39	72,03
40	25,41	72,11
50	25,43	73,24
60	25,45	73,54



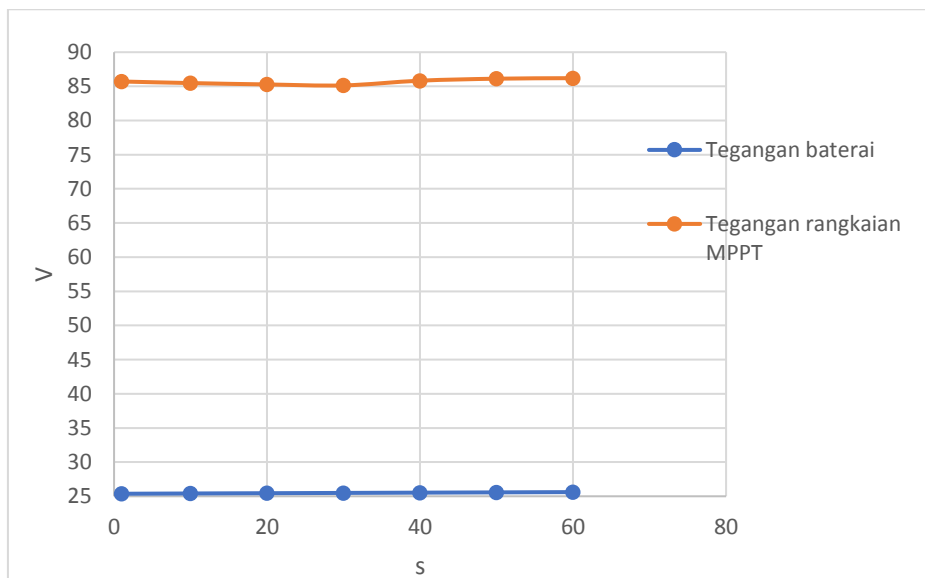
Gambar 4 35 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 5 Hz

Tabel 4.14 menunjukkan terjadi kenaikan tegangan pada baterai ketika rata-rata tegangan yang masuk adalah 72,67. Kenaikan tegangan pada baterai sebesar 0,02 V tiap 10 detik.

Tabel 4 30 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 6 Hz

Waktu (s)	Tegangan baterai (V)	Tegangan rangkaian input MPPT (V)
-----------	----------------------	-----------------------------------

1	25,37	85,71
10	25,41	85,48
20	25,45	85,28
30	25,49	85,14
40	25,53	85,83
50	25,57	86,12
60	25,61	86,2



Gambar 4 36 Tegangan baterai pada variasi frekuensi 6 Hz

Tabel 4.15 menunjukkan terjadi kenaikan tegangan pada baterai ketika rata-rata tegangan yang masuk adalah 85.68. Kenaikan tegangan pada baterai sebesar 0,04 V tiap 10 detik.

Dari tabel 4.10 hingga tabel 4.15 bisa dilihat bahwa tegangan baterai terus menurun dari variasi frekuensi motor 1 Hz hingga 3 Hz. Hal ini bisa disebabkan karena tegangan yang masuk ke MPPT dari generator tidak cukup untuk menjalankan fungsi dari alat elektronik di MPPT sehingga MPPT mengambil tegangan dari baterai. Baterai mulai melakukan pengisian ketika rata-rata tegangan yang masuk adalah 72,67 V yaitu pada variasi frekuensi motor sebesar 4 Hz.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil dari percobaan yang dilakukan tegangan yang diukur dari generator sudah sesuai dengan standar yang sudah ditentukan oleh pabrik. *Variable Speed Drive Controller* yang digunakan untuk mengatur frekuensi motor induksi yang akan memutar generator bekerja dengan baik dengan memiliki efisiensi rata-rata 0,996. Hal ini menunjukkan bahwa generator dan *test bed* bekerja dengan baik serta generator bisa digunakan di lapangan.
- b. Penggunaan MPPT dengan melakukan pembebanan oleh baterai dan tidak melakukan pembebanan saat variasi frekuensi menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap tegangan yang masuk pada baterai. Namun ketika dilakukan pembebanan MPPT menunjukkan 3 buah kondisi yaitu mengambil daya baterai ketika tegangan *input* rata-rata adalah 51,47 V kebawah, tidak mengisi maupun mengambil daya baterai pada tegangan *input* rata-rata 61,3 V dan melakukan pengisian kepada baterai ketika tegangan 72,67 V keatas. Hal ini menunjukkan bahwa MPPT bisa mengambil daya dari baterai ketika tegangan *input* dari pembangkit tidak bisa memenuhi kebutuhan daya MPPT sebagai *charge controller*.

5.2 Saran

Berikut ini adalah saran penulis untuk keberlanjutan penelitian yang dilakukan:

- a. Penelitian selanjutnya bisa menggunakan baterai dengan kapasitas yang lebih besar agar hasil yang didapatkan lebih maksimal.
- b. Perancangan penelitian harus lebih detail karena semakin besar model pembangkit yang akan diuji maka komponen pendukung seperti kabel dan pengaman akan semakin besar kapasitasnya dan semakin sulit untuk dicari.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Nugraha, "Outlook Energi Indonesia," Dewan Energi Nasional, Jakarta, 2016.
- [2] U. L. M. L. Marten Grabbe, "Ocean Energy," 9 June 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/228495207>. [Diakses 10 7 2019].
- [3] M. A. Shiddiqi, "Ocean Energy : The Future of renewable Energy Generation," July 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/280937085>. [Diakses 11 July 2019].
- [4] P. Meisen, "Ocean Energy Technologies for Renewable Energy Generation," dalam *Global Energy Network Institute*, 2009.
- [5] B. C. S. S. A. Ferreira, "Wave Energy Systems: An Overview of Different Wave Energy Converters And Recommendation For Future Improvements," dalam *University of Coimbra*, Portugal, 2016.
- [6] S. M. M. P. K. Takahashi, "Ocean Thermal energy Conversion," *Academic Press*, pp. 1993-1999, 2001.
- [7] M. H. Rashid, *Alternative Energy in Power Elektronik*, Florida: Elsevier, 2015.
- [8] A. J. S. A. R. G. a. N. M. L. A. R. Tiwari, "Comparison of various Wind Turbine Generators," *Multidiscip. J. Res. Eng. Technol*, vol. 1, pp. 129-135, 2014.
- [9] P. E. P. E. J. Enis, "Mechatronics , Electrical Power , and Vehicular Technology 500W RESIDENTIAL WIND GENERATOR," vol. 3, pp. 95-102, 2012.
- [10] J. J. e. al., "An Approach for the Dynamic Behavior of Hydrokinetic Turbines," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 271-276, 2015.
- [11] H. B. B. Rudy Setyabudi, "Analysis Characteristics of On/Off Grid Tie Inverter and," *Telkomnika*, vol. 11, pp. 441-450, 2013.
- [12] M. M. B. K. H. T. Jessica Eda, "ANALISIS DAMPAK PEMASANGAN GRID TIE INVERTER," *Jurnal Elektro*, vol. 10 No 2, pp. 127-138, 2017.

- [13] R. Wijaya, "Analysis Characteristics of On/Off Grid Tie Inverter and," Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [14] M. O. Jogendra Sign Thongam, "MPPT Control Methods in Wind," University of Quebec at Chicoutimi, Quebec, 2.
- [15] M. P. M. H. P. Dwiyan Anugrah Ernadi, "Desain Maximum Power Point Tracking untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [16] B. Tito, "Dwiyan Anugrah Ernadi, Margo Pujiantara, Mauridhi Hery Purnomo," Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [17] S. Electric, Altivar 61 Programming Manual, 2013.

DAFTAR PUSTAKA

Penulis merupakan mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan angkatan 2015. Penulis lahir pada tanggal 28 Desember 1997 di sebuah kota kecil bernama Purworejo. Selama masa perkuliahan penulis sangat tertarik dengan sistem perpipaan dan energi terbarukan. Untuk memenuhi ketertarikannya, penulis juga sempat mengikuti kerja praktek di PT Lentera Bumi Nusantara. Sebuah tempat pengembangan energi baru terbarukan milik Putra Petir yang bernama Ricky Elson di Ciheras. Pada masa kuliahnya penulis aktif pada kegiatan pengembangan desa binaan di Lembaga Dakwah Kampus Masjid Manarul Ilmi ITS.

