TUGAS AKHIR – ME184834

STUDI *ON-GRID SYSTEM* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT PADA SKALA LAB

MUHAMMAD NIZAM ALWI

NRP. 04211746000009

DOSEN PEMBIMBING :

Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020

TUGAS AKHIR – ME 184834

STUDI *ON-GRID SYSTEM* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT PADA SKALA LAB

Muhamad Nizam Alwi
NRP. 04211746000009

Dosen Pembimbing
Juniarko Prananda, S.T., M.T.
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

FINAL PROJECT – ME 184834

STUDY OF ON-GRID SYSTEM OF SEAWATER CURRENT POWER PLANT ON LABORATORY SCALE

Muhamad Nizam Alwi
NRP. 04211746000009

Supervisor
Juniarko Prananda, S.T., M.T.
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ON-GRID SYSTEM PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI ARUS LAUT PADA SKALA LAB

TUGAS AKHIR
Diajukan untuk 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 Sepuluh Nopember

Oleh :
MUHAMMAD NIZAM ALWI
NRP. 04211746000009

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Juniarko Prananda, ST., MT
NIP. 199006052015041001 .....

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

SURABAYA
JANUARI 2020

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ON-GRID SYSTEM PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI ARUS LAUT PADA SKALA LAB

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Marine Electrical and Automation System (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MUHAMMAD NIZAM ALWI
NRP. 04211746000009

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :

Beny Cahyono, S.T., M.T.,Ph.D
NIP. 197903192008011008

SURABAYA
JANUARI 2020

STUDI ON-GRID SYSTEM PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI ARUS LAUT PADA SKALA LAB

Nama : Muhammad Nizam Alwi
NRP : 04211746000009
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Juniarko Prananda, ST., MT.
Dosen Pembimbing 2 : Irfan Syarif Arief, ST., MT.

ABSTRAK

Laut memiliki potensial energi yang sangat besar. Energi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai *power generate* dalam menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Pemanfaatan energi tersebut tergolong sebagai *renewable energi* atau energi baru terbarukan. Indonesia memilki potensi energi baru terbarukan sebesar 445 GW yang termasuk didalamnya adalah energi arus laut. Implementasi pembangkit listrik tenaga arus laut masih dalam tahap penelitian dan belum mempunyai implementasi komersial. Sebagai Perusahaan Listrik Negara (PLN), tentunya telah membentangkan jaringannya diseluruh kawasan di Indonesia, oleh karena itu dalam konsep *on-grid system*, pengoptimalan pemanfaatan energi baru terbarukan ini diharapakan dapat menekan penggunaan energi bahan bakar fosil yang cenderung menghasilkan emisi. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan perancangan dan pengujian rangkaian pembangkit listrik energi arus laut pada tahap *on-grid system* atau terintegrasi dengan jaringan listrik PLN. Penelitian ini akan akan melihat keandalan dari generator yang diputar oleh motor induksi sebagai pengganti turbin. Beberapa peralatan lain yang digunakan yaitu *rectifier* sebagai penyearah arus gelombang AC ke DC. Kemudian inverter, berguna sebagai perubah sinyal gelombang DC ke AC dan *sinchronizing* ke grid. Motor induksi yang digunakan pada eksperimen ini dihubungkan menggunakan *pulley* ke generator sebagai *prime mover* dan putarannya divariasikan oleh *Variable Speed Drive Controller.* Sehingga kecepatan generator bisa diatur dengan mengubah frekuensi motor. Pada hasil percobaan menunjukkan, sistem dikatakan sinkron dengan grid ketika frekuensi: 49.5-50.5 Hz; Tegangan: $\pm$ 3% $(217 - 226)$ Vac; serta sudut fasa yang sama atau berhimpit sebesar 120°. Tegangan output generator akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya rpm sesuai dengan persamaan 2.2.1.1. Tegangan terkecil yaitu 18.8 Vac pada rpm 22 dan tegangan terbesar 186.4Vac saat rpm 245 pada sisi V_{L-N}. Sedangkan sisi V_{L-L} , tegangan terkecil 32.7Vac dan tegangan terbesar 323 Vac. Besar output tegangan *recti*fier yang mampu disinkronkan inverter adalah lebih dari 53.5Vdc. Tegangan keluaran *rectifier* menunjukkan penurunan tegangan ketika dihubungkan dengan grid yang disebabkan oleh pemasangan penampang kabel yang kecil.

Kata kunci : *On-grid, Renewable Energy, Rectifier, Variable Speed Drive Controller*

STUDY OF ON-GRID SYSTEM OF SEAWATER CURRENT POWER PLANT ON LABORATORY SCALE

Name : Muhammad Nizam Alwi
NRP : 04211746000009
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor 1 : Juniarko Prananda, ST., MT
Supervisor 2 : Irfan Syarif Arief, ST., MT.

ABSTRACT

The sea has enormous energy potential. These energies can be used for driving the turbine to produce electricity. Utilization of those energies are included in renewable energy. Indonesia has potential renewable energy of 445GW which one includes ocean current energy. The implementation of a marine power plant is still under research and doesn't yet have commercial access. As a State Electricity Company (PLN) they have expanded the network throughout the region of Indonesia, therefore in the concept of an on-grid system, optimizing the utilization of renewable energy is expected able to reducing fossil fuel consumption that inclines produce the emissions. In this final project, it will be doing testing and creating the design of the on-grid system which is integrated into the PLN network. This research willing to see the reliability of generator rotated by induction motor as substitutes the turbine. Other types of equipment is rectifier to convert AC to DC current and inverter use to DC-AC converter and grid syncronizing. The induction motor is connected generator by a pulley and its rpm varied by Variable Speed Drive Controller. With the result that generator speed is able to control by changing motor's frequency. According to the result of the experiment shows when the system called synchronous if they have frequency: 49.5-50.5 Hz; Voltage: ± 3% (217-226) Vac; and similar phase angle, that is 120°. The output voltage of the generator will increase as rising as generator rpm which are appropriate as a formula 2.2.1.1. The smallest voltage is 18.8 Vac in rpm 22 and the greatest one is 186.4Vac in rpm 245 on V_{L-N} *side. While on* V_{L-L} *side, the smallest is 32.7 Vac and the greatest is 323 Vac. The magnitude of rectifier output is able to sync when more than 53.5 Vdc. The output voltage from rectifier shows voltage decrease when it connected to the grid caused by the small cable installation*

Keywords: On-grid, Renewable Energy, Rectifier Variable Speed Drive Controller

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahi Rabbil'alamiin. Segala puji bagi Allah SWT tuhan yang Maha Esa atas nikmat yang diberikan-Nya serangkaian kegiatan penelitian dan penulisan laporan Tugas Akhir dengan judul *"Study On-Grid System* Pembangkit Listrik Energi Arus Laut Pada Skala Lab *"* 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 materiil,
2. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T.,Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan,
3. Bapak Juniarko Prananda, ST., M.T. dan Bapak Irfan Syarif Arief, ST. MT.. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan bimbingan, masukan dan ilmu bagi penulis,
4. Bapak Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing Jurusan Teknik Elektro, Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc selaku Kepala Lab MEAS, Bapak Agus Sulaiman, S.T., Bapak Heru Setiawan, Bapak Didik Dwi Santoso selaku teknisi laboratorium MEAS dan MMD,
5. Bapak Hendro Agus S.ST.,M.T. sebagai pembimbing teknis dan dosen Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
6. Teman-teman seperjuangan Lintas Jalur Teknik Sistem Perkapalan ITS 2017 yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini,
7. Teman-teman Lab MEAS yang selalu memberikan semangat serta doa dan dukungan, 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 kritik dan masukan sangat diharapkan 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, 2020

DAFTAR ISI

COVER ii
LEMBAR PENGESAHAN iv
ABSTRAK vi
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR SIMBOL xv
BAB 1 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 3
DASAR TEORI 3
2.1 Pembangkit Listrik Energi Laut 3
2.1.1 Energi Gelombang Laut 3
2.1.2 Energi Arus Laut dan Pasang Surut 4
2.1.3 Energi Panas Laut 5
2.1.4 Energi Gradien Salinitas 5
2.2 Mesin Elektrik 7
2.2.1Generator 7
2.2.1.1 Prinsip Kerja PMSG 8
2.3 Rectifier 9
2.3.1 Penyearah Setengah Gelombang 3 Fasa 9
2.3.2 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa 10

2.3.3 Penyearah Setengah Gelombang 1 Fasa 11
2.3.4 Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa 12
2.4 Inverter 12
2.4.1 Jenis Inverter 13
2.4.2 Grid Connected Inverter (GCI) 15
2.5 Variable Speed Drive Controller 16
2.6 Sistem On-grid dan Off-grid 17
BAB III 19
METODOLOGI PENELITIAN 19
3.1 Diagram Alir Penelitian 19
3.1.1 Identifikasi Masalah 20
3.1.2 Studi Literatur 20
3.1.3 Perancangan Model Rangkaian 20
3.1.4 Pengujian Rangkaian 20
3. 2 Batasan Pembahasan dan Metode Perolehan Data 21
BAB IV 23
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 23
4.1 Peralatan dan Bahan 23
4.1.1 Altivar 61 (Variable Speed Drive Controller) 23
4.1.2 Motor Induksi 3 Fasa 23
4.1.3 Generator Sinkron 3 Fasa 24
4.1.4 Rectifier 3 Fasa 24
4.1.5 Oscilloscope 25
4.1.6 Inverter 25
4.1.7 Tachometer 26
4.1.8 Multimeter 26
4.2 Prosedur Pengujian 27
4.3 Performa Variable Speed Drive Control dan Motor Induksi 3 Fasa 29
4.4 Performa Generator Tanpa Beban 31
4.5 Performa Rectifier 35
4.6 Sinkronisasi dan Respon GCI (*Grid Connected Inverter*) 37

4.7 Respon Sinyal Output Rectifier pada Oscilloscope ..... 39 .
BAB V ..... 45 .
KESIMPULAN DAN SARAN ..... 45 .
5.1 Kesimpulan ..... 45 .
5.2 Saran ..... 45 .
DAFTAR PUSTAKA ..... 47 .

.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Potensi Energi Baru Terbarukan di Laut 3
Gambar 2. 2 Ocean Power Plant Generates Energy from Wave 4
Gambar 2. 3 Tidal Stream Generators 5
Gambar 2. 4 Diagram Alir Proses Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut Close Loop 6
Gambar 2. 5 Pressure Retarded Osmosis (PRO) 7
Gambar 2. 6 Schematic representation of the RED process 8
Gambar 2. 7 Brussless Excitation pada PMSG 10
Gambar 2. 8 Generator dengan Eksitasi PMG 10
Gambar 2. 9 Rangkaian penyearah setengah gelombang 3 fasa 11
Gambar 2. 10 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa 12
Gambar 2. 11 Penyearah Setengah Gelombang 1 Fasa 13
Gambar 2. 12 Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa 13
Gambar 2. 13 Rangkaian Inverter 14
Gambar 2. 14 Gelombang Inverter 14
Gambar 2. 15 Square Wave 15
Gambar 2. 16 Modified Sine Wave 15
Gambar 2. 17 Pure Sine Wave 16
Gambar 2. 18 Grid Tied Inverter with Transformator 16
Gambar 2. 19 Transformatorless Grid Tied Inverter 17
Gambar 2. 20 Prinsip Dasar VSDC 17
Gambar 2. 21Sistem Off-grid 18
Gambar 2. 22Sistem On-grid 18

.

Gambar 3. 1 Flowchart Proses Pengerjaan Tugas Akhir 19
Gambar 3. 2 Tahap Perancangan Model Pembangkit 20

Gambar 4. 1 Variable Speed Drive Controller 23
Gambar 4. 2 Motor Sinkron 3 Fasa 24
Gambar 4. 3 PMSG 24
Gambar 4. 4 Rectifier 3 Fasa Tidak Terkontrol 24
Gambar 4. 5 Oscilloscope 25
Gambar 4. 6 Grid-Connected Inverter 25
Gambar 4.7 Tachometer 26
Gambar 4.8 Tachometer 26
Gambar 4.9 Key Plan Sistem Pembangkit Tenaga Arus Laut 27
Gambar 4.10 Koneksi Rangkaian VSDC-Motor Induksi 3 Fasa 27

Gambar 4.11 Rangkaian Percobaan Pembangkit On-Grid 28
Gambar 4. 12 Penginputan Nilai Frekuensi pada VSDCGambar 28
Gambar 4.13 Grafik Rpm Motor dan Generator 30
Gambar 4.14 Grafik Efisiensi VDSC 31
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Rpm Generator dengan Tegangan V_(L-N) 32
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Rpm Generator dengan Tegangan V_(L-L) 33
Gambar 4.17 Grafik Output Tegangan〖V〗_(L-N) dengan 〖V〗_(L-L) Generator 34
Gambar 4.18 Grafik Karakteristik Generator Tanpa Beban 35
Gambar 4.19 Grafik Tegangan Output Rectifier 36
Gambar 4.20 Grafik Tegangan GCI 38
Gambar 4.21 Grafik Output Power GCI 38
Gambar 4.22 Grafik Frekuensi Generator 39
Gambar 4.23 Gelombang Rectifier Rpm 22 40
Gambar 4.24 Gelombang Rectifier Rpm 44 40
Gambar 4.25 Gelombang Rectifier Rpm 67 41
Gambar 4.26 Gelombang Rectifier Rpm 89 41
Gambar 4.27 Gelombang Rectifier Rpm 111 42
Gambar 4.28 Gelombang Rectifier Rpm 133 42
Gambar 4.29 Gelombang Rectifier Rpm 155 43
Gambar 4.30 Gelombang Rectifier Rpm 178 43

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Koneksi Inverter..... .. 25
Tabel 4. 2 Parameter Data ..... 28.
Tabel 4. 3 Rpm Motor dan Generator..... 29.
Tabel 4. 4 Efisiensi Putaran Motor oleh VSDC..... 30.
Tabel 4. 5 Output Tegangan Generator ..... 31.
Tabel 4. 6 Tegangan Puncak Generator dan Tegangan Efektif..... 33.
Tabel 4. 7 Nilai Tegangan Outout Rectifier..... 35.
Tabel 4. 8 Data Konektifitas Sinkronisasi Grid ..... 37.

DAFTAR SIMBOL

V	**Tegangan (Volt)**
I	**Arus (Ampere)**
η	**Efisiensi (%)**
Cos θ	**Faktor Daya**
n	**Rpm**
E	**GGL Induksi (Volt)**
T	**Periode (s)**
φ	**Fluks Magnetik (Weber)**
P	**Daya (watt)**
V_{rms}	**Tegangan Root Mean Square (Volt)**
V_{p-p}	**Tegangan Puncak-ke Puncak (Volt)**
V_m	**Tegangan Maksimum (Volt)**
Vdc	**Tegangan Direct Current (vdc)**
Vac	**Tegangan Alternating Current (vac)**
f	**Frekuensi (Hz)**

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketahanan energi merupakan suatu kondisi yaitu kebutuhan masyarakat tentang energi dapat terpenuhi secara berkelanjutan dengan prinsip-prinsip keterjangkauan, ketersediaan dan akseptabilitas. Landasan dasar ketahanan energi sudah termaktub dalam UU No.30 Tahun 2007 pasal 2 yang menyebutkan diantaranya bahwa energi dikelola berdasarkan asas rasionalitas, kemanfaatan efisiensi, berkeadilan, peningkatan nilai tambah, keberlanjutan, kesejahteraan masyarakat, kelestarian lingkungan hidup, ketahanan nasional dan keterpaduan dengan mengutamakan kemampuan nasional". Salah satu aspek penting ketahanan energi adalah energi listrik. Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi suatu bangsa atau masyarakat dalam membentuk suatu peradaban yang maju.

Pokok permasalahannya adalah energi listrik tersebut, 95%-nya dihasilkan dari bahan bakar fosil yang termasuk energi tak terbarukan(*non-renewable energy*). Selain itu, dari prosentase diatas hampir 50% energi listrik nasional diperoleh dari konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak). Sebagai wujud antisipasi pemerintah dalam kestabilan energi dan menghadirkan energi yang ramah lingkungan, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Ignasius Jonan menargetkan pada tahun 2025 pemanfaatan energi baru terbarukan (*renewable energy*) bisa mencapai 23% . Indonesia memiliki dua per tiga wilayahnya berupa lautan sehingga potensi energi yang terkandung didalamnya sangat besar untuk dimanfaatkan.

Energi laut tersebut meliputi energi gelombang, panas laut dan 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.[3] 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 Syncronous Generator*.

Integrasi dan interkoneksi suatu pembangkit dengan jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) disebut dengan *on-grid system. On-grid system* memungkinkan pengurangan konsumsi daya dan juga mampu melakukan transfer balik jika terdapat kelebihan energi yang dihasilkan untuk diserap pada jaringan grid yaitu PLN. Pola skenario seperti ini disebut dengan ekspor-impor, yaitu dimana ada deposito energi akan disalurkan dan diserap oleh jaringan PLN untuk dikonversiakan ke pengurangan biaya, sehingga akan bisa menjadi nilai bisnis baru. Oleh karena itu, perlu adanya rancangan diagram skematik dan simulasi pembangkit listrik energi arus laut yang terintegrasi dengan grid dengan tujuan kepada optimalisasi antara sumber daya alam baru terbarukan dengan sumber daya alam tak terbarukan.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana rangkaian sistem pembangkit listrik tenaga arus laut yang dapat dikoneksikan dengan grid ?
2. Bagaimana pengaruh perubahan rpm terhadap output generator?
3. Bagaimana efek output tegangan yang dihasilkan dari perubahan rpm generator terhadap jaringan ?

1.3 Batasan

Batasan pada tugas akhir ini adalah:

1. Pembahasan tentang perancangan pembangkit energi arus laut adalah hanya pada sisi *electrical*-nya setelah *prime mover*.
2. Generator yang digunakan adalah *Permanen*t *Syncronous Magnet Generator* dengan ukuran 3,5 kW.
3. Mengabaikan nilai beban.

1.4 Tujuan

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

1. Membuat rangkaian sistem pembangkit listrik tenaga arus laut yang dapat dikombinasikan dengan grid.
2. Mengetahui pengaruh perubahan rpm terhadap output generator.
3. Mengetahui efek output tegangan yang dihasilkan atas perubahan rpm generator terhadap jaringan.

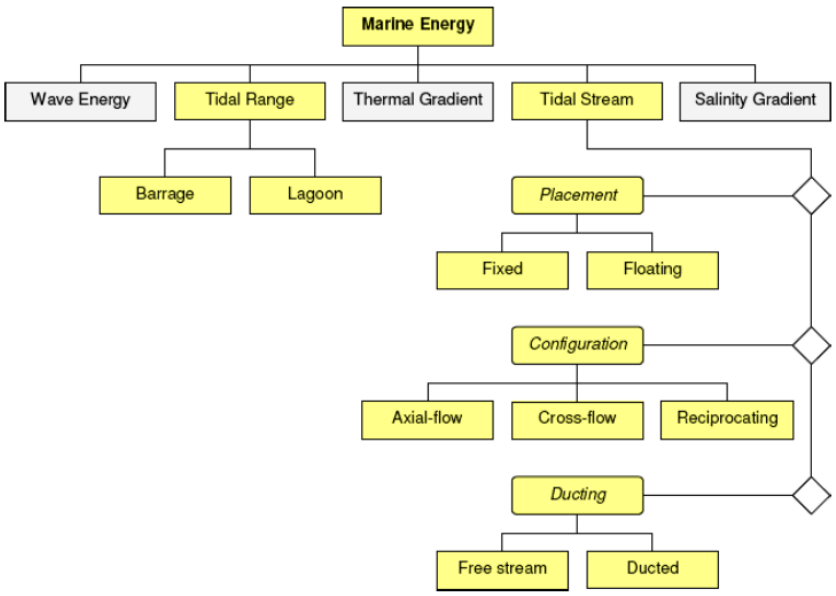
1.5 Manfaat

Tugas akhir ini akan memberikan informasi terkait interkoneksi jaringan pembangkit listrik yang terhubung dengan grid yaitu PLN dengan perancangan dan simulasi rangkaian. Selain itu, informasi tentang efek dan analisa – analisa yang berhubungan dengan perubahan masukan dan keluaran pada generator jenis PSMG.

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Energi Laut

Laut Indonesia memiliki luas 3,25 juta km^2 yang mempunyai berbagai sumber daya alam terkandung didalamnya. Sumber daya alam tersebut berupa kekayaan hewan laut dan juga energi kinetik serta energi potensial yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dengan teknologi konversi. Teknologi konversi yang memanfaatkan potensi alam disebut dengan energi baru terbarukan (renewable energy). Lihat Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Potensi Energi Baru Terbarukan di Laut

Energi baru terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber energi yang berkelanjutan diantaranya panas bumi, energi matahari, angin, dan laut. Energi laut yang dapat digunakan diantaranya energi gelombang, gradien salinitas,arus laut, pasang surut dan energi panas laut. Proses konversi energi laut memiliki beberapa cara. Energi kinetik gelombang laut bisa dikonversi dengan menggunakan sistem turbin sederhana untuk menghasilkan energi listrik. Selanjutnya, energi panas laut adalah memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan suatu polaritas dan gradien salinitas merupakan energi yang memanfaatkan proses osmosis Upaya menggunakan energi berkelanjutan ini adalah mengurangi emisi dan penghematan dari penggunaan bahan bakar fosil yang semakin menipis

2.1.1 Energi Gelombang Laut

Energi gelombang dihasilkan oleh angin yang melewati permukaan laut. Selama kecepatan angin lebih besar dari rambatan gelombang, maka disana terdapat transfer

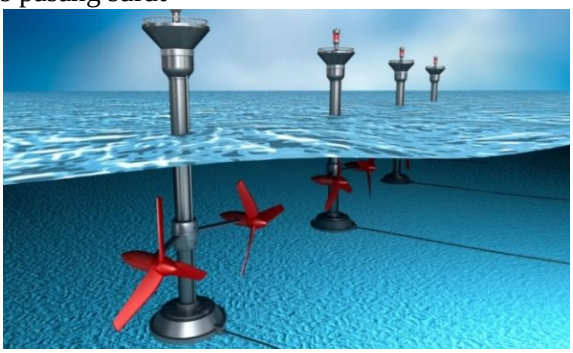
energi. Perbedaan tekanan udara antara angin dan laut serta gesekan permukaan air oleh tekanan geser angin, maka menyebabkan tumbuhnya ombak. Prinsip pemanfaatan gelombang laut sebagai pembangkit adalah dengan membangun sebuah pelampung yang diletakkan pada permukaan laut sebagai teknologi konversi gerak harmoni gelombang laut untuk menggerakkan turbin. lihat Gambar 2.2 tentang potensi pemanfaatan energi gelombang laut.

Gambar 2. 2 *Ocean Power Plant Generates Energy from Wave*
Sumber: Pinterest: 2017

Pada pembangkit listrik tenaga gelombang menggunakan pelampung yang mempunyai prinsip seperti pedal untuk menggerakan rotor turbin. Pelampung tersebut mempunyai beragam jenis bentuk dan variasi pemasangan. Gaya mekanik yang dihasilkan adalah dari pemanfaatan energi gelombang laut yang bersifat dinamis sehingga memberikan gaya dorong pada setiap pelampung.

2.1.2 Energi Arus Laut dan Pasang Surut

Energi arus laut dan pasang surut adalah merupakan fenomena gaya tarik benda yang berada diangkasa terutama bulan dan matahari relatif terhadap bumi. Energi ini juga dihasilkan dari efek gaya sentrifugal dari rotasi bumi. Menurut (Gross,1990), meskipun ukuran bulan lebih kecil daripada matahari, gaya gravitasi yang dimiliki bulan lebih besar dua kali lipat dibandingkan matahari. Hal ini disebabkan karena jarak bulan yang paling dekat dengan bumi. Gaya gravitasi tersebut akan menarik air laut kearah matahari dan bulan, sehingga menghasilkan *bulge* atau tonjolan pasang surut garavitasional. Contoh dapat dilihat pada Gambar 2.3 tentang penggunaan energi arus pasang surut

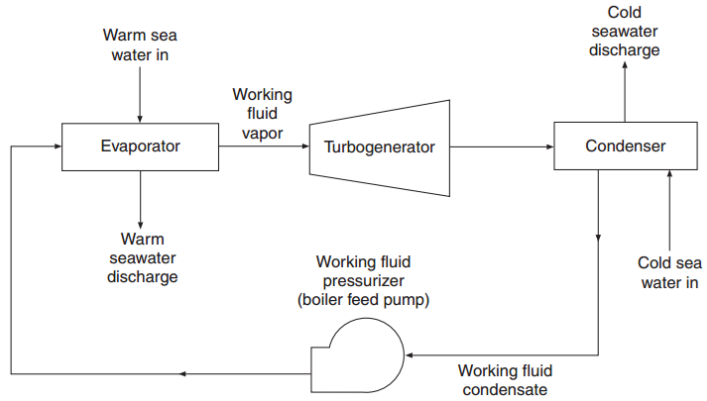


Gambar 2. 3 *Tidal Stream Generators*
Sumber: Pinterest: 2017

Turbin pasang surut yang digunakan untuk menggerakkan generator ialah hampir mirip dengan turbin angin, namun dipasang dibawah laut. Turbin tersebut dirancang untuk menyerap atau mengeksploitasi kepadatan energi yang lebih tinggi tetapi kecepatan yang rendah dari aliran arus laut. Turbin dengan jenis vertikal, horisontal atau aksial diletakkan berada dibawah garis air dengan cara membuat bendungan di teluk dan pantai atau memasang turbin pada aliran bebas. 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.

2.1.3 Energi Panas Laut

Konsep penggunaan teknologi ini untuk menghasilkan listrik adalah memanfaatkan perbedaan temperatur yang berada diantara laut dalam dan permukaan perairan yang terpapar sinar matahari dengan menggunakan mesin kalor. Mesin kalor tersebut menghasilkan energi dari perbedaan temperatur yang paling besar. Prinsip kerja konversi energi panas laut adalah penguapan. Cara kerja pembangkit listrik energi laut bisa dilihat pada Gambar 2.4 .



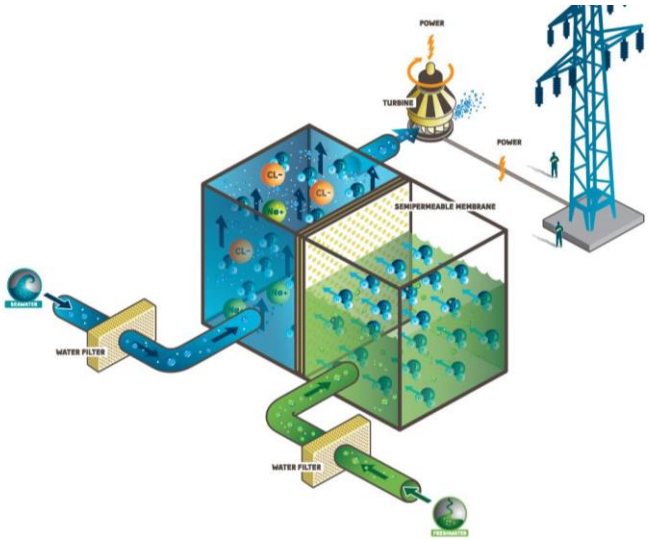
Gambar 2. 4 Diagram Alir Proses Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut *Close Loop*

Pada sistem *close loop* untuk menguapkan fluida penggerak berupa Freon R-22 (CHCLF2), ammonia (NH3), dan gas propan (C3H6) adalah dengan memanfaatkan panas permukaan laut untuk menggerakan turbin. Fluida tersebut mempunyai titik didik rendah yaitu -50 sampai -30 °C pada tekanan 1 atmosfer. Sehingga dengan mengalirkan air laut yang bersuhu sekitar 25 hingga 30°C fluida kerja dalam bentuk cair akan mendidih dan menguap menjadi gas bertekanan $12^{kg}/_{cm^2}$. Gas yang bertekanan dialirkan ke turbin dan didinginkan pada kondensator dengan air laut dalam yang mempunyai suhu relatif lebih rendah.

2.1.4 Energi Gradien Salinitas

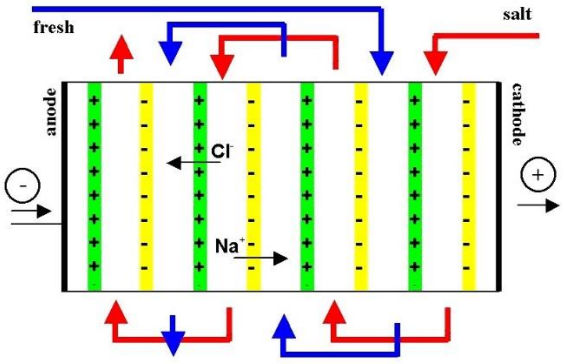
Pembangkit listrik melalui penggunaan gradien salinitas antara garam da air tawar adalah konsep yang relatif baru meskipun sudah ditemukan dan dibahas pada tahun 1970-an, penelitiannya lambaru-baru ini saja. Prinsip pemanfaatan energi ini adalah dengan menyerap energi dari perbedaan konsentrasi percampuran air tawar dan garam (IEA,2009). Dua metode praktis mengenai teknologi tentang membran yang sedang

diteliti yaitu *Reverse Electrodiaysis* (RED) dan *Pressure Retarded Osmosis* PRO). Kedua teknologi tergantung pada membran selektif semi permeabel. Membran semi permeabel adalah membran yang bersifat selectif dalam permeabilitasnya, yaitu hanya zat tertentu yang dapat melewatinya. Ada banyak area untuk memanfaatkan teknologi baru terbarukan ini termasuk pabrik pengolahan limbah dan sungai air tawar yang mengalir menuju laut. Lihat Gambar 2.5



Gambar 2. 5 *Pressure Retarded Osmosis (PRO)*
Sumber: IEA, 2007

Pressure Retarded Osmosis(PRO) menggunkan selektif difusi dari air yang melewati membran untuk menekan air laut. Air tawar dan air laut ditempatkan di kedua sisi membran dan sisi air laut diberi tekanan. Ketika sisi air laut meningkat tekanan dan menurun salinitasnya, sebagian air dibuang melewati turbin sementara sisanya dimasukkan kedalam *pressure exchanger* untuk menekan air laut yang masuk.



Gambar 2. 6 *Schematic representation of the RED process*
Sumber: Climate Technology Centre & Network: 2009

Reverse Electro Dialysis (RED) adalah teknologi berbasis membran lain yang menggunakan reaksi elektrokimia dari tekanan osmosik. Bentuk perangkat ini adalah serangkaian membran, yang setengah permeabel terhadap natrium dan setengahnya permeable terhadap klorida dan denga air laut serta air tawar yang mengalir secara bergantian pada setiap pasangan membran. Tumpukan membran mengontrol difusi ion natrium dan klorida dalam air, yang kemudian menyebabkan oksudasi dan reduksi pada anoda besi dan katoda.(IEA,2009)

2.2 Mesin Elektrik

Mesin elektrik adalah alat konverter daya atau pengubah daya energi listrik menjadi mekanik, atau energi mekanik menjadi listrik dan juga energi listrik menjadi listrik tetapi biasanya dari parameter yang berbeda yaitu dengan bantuan medan magnet. Motor adalah alat yang bisa mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sedangkan alat yang bisa mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut dengan generator. Transformator adalah peralatan listrik yang dekat hubungannya dengan mesin listrik, yaitu mengonversi arus AC dari level tegangan satu ke level tegangan yang lain. Ketiga peralatan tersebut sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari karena sering digunakan yaitu energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang bersih, mudah dikontrol dan sumber energi efisien yang mana mudah disalurkan pada jarak jauh.

2.2.1 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 yaitu:

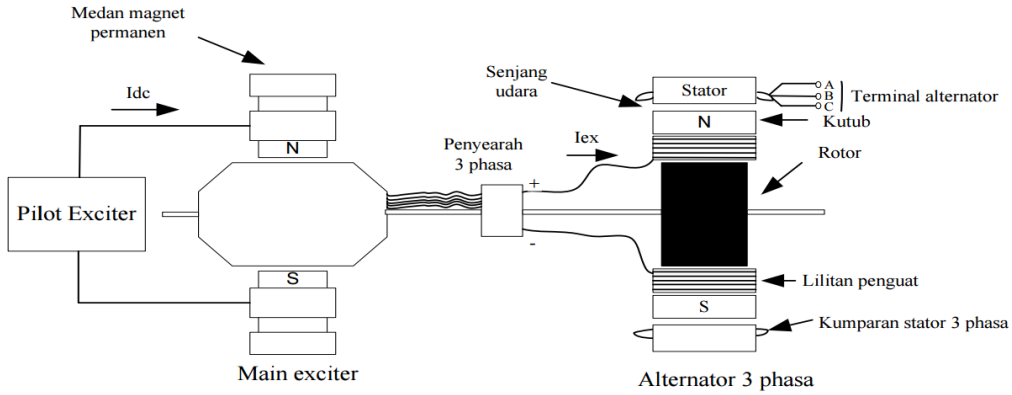
1. Generator Induksi Rotor Sangkar / *Squirrel Cage rotor Induction Generator* (SCIG)
2. Generator Induksi Rotor Belitan / *Wound rotor Induction Generator* (WRIG)
3. Generator Induksi Eksitasi Ganda / *Double Fed Induction Generator* (DFIG)
4. Generator Sinkron (dengan eksitasi eksternal) / *Synchronous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

PMSG merupakan pilihan yang baik untuk kinerja tinggi dalam pembangkit berkecepatan variabel termasuk efisiensi tinggi dan kemampuan kontrol tinggi untuk sistem pembangkit listrik. Tegangan PMSG berbanding terbalik dengan daya beban. Semakin besar daya bebannya maka semakin kecil tegangan generatornya 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.

$$P=\sqrt{3}\, V_L\, I_L\, cos\theta$$

Dimana: P = Daya aktif (Watt)
V = Tegangan line (Volt)
I = Arus (Ampere)
Cosθ = Faktor daya



Gambar 2. 7 *Brussless Excitation pada PMSG*
Sumber: Ugmmagatrika; 2013

2.2.1.1 Prinsip Kerja PMSG

Kumparan yang terdapat di rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yaitu permanen magnet, sehingga menimbulkan fluks yang besarannya tetap terhadap waktu. Poros generator yang terhubung dengan *prime mover* berputar, sehingga saat rotor generator berputar pada kecepatan nominalnya maka persamaannya adalah:

$$n = \frac{120\,.f}{P}$$

Dimana: n = Kecepatan putaran rotor (rpm)
P = Jumlah pasang kutup rotor
f = Frekuensi (Hz)

Putaran rotor tersebut akan akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan akibat arus eksitasi dari permanen magnet. Medan putar pada rotor akan menginduksi kumparan yang berada di stator sehingga muncul medan putar pada stator. Perputaran ini, akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu yang akan menimbulkan gaya gerak listrik atau GGL induksi (Ea) dengan persamaan sebagai berikut:

$$E = 4.44\; x\; f\; x\; \varphi\; x\; T$$

Jika: $f = \frac{np}{120}$, maka :

$$E = 4.44\ x\ \frac{np}{120}\ x\ \varphi\ x\ T$$

Dimana C =$\frac{4.44\ .\ P\ .\ T}{120}$, sehingga:

$$E = C\ x\ n\ x\ \varphi$$

Keterangan:

E = GGL induksi (Volt)

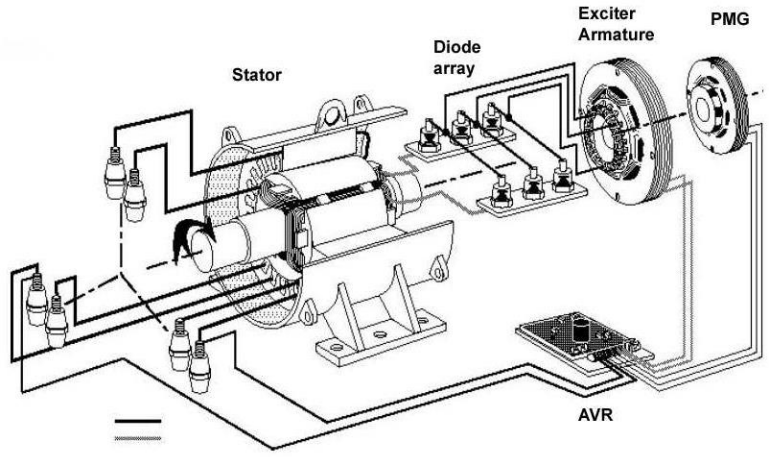
n = Putaran (Rpm)

T = Banyak lilitan /fase = ½

P = Jumlah pasang kutub

φ = Fluks magnetik (Weber)

Disebut generator sinkron sebab putaran rotornya sinkron dengan putaran medan magnet di stator. Kumparan medan pada generator tersebut terletak di rotor dan kuparan jangkarnya terletak di stator.



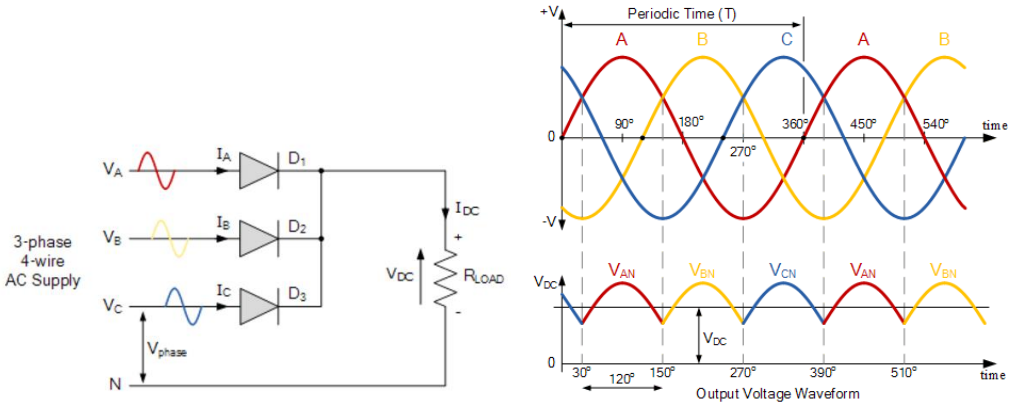
Gambar 2. 8 *Generator dengan Eksitasi PMG*
Sumber: Ugmmagatrika; 2013

2.3 Rectifier

Rectifier adalah suatu alat yang dirancang untuk merubah arus bolak-balik atau AC (*Alternating Current*) menjadi arus searah atau DC (*Direct Current*). Prinsip kerja rectifier adalah menggunakan prinsip dasar dioda, yaitu mengalirkan arus listrik ke satu arah saja, dan menghambat atau mem-*block* arus dari arah sebaliknya. Dioda mempunyai dua terminal yang berupa anoda (+) dan katoda (-) yang mempunyai prinsip pertemuan p-n semikonduktor yang mampu meneruskan arus dari sisi p (anoda) menuju sisi n (katoda) namun tidak sebaliknya. Prinsip *rectifier* dalam mengubah gelombang AC dibagi menjadi dua prinsip yaitu *half wave rectifier* dan *full wave rectifier.*

2.3.1 Penyearah Setengah Gelombang 3 Fasa

Half-Wave Three-Phase Rectification meggunakan dioda tunggal yang sisi anodanya (+) dihubungkan dengan masing-masing fasa dan sisi katoda (-) diparalelkan dan disambungkan ke netral ragkaian ini disebut dengan *star connected secondary.* Pada rangkaian ini sinyal gelombang yang dihasilkan belum bisa rata yaitu masih mengandung riak atau *ripple.* Setiap diode akan bersifat konduksi secara bergantian saat siklus gelombang mempunyai nilai lebih positif. Rangkaian penyearah setengah gelombang tiga fasa memiliki rangkaian tiga dioda dengan sisi katoda dari setiap diode disatukan. Rangkaian ini dapat digunakan kepada peralatan yang tidak membutuhkan gelombang yang ideal contoh inverter.



Gambar 2. 9 *Rangkaian penyearah setengah gelombang 3 fasa*
Sumber: electronics-tutorials: 2019

Dengan asumsi rotasi fase VA-VB-VC, dan VA dimulai pada 0° maka dioda yang akan aktif adalah D1 karena akan memiliki tegangan lebih positif dari pada dioda D2 atau D3. D1 akan bekerja untuk setengah siklus positif dari VA sementara dioda D2 dan D3 berada dalam bias *reverse*, sedangkan netral berfungsi menyediakan jalur pola arus beban balik menuju suplai. 120° kemudian, dioda D2 akan melakukan setengah siklus positif VB ,dengan dioda D1 Dan D3 dalam kondisi bias *reverse* dan siklus ini akan kontinyu atau berkelanjutan hingga D3. Sehingga, penyearah gelombang 3 fasa dengan sudut perbedaan 120° menghasilkan:

$$\boldsymbol{VA = V_p\, x\, \sin(\omega t - 0°)}$$
$$\boldsymbol{VB = V_p\, x\, \sin(\omega t - 120°)}$$
$$\boldsymbol{VC = V_p\, x\, \sin(\omega t - 240°)}$$

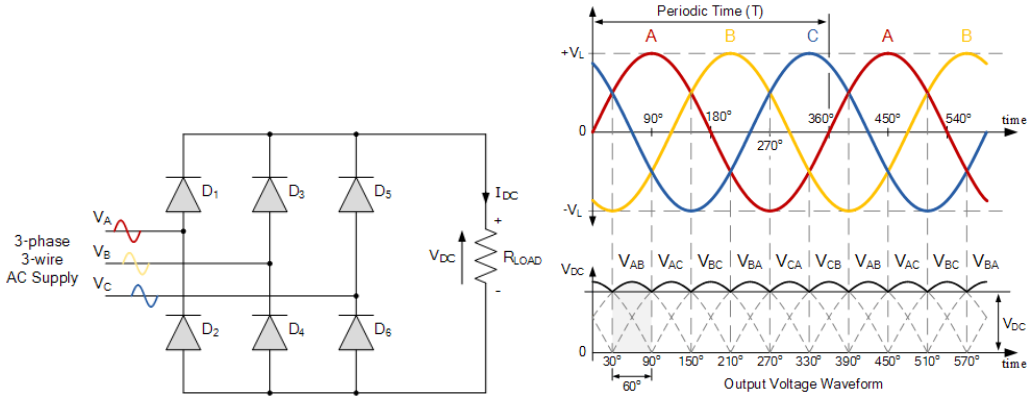
Sehingga niai rata-rata DC dari gelombang tegangan output dari penyearah setengah gelombang 3 fasa adalah sebagai berikut:

$$\boldsymbol{VDC = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\, V_p = 0.827x\, Vpeak}$$

Dimana; $\boldsymbol{V_p = V_{rms}\ x\ \sqrt{2}}$

2.3.2 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa

Penyearah gelombang penuh 3 fasa (*Full-Wave Three-Phase Rectification*) adalah penyearah yang menggunakan 6 dioda dengan 2 dioda per fasa. Rangkaian ini sama atau mirip dengan rangkaian penyearah dioda *bridge* satu-fasa. Keuntungan dari penggunaan 2 sirkuit penyearah, akan menghasilkan *ripple* atau riak yang lebih rendah daripada penyearah setengah gelombang. Selain itu, suplai arus dan tegangan bisa dihubungkan dengan koneksi delta tanpa membutuhkan saluran netral (N).



Gambar 2. 10 Penyearah Gelombang Penuh 3 Fasa
Sumber: electronics-tutorials: 2019

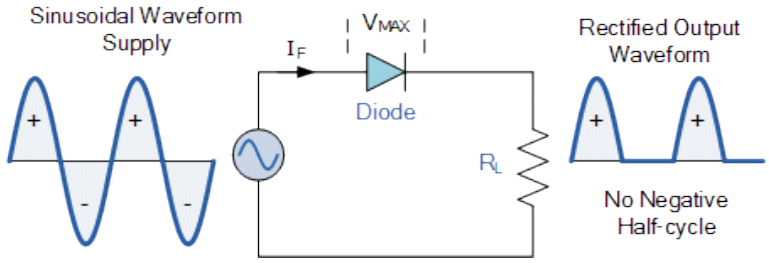
Dalam power *rectifier* 3 fasa, konduksi selalu terjadi pada dioda paling positif. Jika ketiga fasa berputar melintasi terminal penyearah, konduksi dilewatkan dari dioda ke dioda. Kemudian dalam sudut 120° siklus penyearahan gelombang terjadi, namun karena terdapat 2 pasang dioda siklus tersebut menjadi 60° atau hanya seperenam dari siklus satu waktu. Sehingga nilai rata-rata DC dari gelombang tegangan output dari penyearah gelombang penuh 3 fasa dapat dihitung sebagai berikut:

$$\boldsymbol{VDC = \frac{3\sqrt{3}}{\pi}\ V_s = 1.65\ x\ Vs}$$

Dimana; $\boldsymbol{V_s = V_{peak}\ \div\ \sqrt{3}}$

2.3.3 Penyearah Setengah Gelombang 1 Fasa

Penyearah setengah gelombang satu fasa adalah rangaian yang paling sederhana yaitu menggunakan satu dioda. Saat periode positif dioda akan bias maju, dan saat periode negatif dioda akan *reverse* bias sehingga gelombang akan terpotong seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 11 Penyearah Setengah Gelombang 1 Fasa
Sumber: electronics-tutorials: 2019

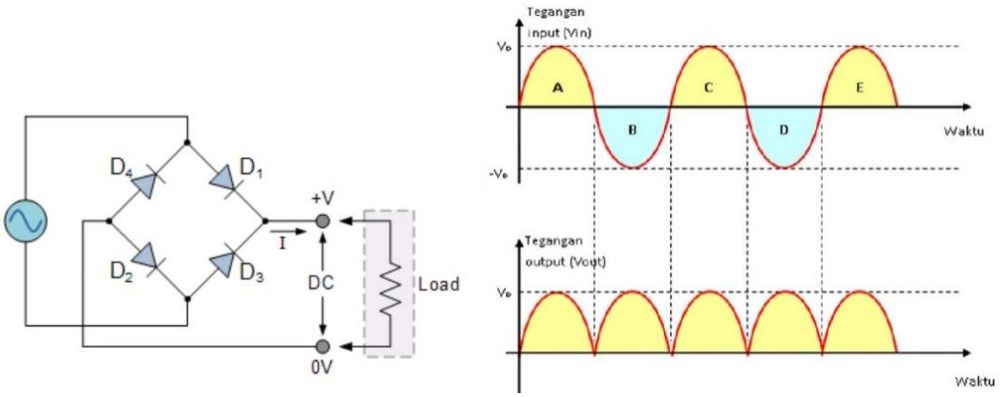
Dioda daya pada rangkaian ini hanya melewati setengah dari setiap gelombang sinus lengkap dari catu daya AC untuk mengubahnya menjadi catu daya DC. Persamaan tegangan penyearah setengah gelombang satu fasa adalah:

$$V_{dc} = \frac{V_{max}}{\pi} = 0.318\, V_{max}$$

$$V_{dc} = 0.45\, V_{rms}$$

2.3.4 Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa

Penyearah gelombang penuh menggunakan empat dioda yang biasa digunakan pada rangkaian *power supply*.



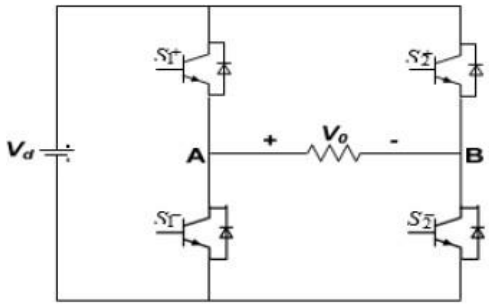
Gambar 2. 12 Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa
Sumber: Rangkaian-elektronika: 2019

Pada saat *source* gelombang positif, dioda D1 dan D2 akan dalam keadaan bias maju dan D3 serta D4 akan menghambat sisi negatif. Kemudian pada saat *source* fase gelombang negatif maka D3 dan D4 akan aktif untuk melakukan bias *foward* sedangkan D1 dan D2 akan meniadakan sisi negatifnya.

$$V_{dc} = \frac{V_{max}}{\pi}$$

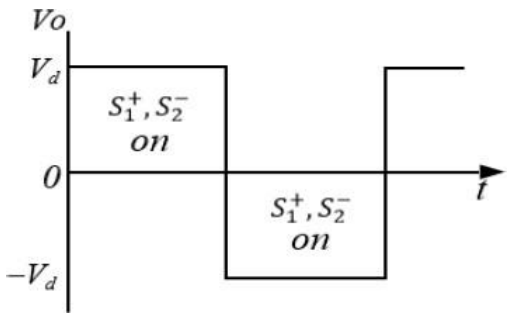
2.4 Inverter

Inverter merupakan sebuah alat yang diunakan untuk mengubah arus serah menjadi arus bolak-balik. 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 sinusoidaL, namun bentuk gelombang yang dihasilkan juga bisa berbentuk persegi (*square wave*) atau persegi termodifikasi (*quasi square wave*). Prinsip kerja inverter bisa dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Rangkaian Inverter

Gambar 2.11 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, akan timbul tegangan negatif seperti yang terdapat pada gamabar 2.14



Gambar 2. 14 Gelombang Inverter

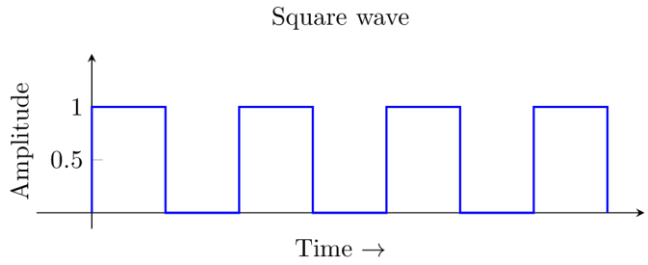
Dengan mengatur waktu bergantiannya saklar tersambung maka inverter bisa menghasilkan frekuensi yang diinginkan. Apabila dalam satu periode saklar S_1^+ dan S^- dinyalakan selama 0,5 detik dan kemudian diganti dengan saklar S^- dan S^+ yang dinyalakan selama 0,5 detik maka dalam satu periode membutuhkan waktu 1 detik. Sehingga frekuensi yang dihasilkan oleh inverter adalah 1 Hz.

2.4.1 Jenis Inverter

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

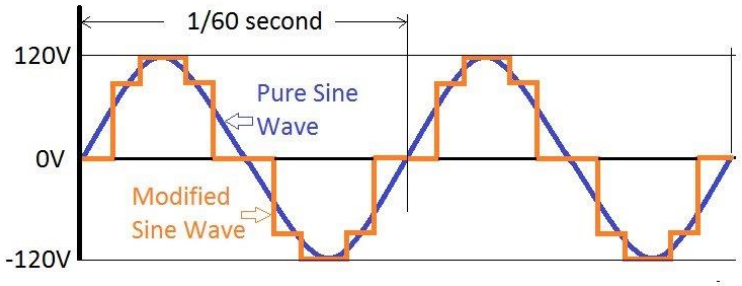
Square wave merupakan gelombang inverter yang paling sederhana. *Square wave* bisa juga disebut sebagai *dirty power suply* karena bentuk gelombangnya yang persegi. Gelombang yang persegi menyebabkan total *harmonic distortion* yang tinggi. Sehingga meskipun bisa menghasilkan tegangan 220V dan frekuensi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



Gambar 2. 15 *Square Wave*
Sumber: Google: 2019

2.4.1.2 Modified Sine Wave

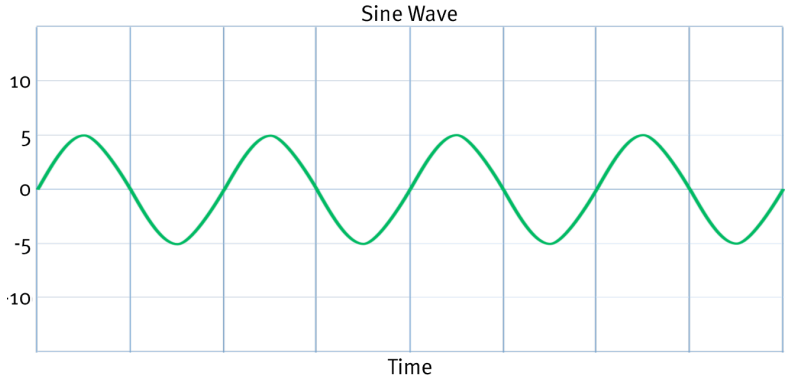
Gelombang *modified square wave* bentuknya hampir sama dengans s*quare wave* sehingga bisa juga disebut *modified square wave* atau *quasy sine wave*. *Modified sine wave* sedikit berbeda karena gelombangnya menyentuh titik nol selama beberapa saat. Bentuk gelombang yang lebih mendekati sinusoidal membuatnya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



Gambar 2. 16 *Modified Sine Wave*
Sumber: Altestore: 2019

2.4.1.3 Pure Sine Wave

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



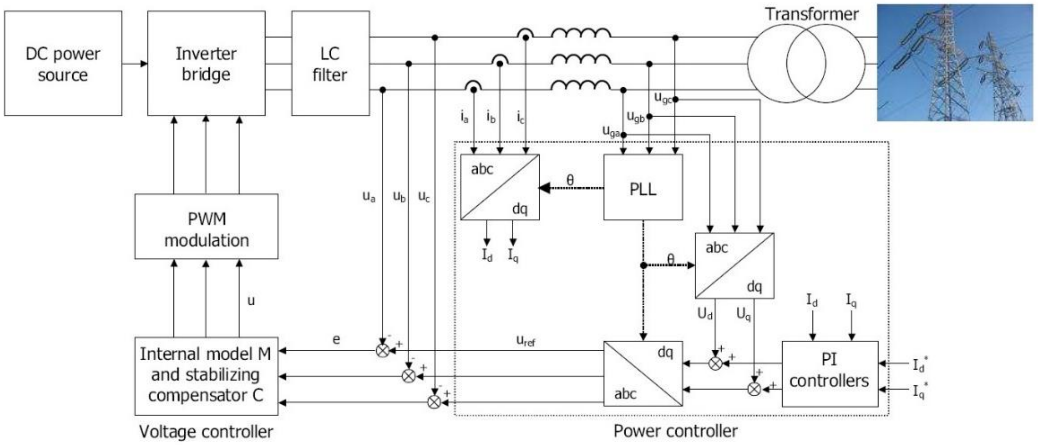
Gambar 2. 17 *Pure Sine Wave*
Sumber: Forum unity: 2018

2.4.2 Grid Connected Inverter (GCI)

Grid Tied Inverter atau *Grid Connected Inverter* merupakan seperangkat alat yang dirancang untuk mengubah daya dari angin dan PV (*Pothovoltaic*) menjadi daya kelas utilitas yang dapat digunakan secara langsung atau dijual kepada utilitas listrik lokal. Daya yang dikeluarkan mulai dari 2kW hingga 30kW dan rentang inut tegangan yaitu 30V hingga 750V. Inverter ini dapat menangani hampir semua turbin angin atau sistem PV dengan canggih menggunakan kontrol yang dapat diprogram serta memiliki algoritma respon yang cepat. Seperti halnya inverter, GCI mengubah daya DC menjadi AC, komponen GCI juga memungkinkan transfer energi dari sumber terbarukan ke grid.

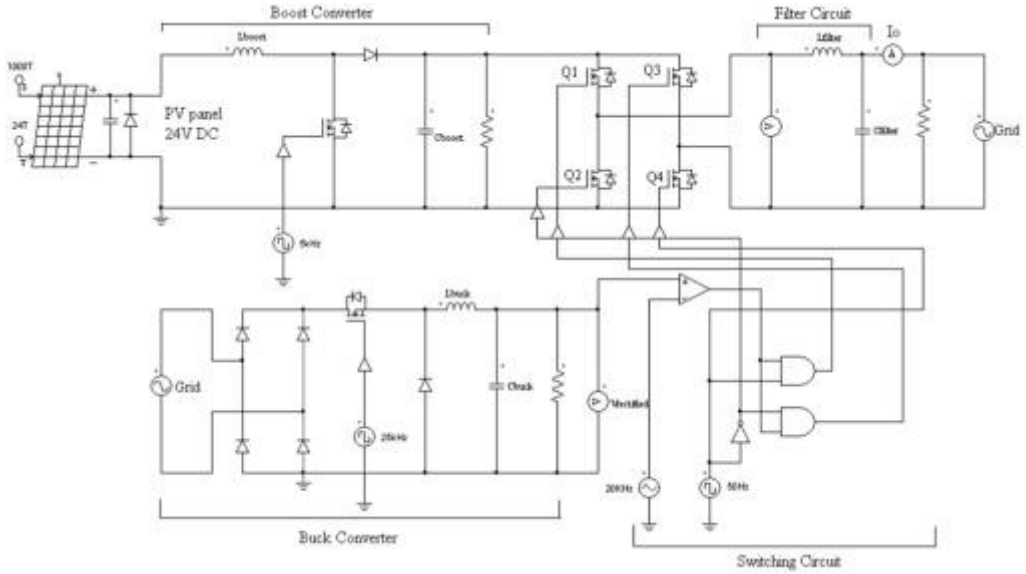
Tegangan yang dapat disuntikan kedalam jaringan tenaga listrik biasanya 120 VRms pada 60 Hz atau 240 VRms pada 50Hz. Proses penyuntikan daya listrik secara efisien dan aman ke dalam grid ialah GCI harus secara akurat mencocokkan tegangan dan fase gelombang AC. Hal ini melibatkan osilator dan pembatas tegangan yang di set tidak lebih tinggi dari grid. Sebuah *high-quality modern grid-tie inverter* mempunyai faktor daya yang tetap, yang berarti tegangan dan arus keluarannya dengan sempurna tersusun dengan sudut fase berada dalam 1° dari jaringan listrik AC. Inverter memiliki komputer on-board yang men-*sensing* bentuk gelombang AC sebagai *reference* untuk penyesuaian output inverter itu sendiri. Selain daripada itu, GCI dirancang untuk memutuskan dengan cepat dari grid jika grid utilitas turun untuk memastikan bahwa jika terjadi pemadaman, GCI dimatikan untuk mencegah energi yang ditransfernya membahayakan pekerja saat dilakukan perbaikan jaringan listrik.

Inverter bertugas untuk mengubah listrik arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel menjadi arus bolak-balik (AC) yang mengalir melalui jaringan dan memberi daya pada peralatan listrik. Inverter standar memiliki transformator di dalamnya yang mensinkronkan tegangan dengan tegangan grid dan peralatan.Inverter transformer menggunakan proses multi-langkah terkomputerisasi dan komponen elektronik untuk mengubah DC ke AC frekuensi tinggi, kembali ke DC, dan akhirnya ke AC frekuensi standar. Efisiensi inverter TL sekitar 97%, naik 2% dari inverter konvensional. Peningkatan efisiensi menghasilkan peningkatan pasokan daya, yang bisa sangat signifikan ketika dihitung selama umur sistem.



Gambar 2. 18 Grid Tied Inverter with Transformator

Selain itu, tanpa transformator, inverter menjadi jauh lebih ringan, lebih kompak, dan lebih terjangkau. Inverter TL menggunakan switching elektronik (bukan mekanik), sehingga mengurangi jumlah panas dan 'hum' yang dihasilkan oleh unit. Inverter tanpa transformer juga dapat menciptakan medan elektromagnetik yang sedikit lebih kuat daripada inverter berbasis transformator. Sistem inverter ini terdiri dari rangkaian boost converter dua tahap, rangkaian buck converter dua tahap, rangkaian switching control inverter, H-Bridge inverter dan rangkaian T-LCL fiter. Sumber DC 24 V dari PV atau baterai digunakan sebagai sumber pada rangkaian boost coverter. Kemudian sumber grid (220 volt) digunakan sebagai sumber pada rangkaian buck converter yang sekaligus sebagai input pada rangkaian switching control inverter.



Gambar 2. 19 *Transformatorless Grid Tied Inverter*

2.5 Variable Speed Drive Controller

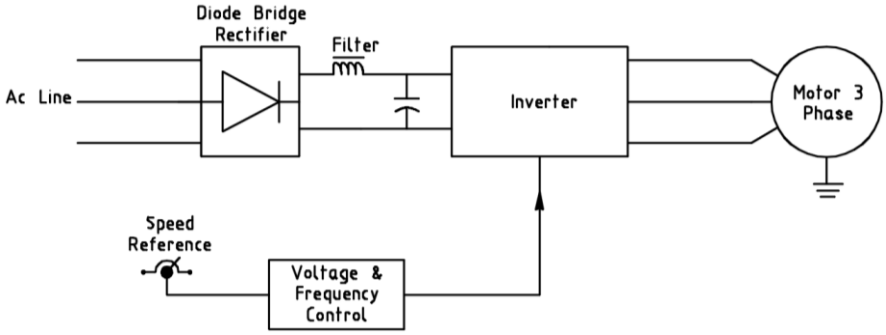
Variable speed drive controller berfungsi untuk mengatur putaran motor induksi. Sistem pengendalian dibutuhkan dalam mengatur jangkauan putaran dan mengatur kestabilan untuk mendapatkan putaran motor ideal yang diinginkan. Pengaturan putaran pada motor induksi menggunakan prinsip pengaturan kecepatan 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 :

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

Ns = Kecepatan sinkron (rpm),

F = Frekuensi sumber daya (Hz), dan

P = Jumlah kutub stator.



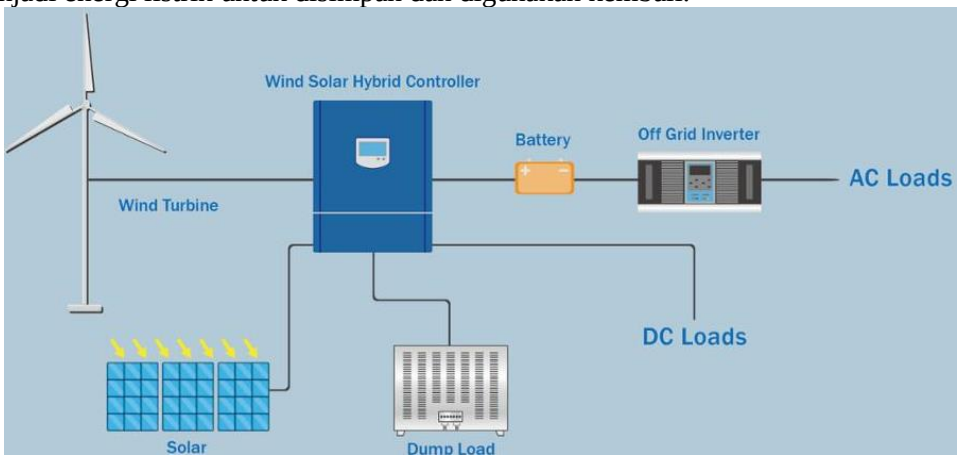
Gambar 2. 20 Prinsip Dasar VSDC

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.

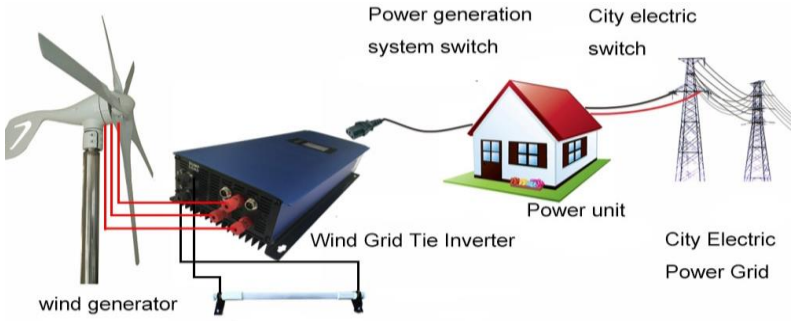
2.6 Sistem On-grid dan Off-grid

Off-the-grid atau ***off-grid*** adalah karakteristik suatu rancangan atau model yang di desain secara independen tanpa bergantung pada satu atau lebih utilitas publik. Pada konteks lain, utilitas publik bukan hanya hal jaringan listrik namun juga meliputi sistem air, gas dan sistem saluran pembuangan. Model sistem *off-grid* memungkinkan bangunan atau orang berlangsung secara mandiri biasanya terdapat ada daerah terpencil dimana utilitas normal tidak dapat menjangkaunya. Contoh penerapan sistem pembangkit secara umum pada daerah yang mengadopsi sistem *stand alone* seperti ini, menggunakan

natural resources yang dapat berupa aliran sungai, angin dan matahari yang di-*convert* menjadi energi listrik untuk disimpan dan digunakan kembali.



Gambar 2. 21Sistem Off-grid
Sumber: Alibaba:2019



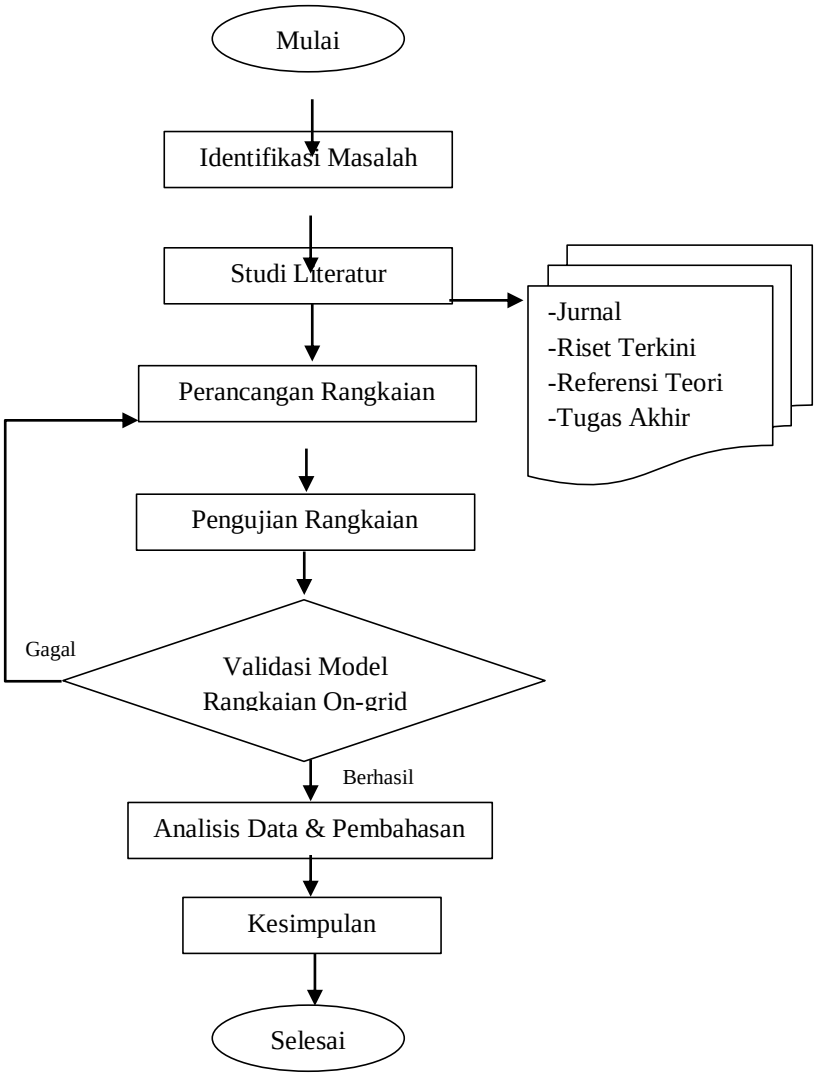
Gambar 2. 22Sistem On-grid
Sumber: Aliexpress

Kemudian, sistem ***on-grid*** adalah sebuah sistem pembangkit yang terhubung dengan jaringan utilitas nasional atau publik. Berbeda dengan sistem *off-grid* sistem ini seakan menyediakan dua sumber bagi penggunanya. Pada saat keadaan *under* atau *over-produces* energi sitem ini akan sangat membantu dalam memenuhi kebutuhan konsumen. Sistem utilitas yaitu grid akan berfungsi sebagai penampung kelebihan daya yang dihasilkan oleh sistem pembangkit untuk digunakan dalam mengurangi tagihan energi. Jika daya yang dihasilkan lebih dari cukup, ekstra dapat dikembalikan ke perusahaan utilitas, dan pengguna dapat dibayar untuk itu, atau dapat memperoleh beberapa kredit yang dapat digunakan untuk mengimbangi tagihan listrik di tahap selanjutnya. Ini adalah prinsip yang digunakan dalam net-metering. Dengan kata lain, hal ini akan seperti petani yang memanen banyak ubi tetapi tidak bisa mengkonsumsinya semua pada periode tertentu dan memutuskan untuk menjual kelebihannya kepada petani ubi lain dengan harga yang mereka sepakati sehingga ubi tambahan tidak sia-sia.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi adalah gambaran umum sistematis penulis dalam menyusun penelitian juga merupakan kerangka garis kerja tugas akhir, sebagai pedoman dalam konsistensi pembahasan pokok bahasan yang ditentukan agar tercapainya tujuan. Pada Gambar 3.1 adalah diagram alir tugas akhir yang akan digunakan pada penelitian yang bertema kajian *on-grid system* pembangkit listrik tenaga arus laut pada skala laboratorium. Berikut ini detail diagram alir tugas akhir:



Gambar 3. 1 Flowchart Proses Pengerjaan Tugas Akhir

3.1.1 Identifikasi Masalah

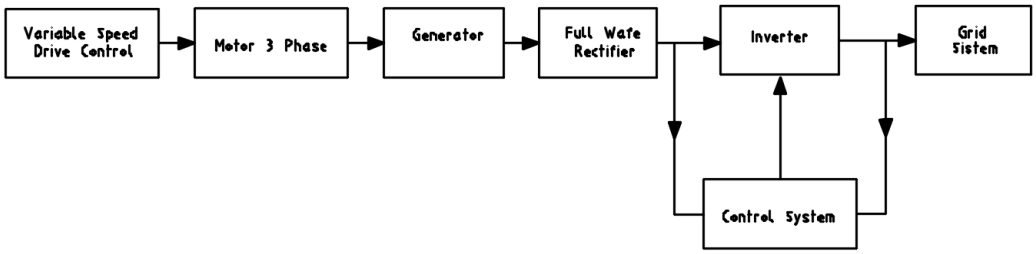
Identifikasi masalah bertujuan untuk memperdalam permasalahan atau isu yang akan diangkat. Pada proses ini akan dilakukan *problem solving* dengan beberapa tahapan proses tertentu. Permasalahan yang terjadi ialah tentang bagaimana membuat rangkaian *on-grid system* pada pembangkit listrik energi arus laut atau merancang suatu sistem pembangkit yang terinterkoneksi dengan grid PLN. Output dari identifikasi masalah pada tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan solusi tentang *synchronizing* pembangkit terhadap grid.

3.1.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori tentang pengembangan isu terkait. Metode ini akan banyak menyerap informasi dari berbagai sumber, diantaranya ialah jurnal penelitian akademik, artikel, makalah dan buku penunjang teori lainnya. Selain itu, studi literatur akan membantu penulis dalam memberikan sudut pandang yang luas dalam menyikapi permasalahan yang diangkat. Sehingga, prosedur atau tahapan yang akan dilakukan akan tersistematis.

3.1.3 Perancangan Model Rangkaian

Pada tahap perancangan model rangkaian, penulis akan menggunakan metode *running simulation*, untuk melihat bahwa sistem sudah bekerja dengan baik atau belum. Kemudian, rangkaian tersebut akan dirangkai dengan urutan sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Tahap Perancangan Model Pembangkit

Gambar 3.2 menunjukkan desain blok diagram rangkaian pembangkit listrik yang terhubung dengan grid. *Prime-over* terdiri dari motor tiga fasa serta VSDC (*Variable Speed Drive Controller*) yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor berdasarkan frekuensi yang diatur dalam beberapa variasi. Pada sisi pembangkit adalah terdiri dari generator yang disearahkan dengan *rectifier* sebagai sumber arus DC untuk inverter. Pada sisi inverter akan terjadi proses sinkronisasi terhadap parameter-parameter tertentu grid, yang menjadi syarat terhubungnya satu pembangkit atau lebih. Integrasi sistem *on-grid* dimaksudkan agar dapat menghemat atau mengurangi biaya pemakaian listrik dari jaringan PLN. Selain pada itu, sistem ini memungkinkan melakukan impor-ekspor atau transfer daya ke jaringan PLN, apabila terjadi kelebihan daya.

3.1.4 Pengujian Rangkaian

Pengujian rangkaian akan menganalisa parameter-parameter yaitu tegangan, frekuensi, gelombang, rpm generator dan lain sebagainya. Parameter tersebut akan

dikumpulakan sebagai data kuantitatif yang selanjutnya dianalisis untuk dijadkan informasi data kualitatif. Pengujian rangkaian ini akan dilakukan di Laboratorium Perancangan dan Manufaktur Teknik Sistem Perkapalan, dengan merangkai rangkaian sesuai dengan desain perancangan model. Pengujian juga akan melihat respon gelombang output pembangkit.

3. 2 Batasan Pembahasan dan Metode Perolehan Data

Batasan pembahasan dari permodelan pembangkit ini adalah mengesampingkan nilai beban. Selain itu, permodelan dan analisis tugas akhir ini akan fokus pada sisi elektrikalnya, bukan menjabarkan sisi penggerak atau *prime mover* pembangkit. Simulasi yang digunakan adalah dengan *oscilloscope* untuk mengetahui respon yang dihasilkan pembangkit ke grid dengan visualisasi bentuk gelombang. Pengukuran nilai didapatkan dari percobaan secara langsung dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter tertentu atau metode kuantitatif di Laboratorium Perancangan dan Manufaktur Teknik Sistem Perkapalan dengan pendampingan asisten lab.

Halaman ini sengaja di kosongkan...

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan adalah serangkaian alat yang digunakan untuk pengujian pada tugas akhir ini. Adapun alat tersebut antara lain:

4.1.1 Altivar 61 (Variable Speed Drive Controller)

Variable Speed Drive Controller adalah perangkat yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor listrik. Variasi kecepatan yang didapatkan merupakan hasil pengaturan frekuensi dan tegangan dari sirkuit elektronik *solid-state.*

Gambar 4. 1 *Variable Speed Drive Controller*

- Merk : Schneider
- Motor Power : 30kW 3 fasa 380...480 V
- Power Supply : 380...480 V
- Suplai Fasa : 3 fasa
- Frekuensi : 50...60 Hz

4.1.2 Motor Induksi 3 Fasa

Motor Induksi 3 Fasa berfungsi sebagai prime mover atau penggerak utama generator yang dikopelkan satu sama lain dengan perbandingan putaran 4:1. Putaran motor yang divariasikan akan dianalisis pengaruhnya terhadap output generator. Berikut spesifikasi motor induksi 3 fasa:

- Merk : Melco
- Frekuensi : 60 Hz
- Putaran : 1724 Rpm
- Daya : 36 kW

Gambar 4. 2 Motor Sinkron 3 Fasa

4.1.3 Generator Sinkron 3 Fasa

Pada proses tugas akhir ini, generator 3 fasa berfungsi sebagai media pengujian performa dan sebagai sumber tegangan, frekuensi yang akan disinkronkan dengan jaringa grid atau PLN. Berikut adalah spesifikasi generator 3 fasa yang digunakan:

- Merk : Ginlong
- Putaran : 250 rpm
- Daya : 3500 Watt
- Tipe Pemasangan : Horisontal

Gambar 4. 3 PMSG

4.1.4 Rectifier 3 Fasa

Rectifier yang digunakan adalah jenis *full-wave three-phase uncontrolled bridge rectifier* yaitu menggunakan enam dioda yang tersusun sedemikian rupa untuk menghasilkan gelombang searah yang minim dengan *ripple.*

Gambar 4. 4 Rectifier 3 Fasa Tidak Terkontrol

4.1.5 Oscilloscope

Oscilloscope adalah alat eletronika yang digunakan untuk memproyeksikan suatu besaran teradap waktu. Besaran tersebut dapat berupa frekuensi dan tegangan . Selain itu, alat tersebut digunakan untuk menampilkan bentuk gelombang listrik yang dihasilkan dari sumber listrik atau dari rekayasa gelombang sinyal yang lain.

Gambar 4. 5 Oscilloscope

4.1.6 Inverter

Inverter yang digunakan adalah tipe GCI-4K-2G-EURW merupakan inverter seri hybrid fase tunggal yang dirancang untuk sistem hibrida PV dan angin atau untuk input yang bersifat dinamis. Inverter ini dapat mentransfer daya DC dari input ke daya AC dan dimasukkan ke dalam jaringan grid.

Gambar 4. 6 Grid-Connected Inverter

Tabel 4. 1 Koneksi Inverter

+	Terminal input DC positif
-	Termina input DC negatif
DC 1	Terminal input Wind
DC2	Terminal input PV
DC Switch	Switch atau Input DC (opsional)
Com	Saluran terminal komunikasi (opsional)
Grid	Terminal koneksi Grid

Berikut spesifikasi inverter yang digunakan:

Max DC input voltage : 600V
Max DC input current : 15A
Rating output power : 4 kW
Rating Grid : 230 Vac / 180 -270 (*adjustable*)
Operation phase : Satu fasa
Protection : *DC reverse-polarity protection, AC Short circuit protection, islanding protection,* dll.

4.1.7 Tachometer

Tachometer merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi putaran suatu benda atau peralatan lain. Tachometer memiliki dua macam jenis yaitu digital dan mekanik. Tachometer digital yaitu menggunakan pancaran *infrared* dengan batasan jarak pantulan tertentu sedangkan tachometer mekanik memiliki poros shaft yang dihubungkan langsung terhadap benda putar.

Gambar 4.7 Tachometer

4.1.8 Multimeter

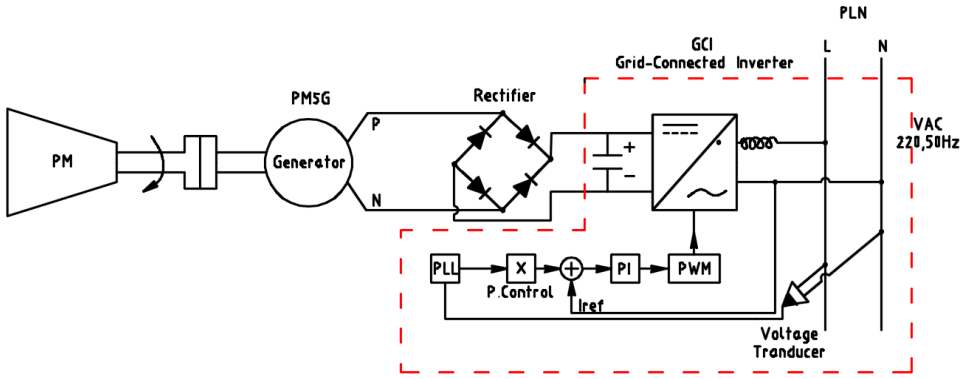
Multimeter adalah alat ukur elektronik untuk mengukur besaran parameter tegangan, arus, frekuensi dan lain-lain. Besaran yang diukur merupakan nilai efektif atau dikenal sebagai *root mean square* (rms).

Gambar 4.8 Tachometer

4.2 Prosedur Pengujian

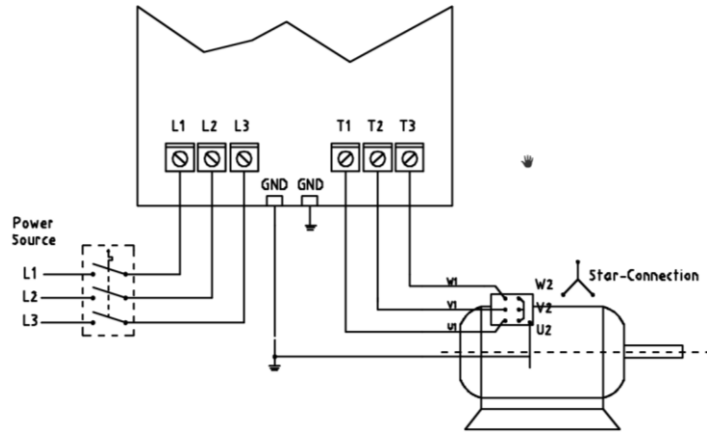
Pada tahap pengujian terdapat beberapa SOP (Standar Operasional Prosedur) yang harus diperhatikan agar dicapai nilai kerja yang paling efektif. Adapuan SOP yang harus dilakukan adalah:

a) Memodelkan rangkaian uji di Auto CAD yang berdasarkan rangkaian uji yang digunakan.



Gambar 4.9 Key Plan Sistem Pembangkit Tenaga Arus Laut

b) Memastikan bahwa rangkaian VSDC terhubung dengan sumber dan motor induksi 3 fasa. Selain itu, rangkaian pada motor adalah rangkaian bintang.

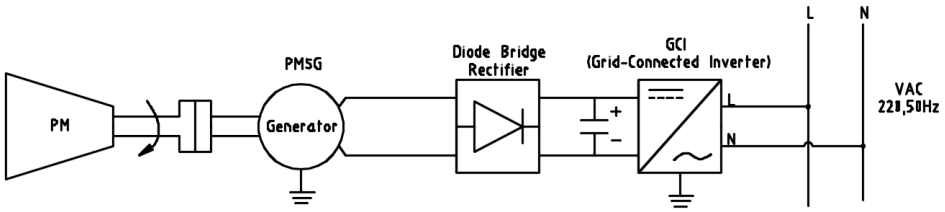


Gambar 4.10 Koneksi Rangkaian VSDC-Motor Induksi 3 Fasa

c) Mengalibrasi dan memastikan VSDC sesuai spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan dengan melihat manual book Altivar 61 VSDC dan *name plate* pada motor.

d) Mengecek dan memasang rangkaian percobaan yaitu generator hingga ke grid. Persyaratan lain yang harus diperhatikan bahwa peralatan yang memiliki lambang *grounding* harus di-*grounding*-kan, sebab hal tersebut sangat penting karena berfungsi menghilangkan tegangan dan arus bocor yang bisa saja timbul dan

merambat pada peralatan sehingga merusak komponen dalam, serta membahayakan operator.



Gambar 4.11 Rangkaian Percobaan Pembangkit On-Grid

e) Meng-on-kan sumber dari sisi grid terlebih dahulu dan memperhatikan manual book GCI Wind Inverter.
f) Menjalankan VSDC dan motor induksi 3 fasa dengan mengaktifkan sumber melalui MCB.
g) Mengatur putaran motor dengan memutar regulator frekuensi pada VSDC secara bertahap.

Gambar 4. 12 Penginputan Nilai Frekuensi pada VSDCGambar

h) Mengukur parameter data lain yang dibutuhkan saat percobaan. Adapun data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Parameter Data

No.	Parameter	Keterangan
1.	Frekuensi (Hz)	Frekuensi motor, generator, grid
2.	Rpm	Rpm motor, generator
3.	Voltage (Tegangan)	VL-L, VL-N, Vrectifier, Vgrid,
4.	Efisiensi	Efisiensi putaran motor, eff Vrectifier dsb.

i) Mencatat, mengamati dan menganalisa setiap data dan perubahan nilai yang terjadi, sesuai dengan variasi frekuensi yang ditentukan

4.3 Performa Variable Speed Drive Control dan Motor Induksi 3 Fasa

VSDC yang dipasang pada motor induksi 3 fasa adalah untuk mengatur kecepatan motor dengan memainkan perubahan frekuensi tegangan yang masuk pada motor. Kecepatan Putaran medan stator, dapat dihitung dengan menggunakana rumus sebagai berikut:

$$Ns = \frac{120.f}{P}$$

Pada rangkaian percobaan, peneliti menggunakan PMSG (*Permanent Magnet Syncronous Generator*) dengan rpm 250 dan daya (P) Sebesar 3,5 kW. Motor induksi 3 fasa sebagai prime mover, mempunyai 4 *pole* terkopel dengan generator dengan perbandingan rasio *pulley* 4:1. Sehingga persamaan nilai frekuensi yang diinput adalah sebagai berikut:

Diketahui: nG = 250 rpm

Rasio *pulley* = 4:1

$$f = \frac{Ns.P}{120}$$

$$f = \frac{1000.4}{120}$$

$$f = 33,34\ Hz \text{ Hz}$$

Frekuensi yang digunakan untuk menghasilkan putaran 250 rpm pada generator adalah 33 Hz. Setelah itu memvariasikan frekuensi input pada VSDC sehingga diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Rpm Motor dan Generator

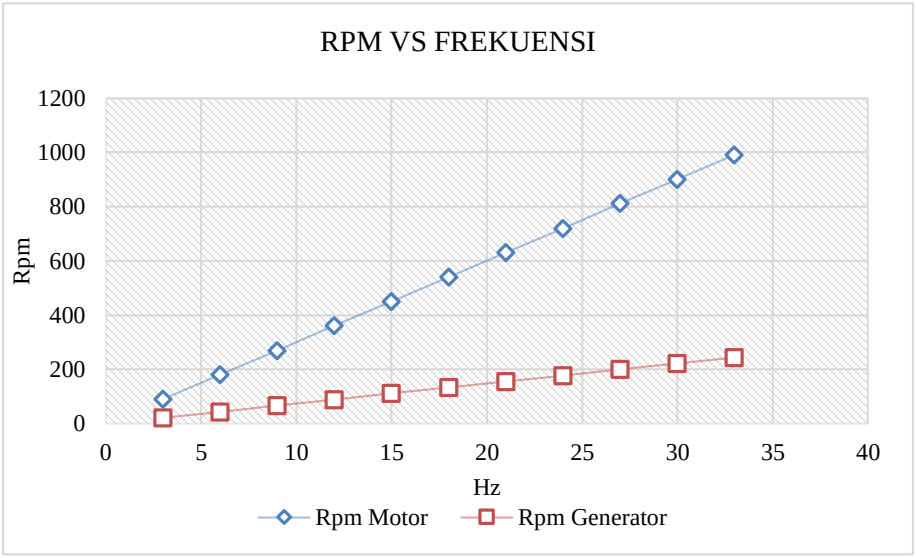
Frekuensi VSDC (Hz)	Rpm (Motor)	Rpm (Generator)
3	90	22
6	180	43.9
9	270	66.5
12	361	88.7
15	451	111.1
18	540	133.3
21	631	155.7
24	720	177.8
27	811	200
30	900	222.3
33	990	244.5

Pada tabel 4.3 menunjukkan putaran generator mendekati putaran nominalnya. Variasi frekuensi oleh VSDC yang terhubung dengan motor induksi 3 fasa menunjukkan peningkatan putaran, sebanding dengan peningkatan frekuensi yang diberikan. Pengambilan data putaran, menggunakan inframerah tacho meter yang didekatkan pada poros *shaft* motor dan generator. Selanjutnya menghitung efisiensi VSDC dengan cara membandingkan putaran motor secara pengukuran dengan putaran motor secara perhitungan:

$$Ns = \frac{f.P}{120}$$

$$Ns = \frac{3.120}{4}$$

$$Ns = 90\ rpm$$



Gambar 4.13 Grafik Rpm Motor dan Generator

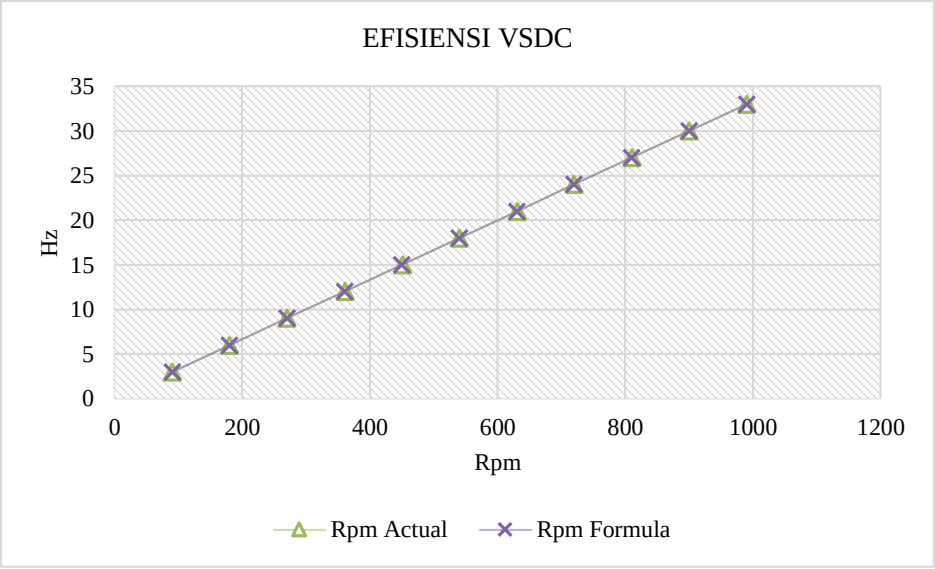
Frekuensi 3 Hz pada VSDC secara perhitungan menghasilkan putaran motor sebesar 90 rpm. Perbandingan putaran motor dengan pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Efisiensi Putaran Motor oleh VSDC

Rpm (motor) FOR	Rpm (motor) ACT	Keakuratan %
90	90	100
180	180	100
270	270	100
360	361	99.7
450	451	99.8
540	540	100

Rpm (motor) FOR	Rpm (motor) ACT	Keakuratan %
630	631	99.8
720	720	100
810	811	99.9
900	900	100
990	990	100

Tabel diatas menunjukkan bahwa efisiensi yang dihasilkan mendekati sempurna yaitu dengan rata-rata 99,93 %. Perhitungan rpm yang dihasilkan menunjukkan relatif satu digit nilai lebih rendah daripada yang terukur.



Gambar 4.14 Grafik Efisiensi VDSC

Grafik efisiensi *Variable Speed Drive Control* diatas menunjukkan pola grafik yang mirip dengan tingkat eror yang tidak signifikan. Kesimpulan yang dapat ditarik bahwa putaran motor dengan perhitungan dan pengukuran adalah sinkron. Sehingga efisiensi VSDC adalah sangat baik.

4.4 Performa Generator Tanpa Beban

Generator pada pengujian ini menggunakan *permanent magnet generator* 3 fasa yang mempunyai rangkaian star. Sehingga rumus hubungan tegangan generator adalah:

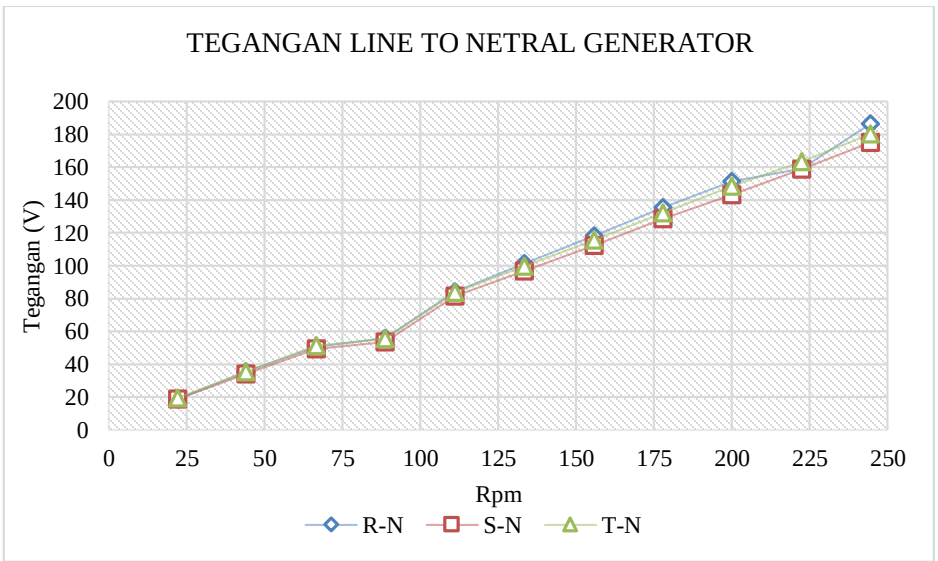
$$\boldsymbol{Vphase = \frac{Vline}{\sqrt{3}}} \quad \text{(1)}$$

$$\boldsymbol{Vpeak = Vrms.\sqrt{2}} \quad \text{(2)}$$

Tabel 4.5 Output Tegangan Generator

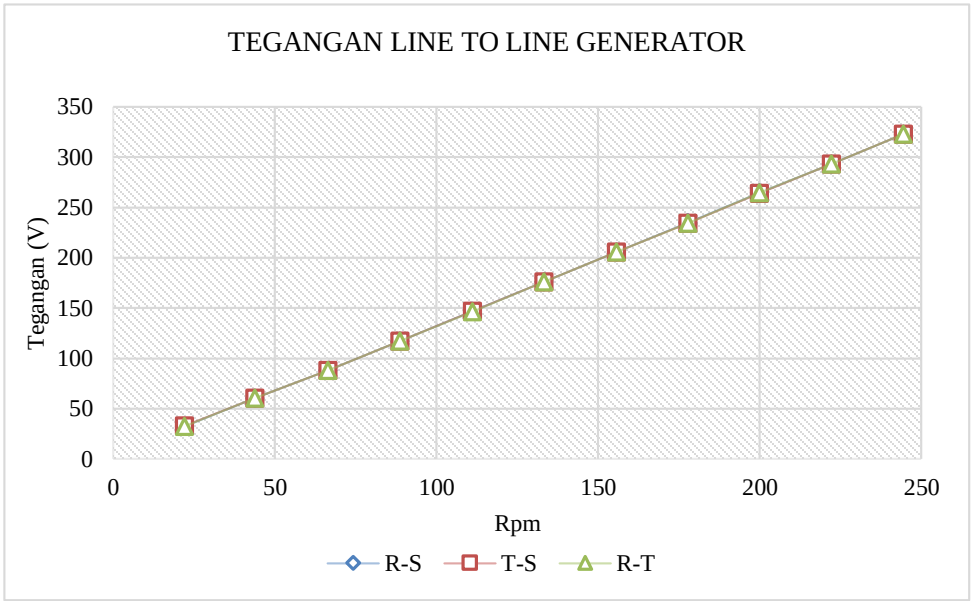
Frekuensi VSDC (Hz)	Rpm (motor)	Rpm (generator)	Tegangan Phase Generator RMS (V)			Tegangan Line Generator RMS (V)		
			RN	SN	TN	RS	TS	RT
3	90	22	18.8	18.8	19.6	32.7	32.8	32.6
6	180	43.9	35.2	34	35.4	60.3	60.3	60.3
9	270	66.5	50.7	49.4	51.3	88.2	88.1	88.3
12	361	88.7	55.8	53.5	55.6	117.2	117.3	117.2
15	451	111.1	84.1	81.3	83.7	146.8	147.2	146.3
18	540	133.3	101.3	96.6	99.5	176.1	176.3	176.2
21	631	155.7	118.2	112.3	115.6	205.8	205.7	205.8
24	720	177.8	135.3	128.6	132	234.8	234.5	234.4
27	811	200	151.2	143.2	148.2	264.5	264.3	264.5
30	900	222.3	159.1	158.6	163.3	293.4	293.5	293.5
33	990	244.5	186.4	175	180.2	323	322.9	322.8

Pada Tabel 4.5 menunjukkan generator terjadi peningkatan tegangan seiring bertambahnya putaran generator sampai mendekati putaran nominalnya yaitu 250 rpm. Pengukuran dengan multimeter, menunjukkan bahwa nilai yang ditampilkan adalah Vrms atau tegangan efektif. Respon tegangan terhadap rpm ditunjukkan pada Grafik 4.14 sebagai berikut:



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Rpm Generator dengan Tegangan V_(L-N)

Grafik 4.15 menunjukkan pola linier yaitu antara putaran generator berbanding lurus dengan peningkatan tegangan output yang dihasilkan. Pada saat generator berputar dengan rpm 66.5 terjadi ketidak konsistenan kenaikan tegangan hal ini dapat berupa kesalahan pengambilan data yang disebabkan oleh *human error* yaitu ketidaktepatan pembacaan nilai pada alat ukur.



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Rpm Generator dengan Tegangan V_(L-L)

Pada gambar grafik diatas menunjukkan respon tegangan akan semakin meningkat seiring terjadinya kenaikan rpm pada generator. Sehingga nilai yangyang diambil adalah nilai rata-rata dari masing-masing pengukuran tiap fasa. Nilai tegangan puncak generator dapat dihitung dengan menggunakan formula diatas sehingga didapatkan hasil:

$$a.\ Vpeak = Vrms.\sqrt{2}$$

$$V_{L-N}\ peak = 19.1\ .\sqrt{2}$$

$$V_{L-N}\ peak = 26.96\ Volt$$

$$b.\ Vpeak = Vrms.\sqrt{2}$$

$$V_{L-L}\ peak = 32.7.\sqrt{2}$$

$$V_{L-L}\ peak = 46.2\ Volt$$

$$c.\ V_{L-N}rms = V_{L-L}rms \div \sqrt{3}$$

$$V_{L-N}rms = 32.7 \div \sqrt{3}$$

$$V_{L-N}rms = 18.9\ Volt$$

$$d.\ V_{L-L}rms = V_{L-N}rms\ x\ \sqrt{3}$$

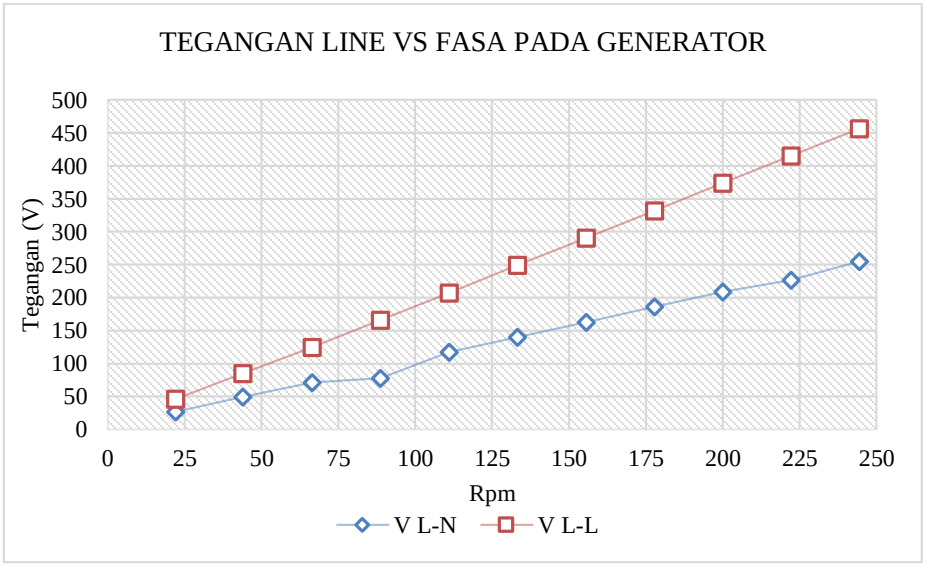
$$V_{L-L}rms = 19.1\ x\ \sqrt{3}$$

$$V_{L-L}rms = 33.0\ Volt$$

Tabel 4. 6 Tegangan Puncak Generator dan Tegangan Efektif

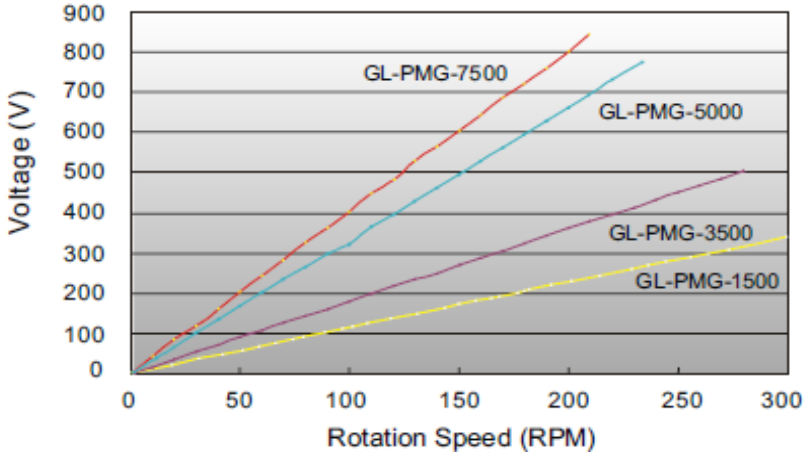
Rpm Generator	VL-N Rms Act	VL-L Rms Act	VL-N Peak	VL-L Peak	VL-N Rms For	VL-L Rms For	Eror
22	19.1	32.7	27.0	46.2	18.9	33.0	1.0%
43.9	34.9	60.3	49.3	85.3	34.8	60.4	0.2%
66.5	50.5	88.2	71.4	124.7	50.9	87.4	0.9%
88.7	55.0	117.2	77.7	165.8	67.7	95.2	18.8%
111.1	83.0	146.8	117.4	207.6	84.7	143.8	2.0%
133.3	99.1	176.2	140.2	249.2	101.7	171.7	2.6%
155.7	115.4	205.8	163.2	291.0	118.8	199.8	2.9%
177.8	132.0	234.6	186.6	331.7	135.4	228.6	2.6%
200	147.5	264.4	208.6	374.0	152.7	255.5	3.4%
222.3	160.3	293.5	226.7	415.0	169.4	277.7	5.4%
244.5	180.5	322.9	255.3	456.6	186.4	312.7	3.2%

Tegangan puncak yang dihasilkan generator pada variasi kecepatan adalah semakin meningkat. Kemudian, dengan membandingkan antara tegangan fasa terukur dengan tegangan fasa hitungan dihasilkan nilai eror yang dinyatakan dalam prosentase. Pada putaran generator dengan rpm 88,7 tegangan puncak terukur adalah 55,5 Volt dengan tegangan peritungan 67,7 Volt, sehingga eror yang dihasilkan adalah 18%. Eror tersebut kemungkinan terjadi akibat dari *human eror* yang salah dalam pembacaan nilai. Respon perbandingan tegangan terukur dan perhitungan ditampilkan pada Grafik 4.17 sebagai berikut:



Gambar 4.17 Grafik Output Tegangan 〖V〗_(L-N) dengan 〖V〗_(L-L) Generator

KARAKTERISTIK GENERATOR TANPA BEBAN



Gambar 4.18 Grafik Karakteristik Generator Tanpa Beban

Penunjukan nilai perhitungan pada grafik diatas menunjukkan tegangan yang relatif lebih kecil daripada yang terukur hal ini dapat disimpulkan bahwa alat ukur memiliki tingkat kepresisian masing-masing, dan metode pembacaan setiap manusia juga berbeda sehingga diperoleh nilai yang berbeda pula. Selain itu peralatan juga memiliki *lifetime* yang berpengaruh terhadap tingkat efisiensi.

4.5 Performa Rectifier

Rectifier berfungsi untuk menyearahkan arus dari generator yang berupa arus AC menjadi arus DC yang akan disalurkan ke inverter. Besar output tegangan yang dihasilkan dari gelombang yang disearahkan dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$\boldsymbol{VDC = \sqrt{2}.V_{Rms}\ input}$$

$$\boldsymbol{VDC = 1.414\ x\ 19.6}$$

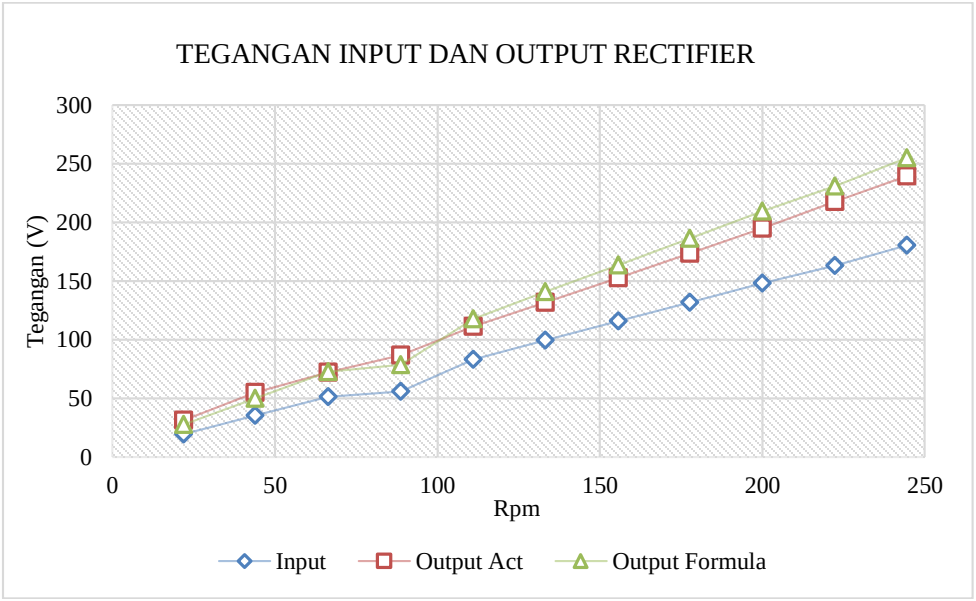
$$\boldsymbol{VDC = 27}.7\ Volt$$

Tabel 4.7 Nilai Tegangan Outout Rectifier

Rpm Generator	VAC Input Rectifier	VDC Output Rectifier Actual	VDC Output Rectifier Formula	Eror %
22	19.6	31.3	27.7	11.4
43.9	35.4	54.7	50.1	8.5
66.5	51.3	72	72.5	0.8
88.7	55.6	86.7	78.6	9.3
111.1	83.1	111.2	117.5	5.4

Rpm Generator	VAC Input Rectifier	VDC Output Rectifier Actual	VDC Output Rectifier Formula	Eror %
133.3	99.5	131.8	140.7	6.3
155.7	115.6	152.6	163.5	6.7
177.8	131.8	173.7	186.4	6.8
200	148.2	194.9	209.6	7.0
222.3	163.1	217.5	230.7	5.7
244.5	180.2	239.5	254.8	6.0

Pada tabel diatas menunjukkan tegangan Vrms input saat generator pada putaran 22 menunjukkan tegangan output *rectifier* bernilai 31,3 Vdc, Namun saat dihitung menggunakan rumus, tegangan adalah 27,7 Vdc. Sehingga nilai eror yang didapat adalah sebesar 11,4%. Nilai eror semakin mengecil pada rpm 43.9 dan 66.5. Namun kemudian meningkat 9,3% dan stabil pada prosentase 5-7% seiring dengan pertambahan rpm generator. Skema tegangan output *rectifier* ditunjukkan pada Gambar 4.19 sebagai berikut.



Gambar 4.19 Grafik Tegangan Output Rectifier

Grafik diatas menunjukkan karakteristik nilai output lebih tinggi dari tegangan input. Hal ini disebabkan oleh rangkaian kapasitor untuk mencegah tegangan turun ke titik nol. Sehingga tegangan tersebut mendekati tegangan puncak. Tegangan output

rectifier terukur dengan tegangan *rectifier* perhitungan ditunjukkan dengan grafik linier, yaitu semakin besar tegangan input yang masuk pada *rectifier*, maka nilai tegangan output akan semakin meningkat. Ketidak samaan nilai terukur dan perhitungan dapat disebabkan oleh teknik pembacaan yang salah atau dapat juga diakibatkan oleh penunjukan nilai pada alat ukur yang tidak presisi akibat alat ukur sendiri juga mempunyai nilai keakuratan dan eror.

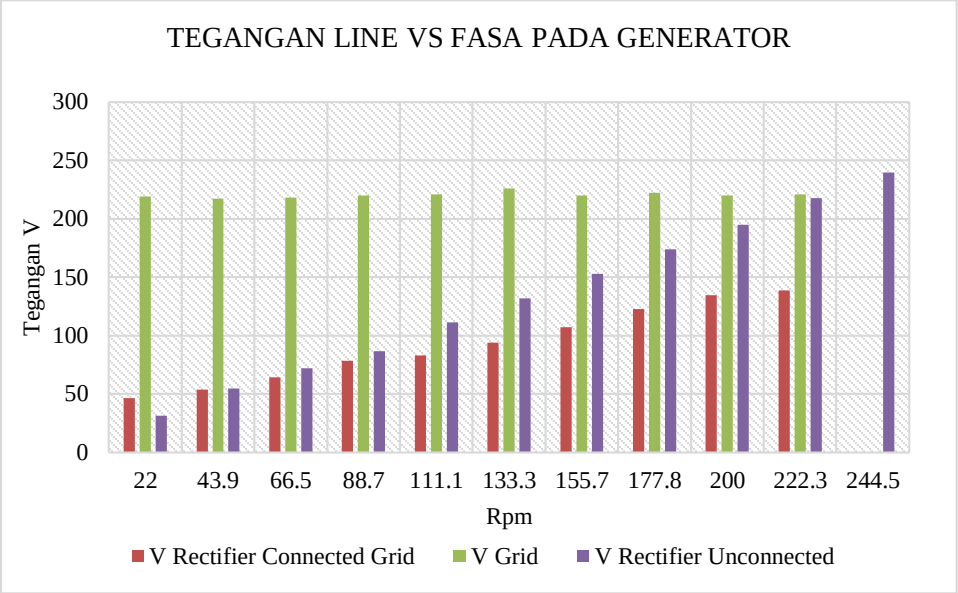
4.6 Sinkronisasi dan Respon GCI (*Grid Connected Inverter*)

Proses sinkoronisasi dalam energi listrik adalah cara untuk menggabungkan dan menghubungkan dua atau lebih sumber dengan menyamakan parameter-parameter tertentu yang bertujuan meningkatkan kapasitas dan keandalan sistem tenaga listrik itu sendiri. Pada sistem pembangkit, parameter yang harus sinkron adalah urutan fasa gelombang, tegangan dan frekuensi yang dalam hal ini telah terprogam pada GCI (*Grid Connected Inverter*). Data sinkronisasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data Konektifitas Sinkronisasi Grid

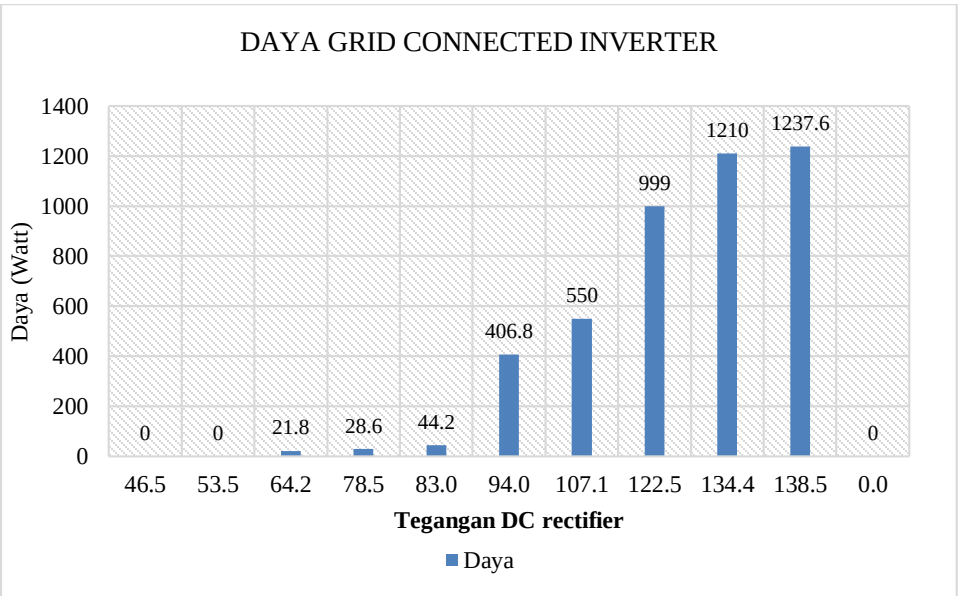
Frekuensi generator	V Rectifier Before	V Rectifier After	Frekuensi grid	Daya Tersimpan	V grid
14.7	31.3	46.5	-	-	219
15.4	54.7	53.5	49.9	0	217.1
17.6	72	64.2	50.04	21.8	218
19	86.7	78.5	50.01	28.6	220
19.8	111.2	83.0	49.94	44.2	221
20	131.8	94.0	50.02	406.8	226
20.1	152.6	107.1	49.94	550	220
22.2	173.7	122.5	49.96	999	222
25.1	194.9	134.4	50.01	1210	220
27	217.5	138.5	50.00	1237.6	221
28.3	239.5	-	-	-	-

GCI (*Grid Connected Inverter*) tidak akan bekerja atau merespon ketika tegangan kurang dari 50 V. Selain itu pada percobaan rpm 222.3 generator terjadi vibrasi dan jaringan mengalami trip. Hal ini dapat disebabkan oleh rangkaian sistem dengan pembebanan yang tidak seimbang yaitu hanya menggunakan satu fasa untuk sinkronisasi grid. Pada saat proses sinkronisasi terjadi turun tegangan output dari rectifier hal ini dapat disebabkan oleh pemasangan sambungan soket atau kabel yang kurang baik, penggunaan kabel yang terlalu panjang, arus listrik yang dibutuhkan besar, namun besar penampang kabel adalah berdiameter kecil. Secara keseluruhan semakin meningkat tegangan, maka drop tegangan akan bertambah. Karakteristik grafik yang ditunjukkan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.20 Grafik Tegangan GCI

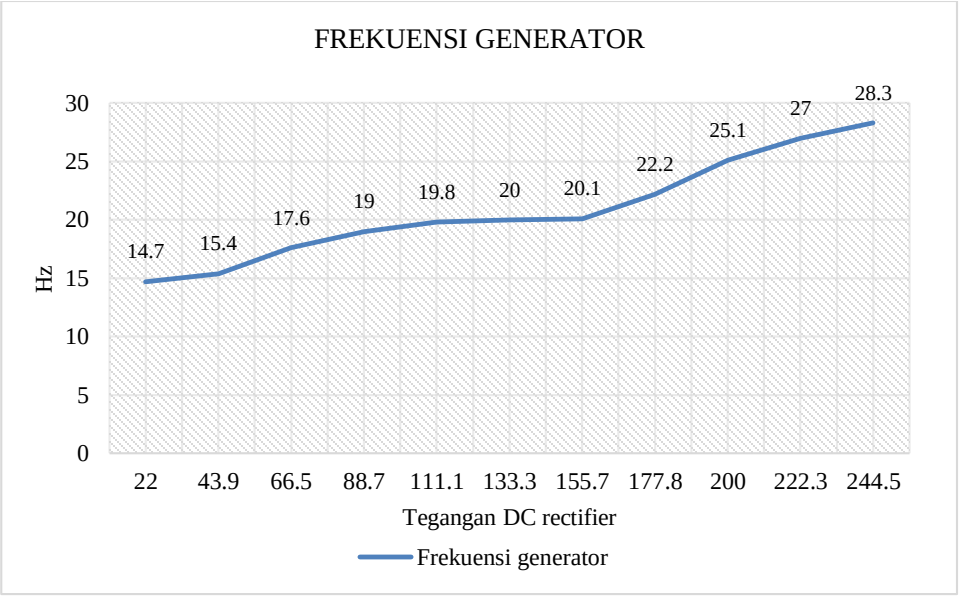
Pada grafik diatas menunjukkan tegangan yang konstan pada sisi grid. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa perubahan tegangan input yang masuk pada GCI tidak berpengaruh terhadap kestabilan tegangan yang dikeluarkan oleh output inverter.



Gambar 4.21 Grafik Output Power GCI

Daya yang dihasilkan oleh GCI (Grid Connected Inverter) adalah semakin meningkat. Pada putarang generator yang menghasilan tegangan 46.5 V dan 53.5 V tidak

menghasilkan daya dikarenakan inverter mempunyai tegangan minimum yang dapat diserap dan disinkronisasi terhadap grid. Pada grafik tersebut tegangan yang dapat disinkronisasi adalah lebih dari 53.5 V. Daya yang tersimpan ini dapat dimanfaatkan dan diteruskan ke beban. Daya tertinggi pada saat tegangan DC 138.5 adalah lebih kurang 1,24kW.

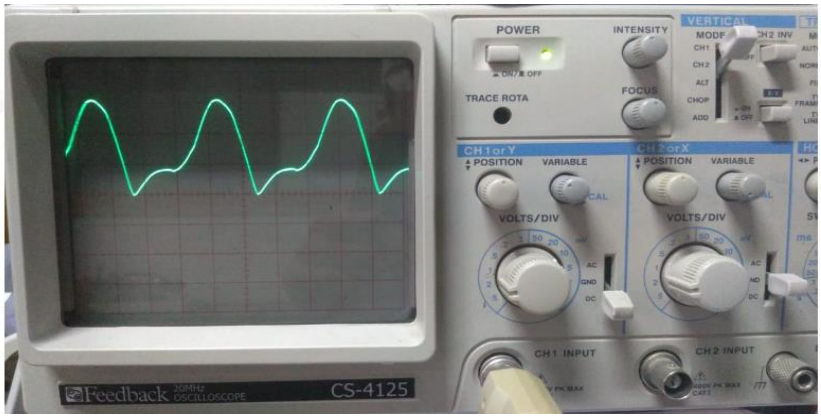


Gambar 4.22 Grafik Frekuensi Generator

Gambar 4.22 menunjukkan respon frekuensi dari output generator tanpa beban yaitu semakin bertambah seiring dengan peningkatan nilai putaran dari generator itu sendiri. Frekuensi tertinggi yaitu 28.3 pada putaran 245 rpm. Ketidak-linier-an ini dapat disebabkan oleh *human error* terhadap pembacaan angka pada alat ukur. Kondisi internal dari rangkaian sistem dan generator itu sendiri juga ikut berpengaruh terhadap keandalan suatu peralatan.

4.7 Respon Sinyal Output Rectifier pada Oscilloscope

Respon sinyal output adalah diukur berdasarkan tegangan yang keluar dari generator setelah disearahkan. Tegangan ini merupakan tegangan DC yang dihasilkan dari penyearahan gelombang menggunakan *full-wave rectifier* 1 fase. Tegangan tersebut dihubungkan melalui kabel menuju GCI. Berikut rinciannya:

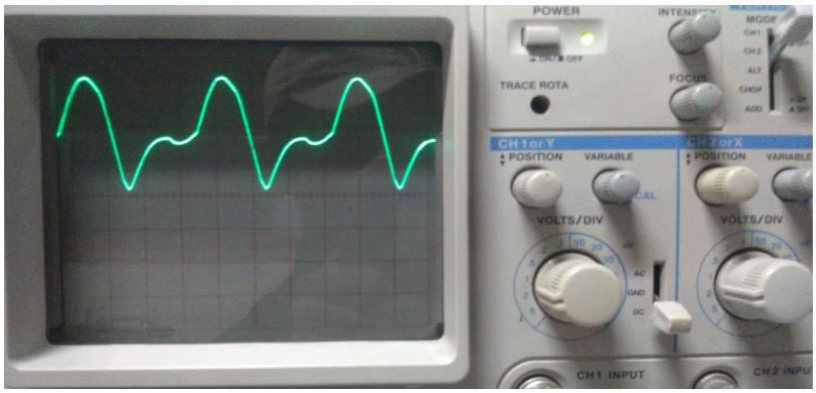


Gambar 4.23 Gelombang Rectifier Rpm 22

Volt/Div = 2; Div= 3
Probe = 10x
Vm $= \frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$
= 60 V

$V_{rms} = 0.707 \times V_m$
= 42.42 Volt

Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscope sebesar 60 Volt dan V_{rms} sebesar 42.4 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 4.1 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 46.5 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 3 Div, Volt per Div sebesar 2 dengan penguatan 10 kali.

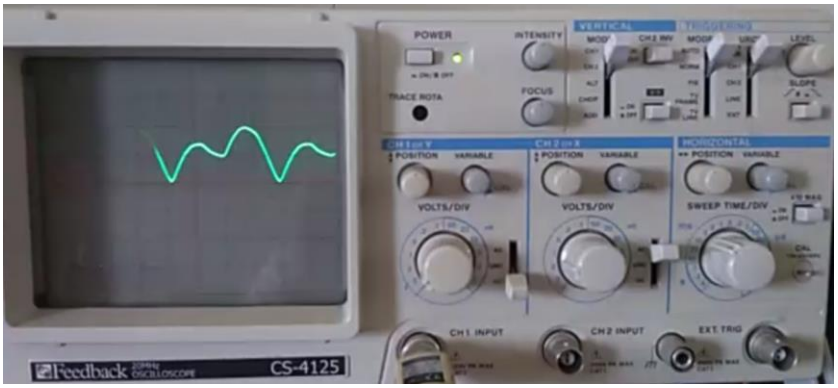


Gambar 4.24 Gelombang Rectifier Rpm 44

Volt/Div= 2; Div= 3.6
Probe = 10x
Hasil $= \frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$
= 72 V

$V_{rms} = 0.707 \times V_m$
= 50.9 Volt

Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscope sebesar 72 Volt dan V_{rms} sebesar 50.9 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 2.6 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 53.5 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 3.6 Div, Volt per Div sebesar 2 dengan penguatan 10 kali.



Gambar 4.25 Gelombang Rectifier Rpm 67

Volt/Div= 5; Div= 1.9

Probe = 10x

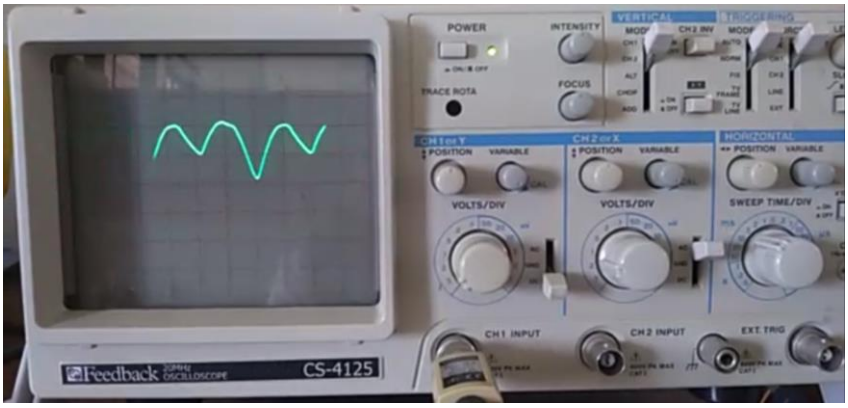
Hasil $= \frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$

= 95 V

$V_{rms} = 0.707 \times V_m$

= 67.12 Volt

Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscop sebesar 95 Volt dan V_{rms} sebesar 67.12 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 2.92 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 64.2 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 1.9 Div, Volt per Div sebesar 5 dengan penguatan 10 kali.



Gambar 4.26 Gelombang Rectifier Rpm 89

Volt/Div= 5; Div= 2.2

Probe = 10x

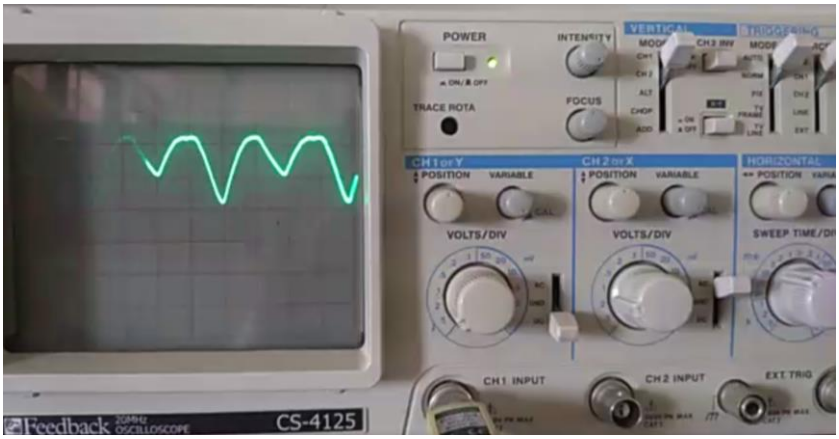
Hasil $= \frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$

= 110 V

$V_{rms} = 0.707 \times V_m$

= 77.8 Volt

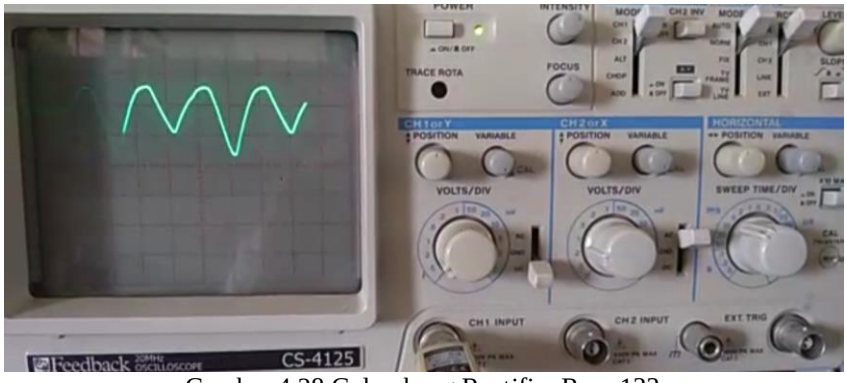
Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscop sebesar 110 Volt dan V_{rms} sebesar 77.8 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 0.7 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 78.5 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 2.2 Div, Volt per Div sebesar 5 dengan penguatan 10 kali.



Gambar 4.27 Gelombang Rectifier Rpm 111

Volt/Div= 5; Div= 2,4 $V_{rms} = 0.707 \times V_m$
Probe = 10x = 84.8 Volt
Hasil = $\frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$
= 120 V

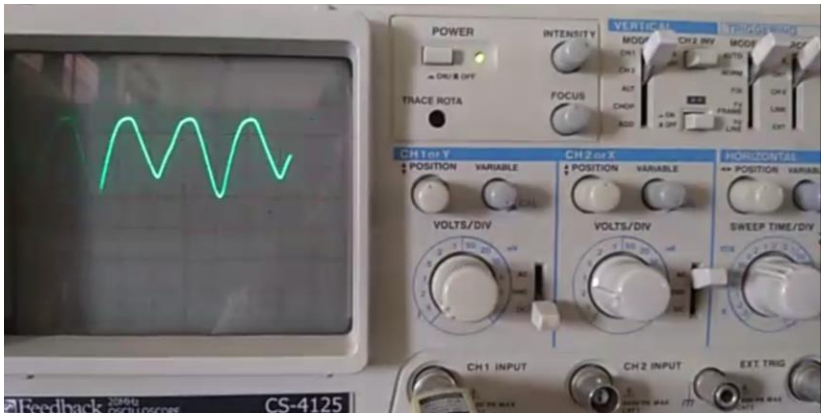
Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscop sebesar 120 Volt dan V_{rms} sebesar 84.8 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 1.8 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 83.0 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 2.4 Div, Volt per Div sebesar 5 dengan penguatan 10 kali.



Gambar 4.28 Gelombang Rectifier Rpm 133

Volt/Div= 5; Div= 2.6 $V_{rms} = 0.707 \times V_m$
Probe = 10x = 91.9 Volt
Hasil = $\frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$
= 130 V

Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscop sebesar 130 Volt dan V_{rms} sebesar 91.9 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 2.1 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 94 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 2.6 Div, Volt per Div sebesar 5 dengan penguatan 10 kali.



Gambar 4.29 Gelombang Rectifier Rpm 155

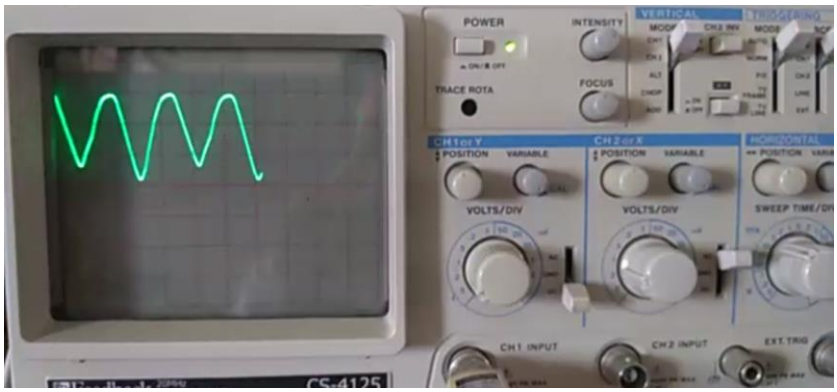
Volt/Div= 5; Div= 2.8 $V_{rms} = 0.707 \times V_m$

Probe = 10x = 99 Volt

Hasil = $\frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$

= 140 V

Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscop sebesar 140 Volt dan V_{rms} sebesar 99 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 8.1 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 107.1 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 2.8 Div, Volt per Div sebesar 5 dengan penguatan 10 kali.



Gambar 4.30 Gelombang Rectifier Rpm 178

Volt/Div= 5; Div= 3.2 $V_{rms} = 0.707 \times V_m$

Probe = 10x = 113.1 Volt

Hasil = $\frac{Volt}{Div} \times Div \times Penguatan\ Probe$

= 160 V

Tegangan puncak yang terukur pada oscilloscop sebesar 160 Volt dan V_{rms} sebesar 113.1 Volt dengan perbedaan tegangan sebesar 9.4 Volt dari tegangan yang terukur dengan alat ukur yaitu sebesar 122.5 Volt. Besar tegangan yang ditampilkan memiliki 3.2 Div, Volt per Div sebesar 5 dengan penguatan 10 kali.

Dari haril pengujian, didapatkan bentuk gelombang seperti diatas. Bentuk penyearah gelombang penuh satu fasa adalah kurang sempurna. Hal ini dapat disebabkan karena dioda memiliki nilai efisiensinya sendiri ketika melakukan proses bias yang dipengaruhi oleh jenis material dioda itu sendiri. Hali tersebut terbukti saat generator pada putaran rendah yaitu 22 rpm, menunjukkan fase negatif gelombang tidak sepenuhnya melakukan foward bias, sehingga membentuk bukit geombang yang kecil. Seiring dengan meningkatnya tegangan, *rectifier* atau penyearah gelombang penuh satu fasa perlahan membentuk kemiripan atau kesesuaian dengan gelombang *full-wave rectification* yang menggunakan empat buah dioda.

Ketika dioda diberi tegangan positif maka potensial positif yang ada pada plate akan menarik elektron yang terlepas dari katoda oleh karena emisi thermionic. Pada situasi inilah arus listrik akan terjadi. Besar arus listrik yang akan mengalir tergantung daripada besarnya tegangan positif yang dikenakan pada plate. Semakin besar tegangan plate akan semakin besar pula arus listrik yang akan mengalir. Tegangan jatuh pada fase *reverse bias* lebih besar diakibatkan oleh akumulasi dari tegangan jatuh maju (*foward voltage drop*) dengan tegangan jatuh mundur. Pada pengukuran gelombang *rectifier* berakhir pada rpm 200 dengan frekuensi motor 27 Hz. Hal ini disebabkan pada frekuensi motor 30 dengan putaran 222.3 rpm, sistem terjadi trip.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan dan analisis tentang tugas akhir yang berjudul Studi On-grid Sistem Pembangkit Listrik Energi Arus Laut Pada Skala Lab dapat disimpulkan bahwa:

1. Rangkaian sistem pembangkit listrik tenaga arus laut yang dapat dikoneksikan dengan grid adalah rangkaian pembangkit yang parameter outputnya sinkron terhadap grid yaitu meliputi frekuensi, tegangan, sudut fasa gelombang. Adapun rangkaian on-grid pembangkit listrik tenaga arus laut pada skala lab adalah dengan menggunakan generator yang terkopel dengan *pulley* atau turbin kemudian disearahkan dengan *full-wave rectifier* dan disambungkan menggunakan perangkat GCI yang telah terintegrasi grid. Adapun syarat sinkron ialah:

   Frekuensi sinkron : 49,5-50,5 Hz

   Tegangan sinkron : ± 3% (217 - 226)Vac

   Sudut fasa : 120°

2. Pengaruh perubahan rpm terhadap generator akan menyebabkan berubahnya parameter output dari generator itu sendiri. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.2.1.1, maka semakin meningkat putaran generator, maka frekuensi juga akan semakin besar. Ketika frekuensi bertambah maka tegangan yang dibangkitkan juga semakin besar juga hingga batas tertentu sesuai dengan spesifikasi generator tersebut.
3. Mengacu dari data percobaan yang telah dilakukan, perubahan output dari generator terhadap jaringan adalah ketika putaran rendah yaitu GCI (*Grid Connected Inverter*) tidak dapat mensinkronisasi antara sumber dari pembangkit dengan grid karena perangkat tersebut memiliki standar minimum tegangan yaitu lebih besar dari 53,5 V. Semakin bertambahnya tegangan output dari generator, maka semakin besar daya yang dihasilkan hingga batas tertentu sesuai spesifikasi GCI.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil percobaan rangkaian sistem pembangkit on-grid sistem pada skala lab, saran atau solusi yang dapat diberikan dari permasalahan yang timbul adalah sebagai berikut:

1. Perlunya pengaman jaringan yaitu OVR (*Over Voltage Relay*), OCR (*Over Current Relay*), UVR (*Under Voltage Relay*), RCR (*Reverse Current Relay*) serta MCB (*Miniatur Circuit Breaker*) atau MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*) ketika dilakukan pembebanan pada rangkaian yang lebih komplek misal pada jaringan on-grid tiga fasa di penelitian yang mendatang. Hal ini bertujuan mengamankan sistem

jaringan yang mungkin terjadi saat sinkronisasi dan pembebanan.

2. Perlunya sistem *grounding* yang baik untuk mencegah tegangan dan arus bocor pada sistem.
3. Pada saat sebelum melakukan pengujian harus mengikut SOP tentang apa saja yang harus dilakukan meliputi prosedur teknis dan non-teknis, demi keamanan dan keselamatan seorang penguji maupun alat yang akan diuji.
4. Perawatan dan pemeriksaan terhadap alat uji sangat diperlukan sebagai tindakan preventif untuk mencegah kerusakan atau degradasi performa dari suatu peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

ASPENCORE, "*Power Diodes and Rectifiers*," Agustus 2015. [*Online*].: https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_5.html [Diakses 11 Oktober 2019].

ASPENCORE, "*Three Phase Rectification*," *06 Desember 2019. [Online]. Available*: https://www.electronics-tutorials.ws/power/three-phase-rectification.html . [Diakses 14 12 2019].

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.

A, Fikry., Notosudjono, Didik., Suhendi, Didik. 2017. "Strategi Pengembangan Energi Terbarukan". *Jurnal Teknik.* Jakarta. Universitas Pakuan.

B. C. S. S. S. A. Ferreira, "Wave Energy Systems:An Overview of Different Wave Energy Converters And Recomendation For Future Improvements," dalam *University of Coimbra*, Portugal, 2016.

Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). 2019. "Ciptakan Pasar Energi, Salah Satu Upaya Pencaaian Target EBT 23%", http://ebtke.esdm.go.id/post/2019/12/09/2422/ciptakan.pasar.energi.salah.satu.upaya.pencapaian.target.ebt.23 .[diakses 11 Desember 2019].

F, Arif., Pramonohadi, Sasongko., Haryono,T. 2012. "Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadai Desa Mandiri Energi di Margajaya". *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika Volume 15 (hlm 22-34).* Yogyakarta. Universitas Gajah Mada

H. B. B. Rudy Setyabudi, "Analysis Characteristics of On/Off Grid Tie Inverter and," *Telkomnika*, vol. 11, pp. 441-450, 2013.

Kholiq, Imam.2015. "Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi BBM". *Jurnal IPTEK.* Surabaya. Universitas Wijaya Putra.

M. H. Rashid, Alternative Energy in Power Elektronic, Florida: Elsevier, 2015.

M. M. B. K. H. T. Jessica Eda, "Analisis Dampak Pemasangan Grid Tie Inverter," *Jurnal Elektro*, vol. 10 No 2, pp. 127-138, 2017.

P. Meisen, "Ocean Energy Technologies for Renewable Energy Generation," .dalam *Global Energy Network Institute*, 2009.

P. E. P. E. J. Enis, “Mechatronics , Electrical Power , and Vehicular Technology 500W RESIDENTIAL WIND GENERATOR,” vol. 3, pp. 95-102, 2012.

R. Wijaya, “Analysis Characteristics of On/Off Grid Tie Inverter and,”. Universitas Indonesia, Depok, 2012.

S. Nugraha, “Outlook Energi Indonesia,” Dewan Energi NAsional, Jakarta, 2016.
S. M. M. P. K. Takahashi, “Ocean Thermal energy Conversioan,” *Academic Press*, pp. 1993-1999, 2001.

Supian, Budi., F, Rian.2013. “Studi Pemanfaatan Arus Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif di Wilayah Selat Sunda”. *SETRUM Volume 2*. Cilegon. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

S. Electric, Altivar 61 Programming Manual, 2013.

Zeyringer, M., Fais, B., Price, J. 2017. “Renewable Energy”. *United Kingdom*:10.1016/j.renene.2017.07.092

LAMPIRAN

GINLONG

Wind Turbine Permanent Magnet Generator/ Alternator

Ginlong Technologies GL-PMG-3500

World Leading Professional Wind Turbine Parts Supplier

Electrical Specification

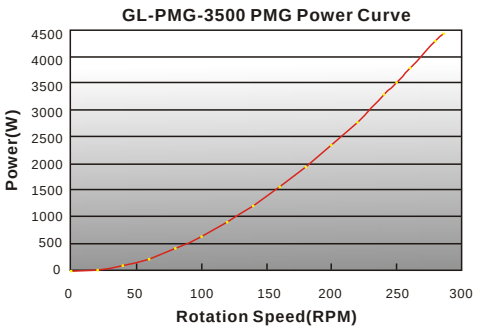
Rated Output Power(W):	3500
Rated Rotatoin Speed (RPM):	250
Recified DC Current at Rated Output (A):	11
Requied Torque at Rated Power (NM):	150
Phase Resistance (Ohms):	2.7
Output Wire Square Section (mm^2):	6
Output Wire Length (mm):	100
Insultation:	H Class
Generator configuration:	3 Phase star connected AC output
Design Lifetime:	>20 years

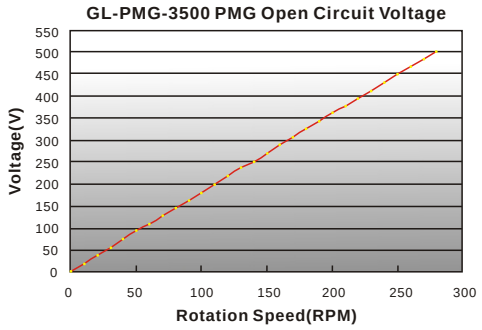
Mechanical Specification

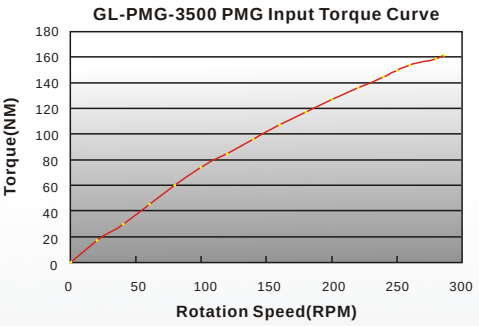
Mounting Type:	Horizontal
Weight (Kgs):	78
Starting Torque (NM):	<2.0
Rotor Inertia ($Kg.m^2$):	0.066
Bearing Type:	High standard NSK 6209DDU (Front) NSK 6309DDU (Rear)

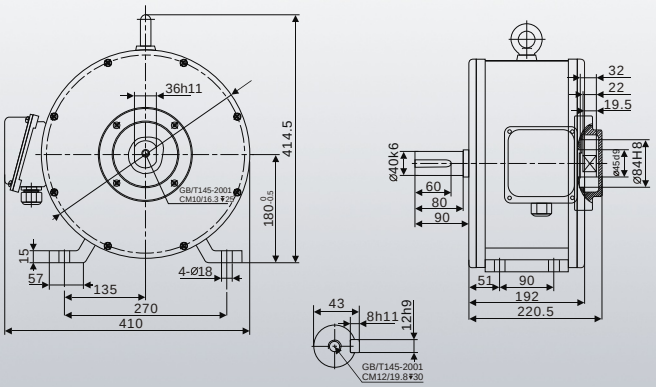
Material Specification

Shaft Material:	Nickle plated 40 Cr Steel with quenching and tempering treatment
Shaft Bearing:	High standard SKF or NSK bearing
Outer Frame Material:	Steel with anti-corrosion treatment
Fasteners (nuts and bolts):	High standard Stainless Steel
Windings Temperature Rating:	180 degrees Celsius
Magnet Material:	NdFeB (Neodymium Iron Boron)
Magnets Temperature Rating:	150 degrees Celsius
Lamination Stack:	High specification cold-rolled Steel









DataSheet

MDQ Series

Single-Phase Rectifier Bridges

Picture is MDQ200A

- Ratings from 10A to 200A @ 12-1600 VAC
- 2500 Volts isolated mounting base
- Strengthened current design for reliable industrial operations
- CE approved, EMC compliant.
- International standard package
- High thermal conductivity package, electrically insulated case
- Standard size for easy connections to thyristor & IGBT Modules

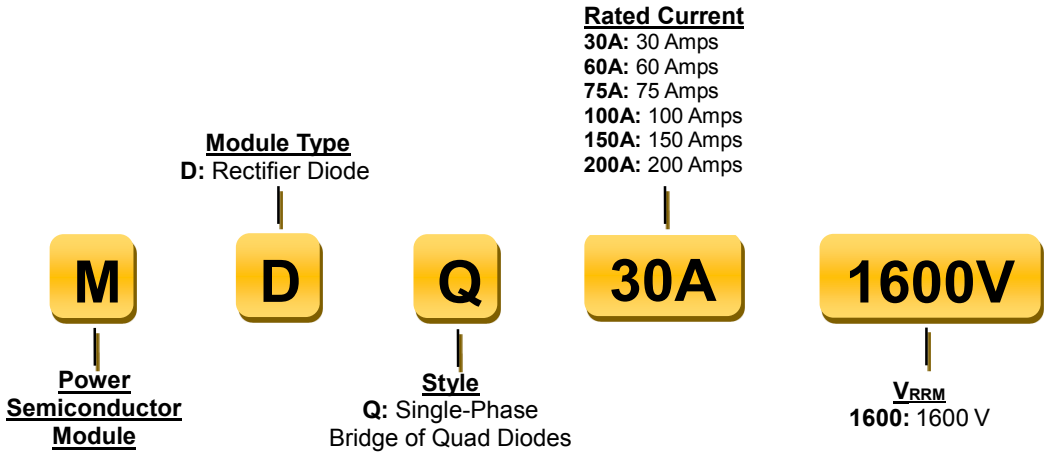
Typical Applications

- Supplies for DC power equipment
- DC supplies for PWM PWM inverter
- DC power supplies for battery
- Field Supplies for DC motors
- Soft start capacitor charging
- Electric drives and auxiliaries
- Inverter Welders
- Input Rectifiers for Switch mode power supply (SMPS)

PRODUCT SELECTION

Control Voltage	30A	60A	75A	100A	150A	200A
90-280 VAC	MDQ30A1600V	MDQ60A1600V	MDQ75A1600V	MDQ100A1600V	MDQ150A1600V	MDQ200A1600V

MODEL NAME DEFINITIONS



DataSheet

ELECTRICAL SPECIFICATIONS (1)

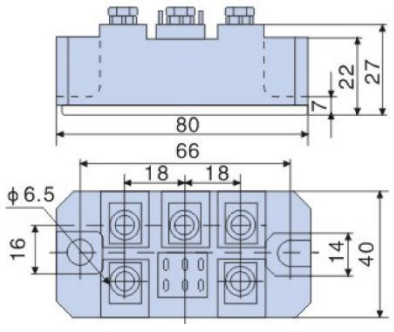
	Description	30A	60A	75A
I_O	DC Output Current @ T_j=150°C [Arms]	60	75	30
I_{RRM}	Max. Repetitive Peak Reverse Current [mArms]	10	10	10
I_{FSM}	Max. Peak, 1-Cycle Forward, Non-Repetitive Surge Current @ No Voltage Reapplied (10/8.3mSec) [Arms]	510/618	637/777	255/309
	Max. Peak, 1-Cycle Forward, Non-Repetitive Surge Current @ 100% VRRM Reapplied (10/8.3mSec) [Arms]	428/519	535/652	214/259
I^2t	Max. I^2t for Fusing @ No Voltage Reapplied (50/60Hz) [A² mSec]	1300/1584	2028/2505	325/396
	Max. I^2t for Fusing @ 100% V_{RRM} Reapplied (50/60Hz) [A² mSec]	915/1117	1431/1764	228/278
V_{FM}	Forward Voltage Drop @ I_{PK}=150 Arms [Vrms]	1.42	1.37	1.47
V_{TM}	Peak On-Stage Voltage [Vrms]	0.85	0.85	0.85
$R_{th(j-c)}$	Max. Thermal Resistance, Junction to Case [K/W]	0.76	0.6	1.4
$R_{th(c-h)}$	Max. Thermal Resistance, Case to Heatsink [K/W]	0.1	0.1	0.1
wt	Weight (Typical) [Gram]	175	190	185

	Description	100A	150A	200A
I_O	DC Output Current @ T_j=150°C [Arms]	100	150	200
I_{RRM}	Max. Repetitive Peak Reverse Current [mArms]	10	10	10
I_{FSM}	Max. Peak, 1-Cycle Forward, Non-Repetitive Surge Current @ No Voltage Reapplied (10/8.3mSec) [Arms]	850/1037	1270/1550	1700/2074
	Max. Peak, 1-Cycle Forward, Non-Repetitive Surge Current @ 100% VRRM Reapplied (10/8.3mSec) [Arms]	714/871	1066/1302	1428/1742
I^2t	Max. I^2t for Fusing @ No Voltage Reapplied (50/60Hz) [A² mSec]	3612/4462	8064/9970	14450/17851
	Max. I^2t for Fusing @ 100% V_{RRM} Reapplied (50/60Hz) [A² mSec]	2548/3148	5681/7035	10195/12593
V_{FM}	Forward Voltage Drop @ I_{PK}=150 Arms [Vrms]	1.35	1.32	1.3
V_{TM}	Peak On-Stage Voltage [Vrms]	0.80	0.75	0.85
$\theta_{(j-c)}$	Max. Thermal Resistance, Junction to Case [K/W]	0.45	0.30	0.25
$\theta_{(c-h)}$	Max. Thermal Resistance, Case to Heatsink [K/W]	0.05	0.05	0.05
wt	Weight (Typical) [Gram]	165	422	430

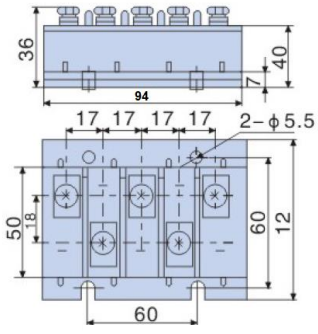
GENERAL SPECIFICATIONS(1)

	Description	Parameters
V_{RRM}	Max. Repetitive Peak Reverse Voltage [Vrms]	1600
V_{RSM}	Max. Repetitive Non-Peak Reverse Voltage [Vrms]	1760
V_{INS}	RMS Isolation Voltage to Case/Base	2500
$V_{F(TO)}$	Threshold Voltage @ 150°C [Vrms]	0.81-0.99
r_f	Forward Slope Resistance @ 150°C [mOhm]	4.37-6.8
T_J	Max. Junction Operating Temperature Range	-40 to 125 °C
Tstg	Max. Storage Temperature Range	-40 to 125 °C
cmatl	Case Material	UL 94 V-0
tmatl	Terminal Material	Nickelage

MECHANICAL SPECIFICATIONS



30A-100A



150A-200A

Unit of Length： Millimeters

TABEL PERCOBAAN RANGKAIAN ON-GRID SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT

No	Beban	Waktu (detik)	Frekuensi VSDC (Hz)	Rpm (motor)	Rpm (generator)	Tegangan (V) phase GN			Tegangan (V) Line GN RMS			Teg. Intput A Rectifier (V)	Teg. Output Rectifier Before		Teg. Intput A' Rectifier (V)	Teg. Output Rectifier After		Freq.Gen (Hz)	Frek Grid (Hz)	I Grid (A)	I Generator (A)	(V)GR 1p RN
						RN	SN	TN	RS	TS	RT		AC	DC		AC	DC					
1	TDK BERBEBAN		3	90	22	18.8	18.8	19.6	32.7	32.8	32.6	19.6	19.8	31.3	14.9	10.3	46.5	14.7	-	-	-	219
2			6	180	43.9	35.2	34	35.4	60.3	60.3	60.3	35.4	34.4	54.7	25.9	25.2	72.9	15.4	49.9	0	0	217.1
3			9	270	66.5	50.7	49.4	51.3	88.2	88.1	88.3	51.3	49.5	72	38.4	36.8	53.3	17.6	50.04	0	0.1	218
4			12	361	88.7	55.8	53.5	55.6	117.2	117.3	117.2	55.6	55.5	86.7	40.2	39.7	66	19.3	50.01	0	0.1	220
5			15	451	111.1	84.1	81.3	83.7	146.8	147.2	146.3	83.1	81.6	111.2	42.3	41.7	78.5	19.8	49.94	0	0.2	221
6			18	540	133.3	101.3	96.6	99.5	176.1	176.3	176.2	99.5	97.5	131.8	48.3	47.3	94	20	50.02	0	1.8	226
7			21	631	155.7	118.2	112.3	115.6	205.8	205.7	205.8	115.6	112.5	152.6	60	58.5	107.1	20.1	49.94	0	2.5	220
8			24	720	177.8	135.3	128.6	132	234.8	234.5	234.4	131.8	127.8	173.7	88.7	85.4	122.5	22.2	49.96	0	4.5	222
9			27	811	200	151.2	143.2	148.2	264.5	264.3	264.5	148.2	143.2	194.9	91.5	86.7	134.4	25.1	50.01	0	5.5	220
10			30	900	222.3	159.1	158.6	163.3	293.4	293.5	293.5	163.1	155.8	217.5	91.2	86.5	138.5	27	50	0	5.6	221
11			33	990	244.5	186.4	175	180.2	323	322.9	322.8	180.2	170.5	239.5	-	-	-	28.3		0		
12																						
13																						
14																						
15																						

TABEL PERCOBAAN RANGKAIAN ON-GRID SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT

No	Beban	Waktu (detik)	Frekuensi VSDC (Hz)	Rpm (motor)	Rpm (generator)	Tegangan (V) phase GN Peak			Tegangan (V) Line GN RMS			Teg. Output Rectifier (V)	Teg. Output Rectifier Before		Teg. Intput A' Rectifier (V)	Teg. Output Rectifier After		Freq.Gen (Hz)	Frek Grid (Hz)	I Grid (A)	I Generator (A)	(V)GR 1p RN
						RN	SN	TN	RS	TS	RT		AC	DC		AC	DC					
1	TDK BERBEBAN		3	90	22	18.8	18.8	19.6	32.7	32.8	32.6	19.6	19.8	31.3	14.9	10.3	46.5	14.7	-	-	-	219
2			6	180	43.9	35.2	34	35.4	60.3	60.3	60.3	35.4	34.4	54.7	25.9	25.2	72.9	15.4	49.9	0	0	217.1
3			9	270	66.5	50.7	49.4	51.3	88.2	88.1	88.3	51.3	49.5	72	38.4	36.8	53.3	17.6	50.04	0	0.1	218
4			12	361	88.7	55.8	53.5	55.6	117.2	117.3	117.2	55.6	55.5	86.7	40.2	39.7	66	19.3	50.01	0	0.1	220
5			15	451	111.1	84.1	81.3	83.7	146.8	147.2	146.3	83.1	81.6	111.2	42.3	41.7	78.5	19.8	49.94	0	0.2	221
6			18	540	133.3	101.3	96.6	99.5	176.1	176.3	176.2	99.5	97.5	131.8	48.3	47.3	94	20	50.02	0	1.8	226
7			21	631	155.7	118.2	112.3	115.6	205.8	205.7	205.8	115.6	112.5	152.6	60	58.5	107.1	20.1	49.94	0	2.5	220
8			24	720	177.8	135.3	128.6	132	234.8	234.5	234.4	131.8	127.8	173.7	88.7	85.4	122.5	22.2	49.96	0	4.5	222
9			27	811	200	151.2	143.2	148.2	264.5	264.3	264.5	148.2	143.2	194.9	91.5	86.7	134.4	25.1	50.01	0	5.5	220
10			30	900	222.3	159.1	158.6	163.3	293.4	293.5	293.5	163.1	155.8	217.5	91.2	86.5	138.5	27	50	0	5.6	221
11			33	990	244.5	186.4	175	180.2	323	322.9	322.8	180.2	170.5	239.5	-	-	-	28.3		0		
12																						
13																						
14																						
15																						

GINLONG

Hybrid Grid Tie Inverter

GCI-H Single Phase Inverter

Installation and Operation Manual

Ningbo Ginlong Technologies Co., Ltd.
No. 57 Jintong Road, Binhai Industrial Park,
Xiangshan, Ningbo, Zhejiang, 315712, P.R.China
Tel: +86 (0)574 6578 1806
Fax: +86 (0)574 6578 1606
Email: info@ginlong.com
Web: www.ginlong.com

Please record the serial number of your inverter and quote this when you contact us.

© 2014, Ningbo Ginlong Technologies Co., Ltd.

Ver 2.2

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

1. Introduction

1.2 Packaging

When you receive the inverter, please check if all the parts listed below are included:

1

2

3

4

5

6

7

Part NO.	Description	Number
1	Hybrid grid tie inverter	1
2	Wall mounting bracket	1
3	Locking screws	2
4	Expansion screws	4
5	AC connector	1
6	DC connectors	2 pairs
7	Manual	1

▲ Table 1.1 Material list

2.Safety Instructions

Improper use may result in potential electric shock hazards or burns. This manual contains important instructions that should be followed during installation and maintenance. Please read these instructions carefully before use and keep them for future reference.

2.1 Safety Symbols

Safety symbols used in this manual, which highlight potential safety risks and important safety information, are listed as follows:

WARNING:
WARNING symbol indicates important safety instructions, which if not correctly followed, could result in serious injury or death.

NOTE:
NOTE symbol indicates important safety instructions, which if not correctly followed, could result in some damage or the destruction of the inverter.

CAUTION:
CAUTION, RISK OF ELECTRIC SHOCK symbol indicates important safety instructions, which if not correctly followed, could result in electric shock.

CAUTION:
CAUTION, HOT SURFACE symbol indicates safety instructions, which if not correctly followed, could result in burns.

—

2.2 General Safety Instructions

WARNING:
Please don't connect PV array positive(+) or negative(-) to the ground, it could cause serious damage to the inverter.

WARNING:
Electrical installations must be done in accordance with the local and national electrical safety standards

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

2.Safety Instructions

WARNING:
To reduce the risk of fire, branch-circuit over-current protective devices (OCPD) are required for circuits connected to the Inverter.
The trip current for over current for AC and DC isolator is recommended to be 110%-125% of inverter rated current.
The rated voltage OCPD should be higher than local grid voltage.

CAUTION:
Risk of electric shock. Do not remove cover. There is no user serviceable parts inside. Refer servicing to qualified and accredited service technician.

CAUTION:
The PV array (Solar panels) supplies a DC voltage when it is exposed to light.

CAUTION:
Risk of electric shock from energy stored in capacitors of the Inverter. Do not remove cover until 5 minutes after disconnecting all sources of supply. Service technician only. Warranty may be voided if any unauthorized removal of cover.

CAUTION:
The surface temperature of the inverter can reach up to 75℃ (167 F).
To avoid risk of burns, do not touch the surface when inverter is operating.
Inverter must be installed out the reach of children.

2.3 Notice For Use

The inverter has been constructed according to the applicable safety and technical guidelines. Use the inverter in installations that meet the following sepcification ONLY:

1.Permanent installation is required.

2.The inverter must be connected to a separate grounded AC group, to which no other electrical equipment is connected.

3.The electrical installation must meet all the applicable regulations and standards.

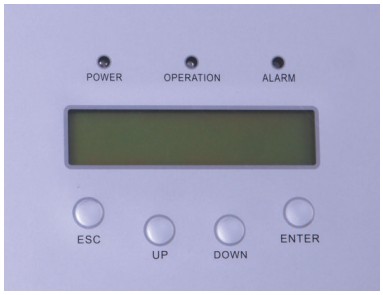
4.The inverter must be installed according to the instructions stated in this manual.

5.The inverter must be installed according to the technical specifications.

6.To startup the inverter, the Grid Supply Main Switch (AC) must be switched on before the DC isolator switched on. To stop the inverter, the Grid Supply Main Switch (AC) must be switched off before the DC isolator switched off.

3. Overview

3.1 Front Panel Display



▲ Figure 3.1 Front Panel Display

3.2 LED Status Indicator Lights

There are three LED status indicator lights in the front panel of the inverter. Left LED: POWER LED (red) indicates the power status of the inverter. Middle LED: OPERATION LED (green) indicates the operation status. Right LED: ALARM LED (yellow) indicates the alarm status. Please see Table 3.1 for details

Light	Status	Description
POWER	ON	The inverter can detect DC power
	OFF	No DC power or low DC power
OPERATION	ON	The inverter is operating properly.
	OFF	The inverter has stopped to supply power.
	FLASHING	The inverter is initializing.
ALARM	ON	Alarm or fault condition is detected.
	OFF	The inverter is operating properly.

▲ Table 3.1 Status Indicator Lights

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

4.3 Electrical Connections

The Inverter is designed for electrical connection without removing the cover. The meaning of the symbols located at the bottom of the inverter are listed in Table 4.1.All electrical installations must be in accordance with all local and national electrical codes .

+	Positive DC input terminal
-	Negative DC input terminal
DC 1	Wind input terminal
DC 2	PV input terminal
DC SWITCH	Switch of DC input(optional)
COM	Communication connection terminal (Optional)
GRID	Grid connection terminal

▲ Table 4.1 Terminals

The electrical connection of the inverter must follow the steps listed below:

1. Switch the Grid Supply Main Switch (AC) OFF.
2. Switch the Isolator OFF (for the inverter integrate with DC switch).
3. Connect PV and wind input of the Inverter.

Before connecting inverter, please make sure the maximum DC input voltage is within the limit of the inverter

Maximum 500Voc for

GCI-1K-2G-H GCI-2K-2G-H

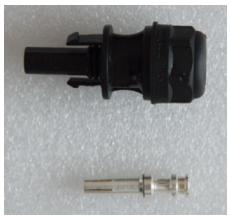
Maximum 600Voc for

GCI-3K-2G-H GCI-4K-2G-H GCI-5K-2G-H

4. Installation

Please don't connect PV array positive or negative pole to the ground, it could cause serious damages to the inverter

Before connection, please make sure the polarity of the output voltage matches the "DC+" and "DC-" symbols.



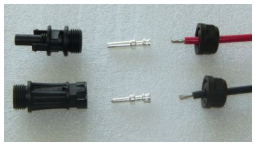
▲ Figure 4.3 DC+ Connector

▲ Figure 4.4 DC- Connector

Please use qualified DC cable for installation.

The steps to assemble the DC connectors are listed as follows:

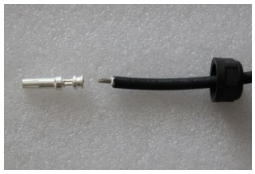
I) Strip off the DC wire for about 7mm, Disassemble the connector cap nut (see Figure 4.6).



▲ Figure 4.6 Disassemble the Connector Cap nut

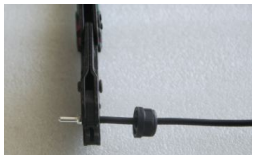
Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

ii) Insert the wire into the connector cap nut and contact pin as shown in Figure 4.7.



▲ Figure 4.7 Insert the Wire into the Connector Cap nut and contact pin

iii) Crimp the contact pin to the wire using a proper wire crimper as shown in Figure 4.8



▲ Figure 4.8 Crimp the contact pin to the wire

iv) Insert the contact pin to the top part of the connector and screw up the cap nut to the top part of the connector (as shown in Figure 4.8).

▲ Figure 4.9 Connector with Cap nut Screwed on

v) Then connect the DC connectors to the inverter. Small click will confirm connection (as shown in Figure 4.10).

▲ Figure 4.10 Connect the DC Connectors to the Inverter

WARNING:
Please make sure that DC 1 is connect to wind input, DC 2 is connect to PV input. Otherwise it could cause the inverter even the wind turbine damaged.

4. Connect the grid side of the Inverter.

For all AC connections, 2.5- 4mm^2 105 ℃ cable is required to be used. Please make sure the resistance of cable is lower than 1.5 ohm. If the wire is longer than 20m, it's recommended to use 4mm^2 cable.

WARNING:
There are "L" "N" "⏚" symbols marked inside the connector (see Figure 4.11), the Line wire of grid must be connected to "L" terminal; the Neutral wire of grid must be connected to "N" terminal; the Earth of grid must be connected to "⏚" (see Figure 4.11).

▲ Figure 4.11 AC Grid Terminal Connector Inside

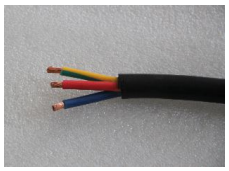
Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

Each inverter is supplied with an AC grid terminal connector, which is shown in Figure 4.12.

▲ Figure 4.12 AC Grid Terminal Connector

The steps to assemble the AC grid terminal connectors are listed as follows:

a) Disassemble the AC connector. Strip the AC wires about 6mm,



▲ Figure 4.13 Stripped AC Wires

b) Fix the green and yellow wire to the ground terminal. Fix the red(or brown) wire to L (line) terminal. Fix the blue wire to N(Neutral). Tight the screws on the connector (as shown in Figure 4.14). Please try to pull out the wire to make sure the it's well connected.

▲ Figure 4.14 Connect Wires to the Terminal

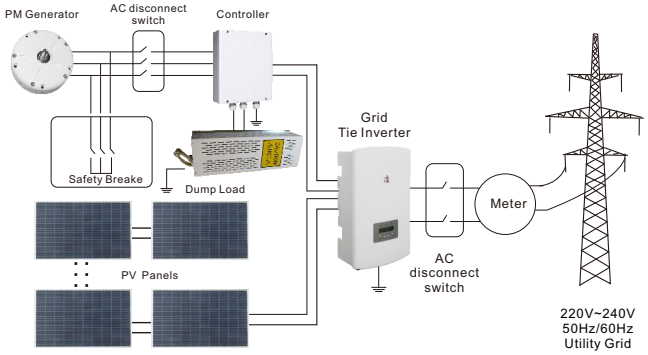
c) Tighten the cap nut to the terminal (as shown in Figure 4.15).

▲ Figure 4.15 Tight Up the Cap on the Terminal

d) Connect the AC grid terminal connector to the inverter. Small click will confirm connection (as shown in Figure 4.16).

▲ Figure 4.16 Connect the Terminal Connector to the Inverter

Drigram of hybrid system



▲ Figure4.18 Example of hybrid system connection

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

7. Maintenance

GCI Single Phase hybrid Inverter does not require any regular maintenance. However, cleaning the dust on heat-sink will help the inverter to dissipate the heat and increase its life time. The dust can be removed with a soft brush.

CAUTION:
Do not touch the inverter's surface when it is operating. Some parts of the inverter may be hot and cause burns. Turn off the inverter (refer to Section 5.2) and wait for a cool-down period before any maintenance or cleaning operation.

The LCD and the LED status indicator lights can be cleaned with a damp cloth.

NOTE:
Never use any solvents, abrasives or corrosive materials to clean the inverter.

8. Trouble Shooting

The inverter is designed in accordance with the most important international grid-tied standards and safety and electromagnetic compatibility requirements. Before delivering to the customer, the inverter has been subjected to several tests to ensure its optimal operation and reliability.

In case of failure, the LCD screen will display an alarm message. In this case, the inverter may stop feeding into the grid. The failure descriptions and their corresponding alarm messages are listed in Table 8.1:

8. Trouble Shooting

Alarm Message	Failure description
OV-G-V	Over grid voltage
UN-G-V	Under grid voltage
OV-G-F	Over grid frequency
UN-G-F	Under grid frequency
G-IMP	High grid impedance
NO-G	No grid
OV-DC	Over DC voltage
OV-BUS	Over DC bus voltage
UN-BUS	Under DC bus voltage
G-INTF.	Grid interference
INI-FAULT	Initialization system fault
OV-TEM	Over Temperature
GROUND-FAULT	Ground fault
ILeak-FAULT	High Grid leakage current
Relay-FAULT	Relay check fault
DCinj-FAULT	High DC injection current

▲ Table 8.1 Fault message and description

NOTE:
If the inverter displays any alarm message as listed in Table 8.1; please turn off the inverter (refer to Section 5.2 to stop your inverter) and wait for 5 minutes before restarting it (refer to Section 5.1 to start your inverter). If the failure persists, please contact your local distributor or the service center. Please keep ready with you the following information before contacting us.

1. Serial number of the Inverter;
2. The distributor/dealer of the Inverter (if available);
3. Installation date.
4. The description of problem (i.e. the alarm message displayed on the LCD and the status of the LED status indicator lights. Other readings obtained from the Information submenu (refer to Section 6.2) will also be helpful.);
5. System design for the solar PV array configuration (e.g. number of panels, capacity of panels, number of strings, etc.);
6. Your contact details.

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

9. Specifications

Model	GCI-1K-H		
Energy source	Wind channel	+	PV channel
The max DC input voltage	500V		
MPPT operation range	30-400V		70-400V
The max DC input current	10A		
Number of MPPT /strings per MPPT	1/1		
Rating output power	1kW		
The transient max power	1.1kW		
Rating grid voltage	230Vac		
The grid voltage range	180～270Vac(adjustable)		
Operation phase	Single phase		
Rating grid output current	4.3A		
Output power factor	>0.99		
Grid current THD	<4%(Total THd)		
The DC injection current	<20mA		
Rating grid frequency	50/60Hz		
Efficiency	>96%		
Protection	DC reverse-polarity protection; AC short circuit protection; islanding protection; temperature protection. Etc.		
Size(mm)	339W*565H*164D(mm)		
Weight	11.0kg		
Topology	Transformerless		
DC Switch	Optional		
Internal consumption	<6W(No Wind)		
Running temperature	-25～60℃		
Ingress protection	IP65		
Interface	RS485 WiFi/GPRS(Optional)		
Design lifetime	>20years		
Operating Range Utility Frequency	47-52 or 57-62Hz(adjustable)		
Utility Monitoring	Islanding protection V_{AC}, F_{AC} in accordance with UL 1741, G83/2, AS4777, VDE 0126-1-1		
Operation Surroundings Humidity	0～95%		
Noise emission(typical)	<30 dBA		
EMC	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007		

9. Specifications

Model	GCI-2K-H		
Energy source	Wind channel	+	PV channel
The max DC input voltage	500V		
MPPT operation range	30-400V		100-400V
The max DC input current	10A		
Number of MPPT /strings per MPPT	1/1		
Rating output power	2kW		
The transient max power	2.2kW		
Rating grid voltage	230Vac		
The grid voltage range	180～270Vac(adjustable)		
Operation phase	Single phase		
Rating grid output current	8.7kW		
Output power factor	>0.99		
Grid current THD	<4%(Total THd)		
The DC injection current	<20mA		
Rating grid frequency	50/60Hz		
Efficiency	>97%		
Protection	DC reverse-polarity protection; AC short circuit protection; islanding protection; temperature protection. Etc.		
Size(mm)	339W*565H*164D(mm)		
Weight	11.0kg		
Topology	Transformerless		
DC Switch	Optional		
Internal consumption	<6W(No Wind)		
Running temperature	-25～60℃		
Ingress protection	IP65		
Interface	RS485 WiFi/GPRS(Optional)		
Design lifetime	>20years		
Operating Range Utility Frequency	47-52 or 57-62Hz(adjustable)		
Utility Monitoring	Islanding protection V_{AC}, F_{AC} in accordance with UL 1741, G83/2, AS4777, VDE 0126-1-1		
Operation Surroundings Humidity	0～95%		
Noise emission(typical)	<30 dBA		
EMC	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007		

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

9. Specifications

Model	GCI-3K-H		
Energy source	Wind channel	+	PV channel
The max DC input voltage	600V		
MPPT operation range	30-540V		100-500V
The max DC input current	10A		
Number of MPPT /strings per MPPT	1/1		
Rating output power	3kW		
The transient max power	3.3kW		
Rating grid voltage	230Vac		
The grid voltage range	180～270Vac(adjustable)		
Operation phase	Single phase		
Rating grid output current	13A		
Output power factor	>0.99		
Grid current THD	<4%(Total THd)		
The DC injection current	<20mA		
Rating grid frequency	50/60Hz		
Efficiency	>97%		
Protection	DC reverse-polarity protection; AC short circuit protection; islanding protection; temperature protection. Etc.		
Size(mm)	339W*565H*172.5D(mm)		
Weight	14.5kg		
Topology	Transformerless		
DC Switch	Optional		
Internal consumption	<6W(No Wind)		
Running temperature	-25～60℃		
Ingress protection	IP65		
Interface	RS485 WiFi/GPRS(Optional)		
Design lifetime	>20years		
Operating Range Utility Frequency	47-52 or 57-62Hz(adjustable)		
Utility Monitoring	Islanding protection V_{AC}, F_{AC} in accordance with UL 1741, G83/2, AS4777, VDE 0126-1-1		
Operation Surroundings Humidity	0～95%		
Noise emission(typical)	<30 dBA		
EMC	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007		

9. Specifications

Model	GCI-4K-H		
Energy source	Wind channel	+	PV channel
The max DC input voltage	600V		
MPPT operation range	30-540V		100-500V
The max DC input current	15A		
Number of MPPT /strings per MPPT	1/1		
Rating output power	4kW		
The transient max power	4.4kW		
Rating grid voltage	230Vac		
The grid voltage range	180～270Vac(adjustable)		
Operation phase	Single phase		
Rating grid output current	17.4kW		
Output power factor	>0.99		
Grid current THD	<4%(Total THd)		
The DC injection current	<20mA		
Rating grid frequency	50/60Hz		
Efficiency	>97%		
Protection	DC reverse-polarity protection; AC short circuit protection; islanding protection; temperature protection. Etc.		
Size(mm)	339W*565H*164D(mm)		
Weight	15.5kg		
Topology	Transformerless		
DC Switch	Optional		
Internal consumption	<6W(No Wind)		
Running temperature	-25～60℃		
Ingress protection	IP65		
Interface	RS485 WiFi/GPRS(Optional)		
Design lifetime	>20years		
Operating Range Utility Frequency	47-52 or 57-62Hz(adjustable)		
Utility Monitoring	Islanding protection V_{AC}, F_{AC} in accordance with UL 1741, G59/2, AS4777, VDE 0126-1-1		
Operation Surroundings Humidity	0～95%		
Noise emission(typical)	<30 dBA		
EMC	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007		

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

9. Specifications

Model	GCI-5K-H		
Energy source	Wind channel	+	PV channel
The max DC input voltage	600V		
MPPT operation range	30-540V		100-500V
The max DC input current	15A		
Number of MPPT /strings per MPPT	1/1		
Rating output power	5kW		
The transient max power	5.5kW		
Rating grid voltage	230Vac		
The grid voltage range	180～270Vac(adjustable)		
Operation phase	Single phase		
Rating grid output current	21.7A		
Output power factor	>0.99		
Grid current THD	<4%(Total THd)		
The DC injection current	<20mA		
Rating grid frequency	50/60Hz		
Efficiency	>97%		
Protection	DC reverse-polarity protection; AC short circuit protection; islanding protection; temperature protection. Etc.		
Size(mm)	339W*565H*172.5D(mm)		
Weight	15.5kg		
Topology	Transformerless		
DC Switch	Optional		
Internal consumption	<6W(No Wind)		
Running temperature	-25～60℃		
Ingress protection	IP65		
Interface	RS485 WiFi/GPRS(Optional)		
Design lifetime	>20years		
Operating Range Utility Frequency	47-52 or 57-62Hz(adjustable)		
Utility Monitoring	Islanding protection V_{AC}, F_{AC} in accordance with UL 1741, G59/2, AS4777, VDE 0126-1-1		
Operation Surroundings Humidity	0～95%		
Noise emission(typical)	<30 dBA		
EMC	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007		

Downloaded from www.Manualslib.com manuals search engine

Altivar 61

Variable speed drives for synchronous and asynchronous motors

Programming manual

Retain for future use

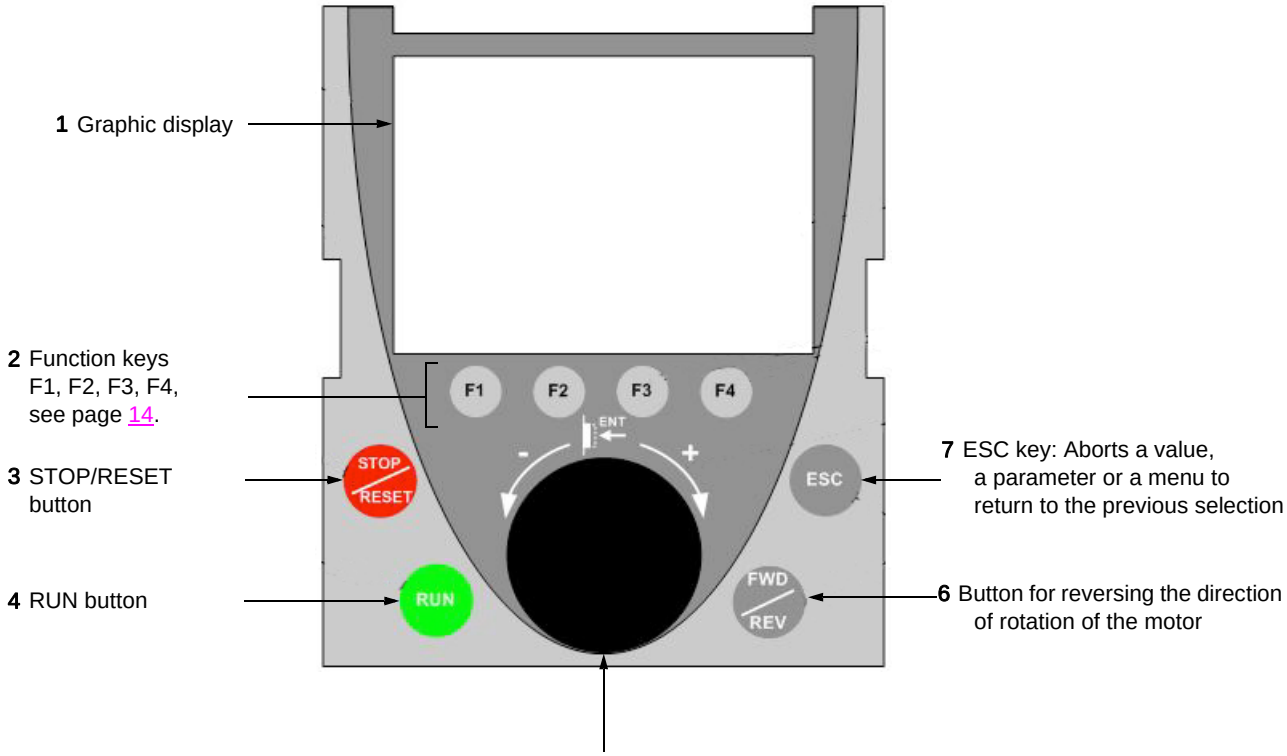
Software V1.6

Courtesy of Steven Engineering, Inc.-230 Ryan Way, South San Francisco, CA 94080-6370-Main Office: (650) 588-9200-Outside Local Area: (800) 258-9200-www.stevenengineering.com

Graphic display terminal

Although the graphic display terminal is optional for low-power drives, it is a standard component on high-power drives (see catalog). The graphic display terminal can be disconnected and connected remotely (on the door of an enclosure for example) using the cables and accessories available as options (see catalog).

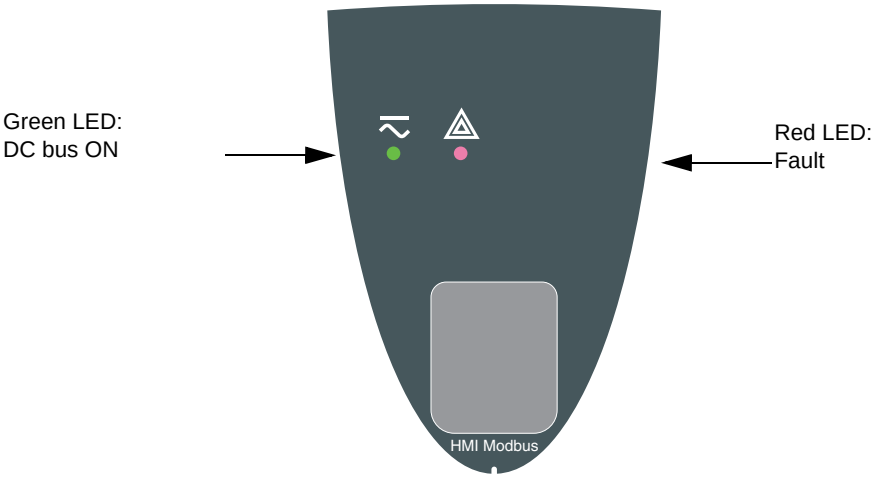
Description of the terminal



Note: Buttons **3**, **4**, **5** and **6** can be used to control the drive directly, if control via the terminal is activated.

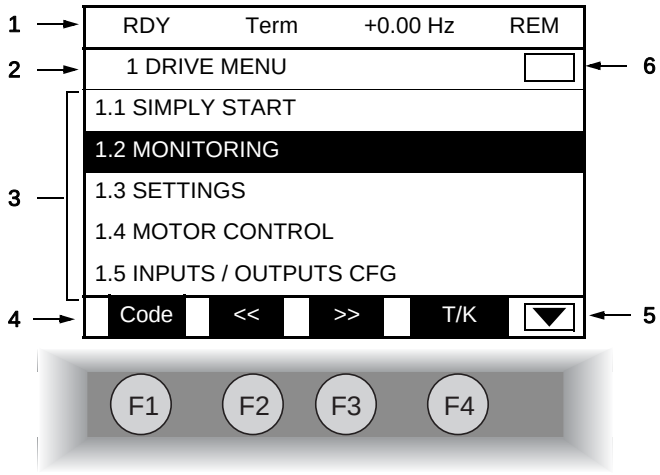
Disconnected terminal

When the terminal is disconnected, two LEDs become visible:



Courtesy of Steven Engineering, Inc.-230 Ryan Way, South San Francisco, CA 94080-6370-Main Office: (650) 588-9200-Outside Local Area: (800) 258-9200-www.stevenengineering.com

Description of the graphic screen



1. Display line. Its content can be configured; the factory settings show:
- The drive state (see page 15)
- The active control channel:
  - Term: Terminals
  - HMI: Graphic display terminal
  - MDB: Integrated Modbus
  - CAN: Integrated CANopen
  - NET: Communication card
  - APP: Controller Inside card
- Frequency reference
- LOC/REM: “LOC” appears if the command and reference are set via the graphic display terminal; otherwise, “REM” appears. This corresponds to the state selected by the [T/K] function key.

2. Menu line. Indicates the name of the current menu or submenu.

3. Menus, submenus, parameters, values, bar charts, etc., are displayed in drop-down window format on a maximum of 5 lines. The line or value selected by the navigation button is displayed in reverse video.

4. Section displaying the functions assigned to the keys F1 to F4 and aligned with them, for example:

- Code F1 : Displays the code of the selected parameter, i.e., the code corresponding to the 7-segment display.
- HELP F1 : Contextual help.
- << F2 : Navigate horizontally to the left, or go to previous menu/submenu or, for a value, go to the next digit up, displayed in reverse video (see the example on page 16).
- >> F3 : Navigate horizontally to the right or go to next menu/submenu (going to the [2 ACCESS LEVEL] menu in this example) or, for a value, go to the next digit down, displayed in reverse video (see the example on page 16).
- T/K F4 : Command and reference via the terminal, see page 120.

The function keys are dynamic and contextual.
Other functions (application functions) can be assigned to these keys via the [1.6 COMMAND] menu.

5. Indicates that there are no more levels below this display window.
Indicates that there are more levels below this display window.

6. Indicates that there are no more levels above this display window.
Indicates that there are more levels above this display window.

Courtesy of Steven Engineering, Inc.-230 Ryan Way, South San Francisco, CA 94080-6370-Main Office: (650) 588-9200-Outside Local Area: (800) 258-9200-www.stevenengineering.com

Quick navigation

In order to access this function you must first reassign the F4 key, which is assigned by default to control via the terminal (T/K) (see page 120). If the “Quick” function is displayed above the F4 key, you can gain quick access to a parameter from any screen.

Example:

RDY	Term	+0.00 Hz	REM
1.4 MOTOR CONTROL			
Standard mot. freq:		5 0 Hz IEC	
Rated motor power:		0.37 kW (0.5 HP)	
Rated motor volt.:		206 V	
Rated mot. current:		1.0 A	
Rated motor freq.:		50.0 Hz	
Code	<<	>>	Quick

Press F4 to access the Quick screen, which contains 4 selection options.

- [HOME]: Return to [MAIN MENU].

RDY	Term	+0.00 Hz	REM
QUICK NAVIGATION			
RETURN TO MAIN MENU			
DIRECT ACCESS TO...			
10 LAST MODIFICATIONS			
GOTO MULTIPOINT SCREEN			
Code			

ENT

RDY	Term	+0.00 Hz	REM
MAIN MENU			
1 DRIVE MENU			
2 ACCESS LEVEL			
3 OPEN / SAVE AS			
4 PASSWORD			
5 LANGUAGE			
Code			Quick

See page 236

- [DIRECT ACCESS TO...]: Opens the direct access window, which will contain the text “1”. The function keys << and >> (F2 and F3) can be used to select each of the numbers and the navigation button to increment or decrement the numbers: 1.3 in the example below.

RDY	Term	+0.00 Hz	REM
DIRECT ACCESS TO...			
1.3			
SETTINGS			
<<	>>		

ENT

RDY	Term	+0.00 Hz	REM
1.3 SETTINGS			
Ramp increment:			01
Acceleration			9.51 s
Deceleration:			9.67 s
Acceleration 2:			12.58 s
Deceleration 2:			13.45 s
Code	<<	>>	Quick

- [10 LAST MODIFICATIONS]: Opens a window in which the last 10 parameters modified can be accessed directly.

RDY	Term	+0.00 Hz	REM
10 LAST MODIFICATIONS			
Acceleration:		10 s	
Speed prop. gain:		25%	
Rated mot. current:		15 A	
Preset speed 4:		20 Hz	
Preset speed 5:		30 Hz	
Code			

ENT

ESC

RDY	Term	+0.00 Hz	REM
Rated mot. current			
15.0 A			
<<	>>		

Courtesy of Steven Engineering, Inc.-230 Ryan Way, South San Francisco, CA 94080-6370-Main Office: (650) 588-9200-Outside Local Area: (800) 258-9200-www.stevenengineering.com

BIOGRAFI PENULIS

Penulis merupakan mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember periode lintas jenjang 2017. Penulis lahir pada tanggal 27 Oktober 1996 dari Kabupaten Blitar, yang melanjutkan studinya dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pada saat penyusunan tugas akhir ini, penulis tertarik terhadap konsep energi terbarukan yang dapat diimplementasikan di Indonesia. Sehingga dapat mendorong minat untuk beralihnya energi tak terbarukan ke energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.