



**SKRIPSI – ME141501**

**PERANCANGAN SISTEM KELISTIKAN PADA PEMBANGKIT  
LISTRIK ALTERNATIF MEMANFAATKAN SISTEM KOMBINASI  
ANTARA TURBIN *HELIX*, KINCIR *SAVONIUS* SERTA  
*CONNECTED SURFACE BUOY SYSTEM***

Moh. Eko Cahyono  
NRP 04211440000033

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng  
Juniarko Prananda, S.T., M.T

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**





SKRIPSI - ME 141501

**PERANCANGAN SISTEM KELISTIKAN PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK ALTERNATIF MEMANFAATKAN  
SISTEM KOMBINASI ANTARA TURBIN *HELIX*, KINCIR  
*SAVONIUS* SERTA *CONNECTED SURFACE BUOY SYSTEM***

Moh. Eko Cahyono  
NRP 0421144000002

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng.  
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



SKRIPSI - ME 141501

**DESIGNING ELECTRICAL SYSTEM ON ALTERNATIVE POWER  
PLANT USING COMBINATION SYSTEM BETWEEN HELIX  
TURBINE, SAVONIUS WIND TURBINE AND CONNECTED  
SURFACE BUOY SYSTEM**

Moh. Eko Cahyono  
NRP 0421144000033

Supervisors  
Dr. Ir. A.A. Masroeri., M.Eng  
Juniarko Prananda., S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN SISTEM KELISTIKAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK ALTERNATIF MEMANFAATKAN SISTEM KOMBINASI ANTARA TURBIN *HELIX*, KINCIR *SAVONIUS* SERTA *CONNECTED SURFACE* *BUOY SYSTEM*

#### 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 Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Moh. Eko Cahyono**  
**NRP. 0421144000033**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Ir. A.A. Masroeri., M.Eng  
NIP. 195808071984031004

Juniarko Prananda., S.T., M.T  
NIP. 1990060520150410001



Surabaya,  
Juli 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN SISTEM KELISTIKAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK ALTERNATIF MEMANFAATKAN SISTEM KOMBINASI ANTARA TURBIN *HELIX*, KINCIR *SAVONIUS* SERTA *CONNECTED SURFACE* *BUOY SYSTEM*

#### 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 Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Moh. Eko Cahyono**  
NRP. 0421144000033

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **Perancangan Sistem Kelistrikan Pada Pembangkit Listrik Alternatif Memanfaatkan Sistem Kombinasi Antara Turbin *Helix*, Kincir *Savonius* Serta *Connected Surface Buoy system***

**Nama Mahasiswa** : Moh. Eko Cahyono  
**NRP** : 0421144000033  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng  
**Dosen Pembimbing 2** : Juniarko Prananda, S.T., M.T

## **Abstrak**

Masih banyak daerah di Indonesia yang masih belum mendapatkan suplai energi listrik, terutama di Indonesia di bagian timur. Masih ada daerah di Indonesia bagian timur yang memiliki rasio *elektrifikasi* di bawah 60%. Selain itu, hingga April 2016, masih ada 12.659 desa tertinggal di Indonesia yang belum memiliki akses penuh ke listrik selama 24 jam, sementara 2.519 desa belum sepenuhnya listrik (Kementerian ESDM, 2016). Dengan letak geologis Indonesia yang merupakan negara kepulauan, Indonesia dapat memanfaatkan potensi energi baru dan terbarukan dari arus laut, angin laut dan ombak. Tercatat, potensi arus samudra terkuat di Indonesia ada di Selat Capalulu, Provinsi Maluku Utara, dengan kecepatan 5,0 m / detik (PPGL, 2016). Sementara potensi angin laut Indonesia di beberapa daerah memiliki kecepatan angin di atas 5 m / s, di Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan dan Selatan Jawa Jawa (LIPI, 2007). Berdasarkan data tersebut maka didesain pembangkit listrik terintegrasi yang menggabungkan Turbin *Helix*, kincir *Savonius* dan *Connected Surface Buoy System*. Potensi daya yang dihasilkan pada pembangkit mencapai 5,8 mW (Mubarok, 2018). Agar daya yang dihasilkan tersebut dapat digunakan oleh penduduk di darat maka didesain sistem kelistrikan pada pembangkit. Perancangan sistem kelistrikan tersebut bertujuan untuk mengalirkan daya yang dihasilkan pembangkit sampai ke konsumen di darat. Berdasarkan sistem kelistrikan yang didesain maka total daya yang bisa digunakan sampai di konsumen adalah 4,341 mW sehingga bisa mensuplai lebih dari 4800 rumah di Indonesia (asumsi setiap rumah menggunakan 900 watt). Dengan demikian diharapkan pembangkit ini dapat segera diterapkan untuk mengatasi permasalahan energi listrik di Indonesia.

Kata kunci : Energi listrik, Pembangkit, Sistem kelistrikan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **Designing Electrical System on Alternative Power Plant Using Combination System between Helix Turbine, Savonius Wind Turbine and Connected Surface Buoy System**

**Name of Student** : Moh. Eko Cahyono  
**NRP** : 0421144000033  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor 1** : Dr. Ir. A.A. Masroeri., M.Eng  
**Supervisor 2** : Juniarko Prananda., S.T., M.T.

## **Abstract**

There are still many areas in Indonesia that do not get electrical energy supply, especially especially in eastern Indonesia. There are still areas in eastern Indonesia that have electrification ratio below 60%. In addition, as of April 2016, there are still 12,659 disadvantaged villages in Indonesia that have not had full access to electricity for 24 hours, while 2,519 villages have not been fully electricity (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2016). With the geological position of Indonesia which is an archipelagic country, Indonesia can exploit new and renewable energy potential from ocean currents, sea breezes and waves. Recorded, the strongest ocean current potential in Indonesia is in the Capalulu Strait, North Maluku Province, with a speed of 5.0 m / sec (PPGL, 2016). While the potential of Indonesia's sea wind in some areas has wind speeds above 5 m / s, in East Nusa Tenggara, West Nusa Tenggara, South Sulawesi and South Java (LIPI, 2007). Based on these data, it is designed an integrated power plant that combines Helix Turbines, Savonius Turbine and Connected Surface Buoy System. The potential power generated at the plant reaches 5.8 mW (Mubarok, 2018). In order for the power generated by power plant can be used by residents on land then we designed electrical system at the power plant. The design of the electrical system aims to distribute power generated by power plant to the consumer on land. Based on the designed electrical system, the total power that can be used up to the consumer is 4.341 mW so that it can supply more than 4800 homes in Indonesia (assuming every house uses 900 watts). We expected that this power plant can be implemented immediately to solve the problem of electrical energy in Indonesia.

**Keywords** : Electrical energy, Power plant, electrical system

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan kesehatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Perancangan Sistem Kelistikan Pada Pembangkit Listrik Alternatif Memanfaatkan Sistem Kombinasi Antara Turbin *Helix*, Kincir *Savonius* Serta *Connected Surface Buoy system*”** dengan baik dan tepat waktu.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan senantiasa membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Ucapan teimakasih ini, penulis tujukan kepada :

1. Kedua orang tua penulis dan keluarga besar, Ibu Khotimah dan Bapak Kasidi, yang selalu memberikan doa, semangat, dan motivasi kepada penulis
2. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, ST., MT selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan
3. Bapak Ir. A.A. Masroeri.,M.Eng. dan Bapak Juniarko Prananda, ST.,MT., selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan kritik, saran, dan motivasi kepada penulis demi kelancaran pengerjaan skripsi ini
4. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen wali penulis selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan
5. Seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
6. Teman-teman Lab MEAS seperjuangan yang selalu memberikan tawa dan candaan sepanjang hari
7. Teman-teman Mercusuar seperjuangan yang saling membantu, menyamangati dan mengingatkan di dunia perkuliahan ini
8. Pihak-pihak lainnya yang sangat berperan dalam penyelsaian skripsi ini.

Surabaya, Juli 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Potensi Energi Laut Indonesia.....	5
2.2 Pembangkit energi alternatif kombinasi antara turbin <i>helix</i> , kincir <i>savonius</i> serta <i>Connected Surface Buoy system</i> .....	6
2.3 Generator listrik.....	7
2.4 Pararel Generator.....	7
2.5 Sistem Transmisi Tenaga Listrik.....	10
2.6 Transformator.....	11
2.6.1 Bagian-bagian Transformator.....	12
2.6.2 Prinsip Kerja Transformator.....	12
2.6.3 Jenis-Jenis Transformator.....	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Studi Literatur.....	18
3.2 Pengumpulan Data.....	18
3.3 Perencanaan sistem kelistrikan pada pembangkit.....	18
3.4 Perhitungan sistem kelistrikan yang di rancang.....	18
3.5 Penggambaran layout sistem kelistrikan.....	18
3.6 Penempatan sistem kelistrikan yang di rancang.....	18
3.7 Analisa hasil desain sistem kelistrikan.....	18
3.8 Kesimpulan dan Saran.....	19
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Data Pembangkit Energi Alternatif.....	21
4.1.1 Ukuran Utama (Principal Dimension) Pembangkit Energi alternatif....	21
4.1.2 General Arrangement Pembangkit Energi alternatif.....	22
4.1.3 Spesifikasi generator.....	25
4.2 Wiring Diagram.....	27
4.2.1 Kabel dan Pengamannya.....	27
4.2.2 Busbar.....	28
4.2.3 Transformator.....	29
4.3 <i>Variable Frequency Drive (VFD)</i> .....	30

4.4	Load Share .....	31
4.5	Single line diagram .....	32
4.6	Simulasi <i>Load Flow Analysis</i> .....	34
4.7	Analisa Hasil Simulasi <i>Load Flow Analysis</i> .....	36
4.8	Penggambaran Layout Sistem Kelistrikan .....	36
4.9	Analisa Stabilitas Pembangkit Energi Alternatif .....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		41
5.1	Kesimpulan .....	41
5.2	Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA.....		43

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b>	Rasio Elektrifikasi Indonesia Tahun 2016.....	1
<b>Gambar 2.1.</b>	Desain Rancangan Pembangkit Terapung .....	6
<b>Gambar 2.2.</b>	Generator Listrik pada Pembangkit .....	7
<b>Gambar 2.3.</b>	Skema Sinkronoskop Lampu Gelap .....	8
<b>Gambar 2.4.</b>	Skema Sinkronoskop Lampu Terang.....	9
<b>Gambar 2.5.</b>	Skema Sinkronoskop Lampu terang gelap .....	9
<b>Gambar 2.6.</b>	Transformator .....	12
<b>Gambar 2.7.</b>	Bagian – Bagian Transformator.....	12
<b>Gambar 2.8.</b>	Prinsip kerja transformator .....	13
<b>Gambar 2.9.</b>	Transformator step up.....	14
<b>Gambar 2.10.</b>	Transformator step down .....	14
<b>Gambar 2.11.</b>	Transformator Auto transformator .....	15
<b>Gambar 2.12.</b>	Transformator 3 fasa.....	15
<b>Gambar 3. 1.</b>	Metodelogi Penelitian.....	17
<b>Gambar 4. 1.</b>	Desain Rancangan Pembangkit Terapung .....	21
<b>Gambar 4.2.</b>	Tampak Atas Pembangkit.....	22
<b>Gambar 4.3.</b>	Tampak Samping Pembangkit.....	23
<b>Gambar 4.4.</b>	<i>General Arregement deck A</i> .....	23
<b>Gambar 4.5.</b>	<i>General Arregement main deck</i> .....	24
<b>Gambar 4.6.</b>	<i>General Arregement deck B</i> .....	24
<b>Gambar 4.7.</b>	<i>General Arregement deck C</i> .....	25
<b>Gambar 4.8.</b>	Spesifikasi generator untuk turbin <i>Helix</i> .....	26
<b>Gambar 4.9.</b>	Spesifikasi generator untuk kincir <i>savonius</i> .....	26
<b>Gambar 4.10.</b>	Spesifikasi generator untuk <i>connected surface buoy system</i> .....	27
<b>Gambar 4.11.</b>	kabel dan pengaman .....	28
<b>Gambar 4.12.</b>	Busbar .....	29
<b>Gambar 4.13.</b>	Transformator .....	29
<b>Gambar 4.14.</b>	Wiring Diagram sistem kelistrikan .....	30
<b>Gambar 4.15.</b>	<i>Variable Frequency Drive (VFD)</i> .....	30
<b>Gambar 4.16.</b>	Spesifikasi <i>Variable Frequency Drive (VFD)</i> .....	31
<b>Gambar 4.17.</b>	Diagram Karakteristik Frekuensi Terhadap Daya Dua Genset.....	32
<b>Gambar 4.18.</b>	<i>Load Sharer</i> .....	32
<b>Gambar 4.19.</b>	Single Line Diagram.....	33

**Gambar 4.20.** *Load Flow Analysis* ..... 34  
**Gambar 4.21.** Layout sistem Kelistrikan pada Pembangkit Energi Alternatif..... 37  
**Gambar 4.22.** grafik stabilitas..... 39

## DAFTAR TABEL

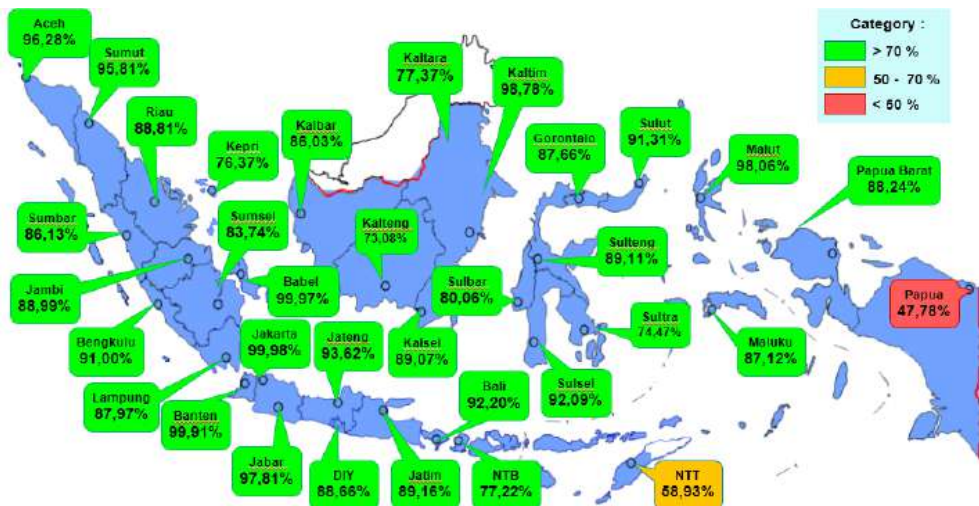
<b>Tabel 2.1</b> Data Potensi Daya Listrik Energi Laut .....	5
<b>Tabel 2.2</b> Potensi daya yang dihasilkan.....	6
<b>Tabel 4.1</b> Data <i>Principal Dimension</i> Pembangkit Energi alternatif .....	22
<b>Tabel 4.2</b> Pemilihan kabel pengaman .....	27
<b>Tabel 4.3</b> Pemilihan Busbar.....	28
<b>Tabel 4.4.</b> <i>Load Flow Report</i> .....	32
<b>Tabel 4.5</b> Branch Loading Summary Report.....	33
<b>Tabel 4.6</b> Branch Losses Report .....	33
<b>Tabel 4.7</b> Tabel loadcase .....	35
<b>Tabel 4.8</b> Tabel Trim pembangkit .....	36

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Energi listrik telah banyak dimanfaatkan untuk mempermudah hidup manusia. Maka, pada zaman modern ini kebutuhan akan listrik di Indonesia sangat besar. Kementerian ESDM mencatat bahwa konsumsi energi listrik sebesar 216 terawatt hour sepanjang tahun 2016. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut terpasang pembangkit tenaga listrik mencapai 55.528 megawatt (Kementerian ESDM, 2016). Meskipun dengan besarnya daya yang bisa dihasilkan oleh pembangkit tersebut masih banyak daerah-daerah di Indonesia yang belum bisa mendapatkan aliran listrik, terutama di daerah Indonesia bagian timur. Hal ini berdasarkan peta rasio elektrifikasi Indonesia tahun 2016 yang dikeluarkan oleh Kementerian ESDM. Gambar tersebut dapat dilihat pada gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1.2. Rasio Elektrifikasi Indonesia Tahun 2016

Sumber : (Kementerian ESDM, 2016)

Dari gambar 1.1 dapat dilihat bahwa Indonesia bagian timur masih kekurangan listrik atau disebut krisis energi listrik. Masih terdapat daerah di Indonesia bagian timur masih memiliki rasio elektrifikasi rendah yaitu Nusa Tenggara Timur (58,93%), Sulawesi Tenggara (74,47%) serta Papua dan Irian Barat (47,78%). Selain itu, hingga April 2016, masih ada 12.659 desa tertinggal di Indonesia yang belum memiliki akses listrik penuh selama 24 jam, sedangkan 2.519 desa belum teraliri listrik sama sekali (Kementerian ESDM, 2016).

Di samping fakta di atas, Indonesia adalah negara kepulauan dengan potensi energi yang melimpah. Sudah selayaknya Indonesia mulai beralih ke *green energy* atau beralih menuju ke energi terbarukan mengingat potensi yang ada di Indonesia sangat besar. Indonesia memiliki kecepatan arus pasang-surut di perairan pantai sebesar kurang

dari 1,5 m/s, sedangkan di selat-selat diantara pulau Bali, Lombok, dan Nusa Tenggara Timur, kecepatannya bisa mencapai 2,5 - 3,4 m/s. Arus pasang-surut terkuat yang tercatat di Indonesia adalah di Selat Capalulu di antara Pulau Taliabu dan Pulau Mangole di Kepulauan Sula, Propinsi Maluku Utara, mencapai kecepatan 5 m/s (Subaktian, 2016). Maka, secara global laut Indonesia mempunyai sumber energi yang sangat besar yaitu mencapai  $2,8 \times 10^{14}$  Watt/jam.

Selain arus laut, Indonesia juga memiliki potensi energi angin yang besar. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/s. Salah satunya berada di wilayah Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa (LIPI, 2007).

Berdasarkan potensi energi dari arus laut, gelombang laut dan angin yang ada di Indonesia maka diperlukan pembangunan pembangkit energi alternatif untuk mengatasi permasalahan kebutuhan listrik di daerah-daerah yang belum teraliri listrik. Pada penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh M. Rizky Mubarak, 2018 dengan judul rancang bangun pembangkit listrik alternatif memanfaatkan sistem kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* sebagai solusi permasalahan energi listrik tersebut. Potensi daya yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut mencapai 5,8 mW dan mampu menyuplai lebih dari 6400 rumah di Indonesia dengan asumsi setiap rumah membutuhkan 900 Watt (Mubarak, 2018). Akan tetapi pada penelitian sebelumnya, penulis hanya di fokuskan dalam mencari besarnya potensi daya yang bisa dihasilkan oleh pembangkit tersebut dan belum merancang sistem kelistrikan pada pembangkit. Sistem kelistrikan sendiri mempunyai peranan penting untuk mengalirkan daya yang dihasilkan oleh generator pembangkit menuju beban yang membutuhkan daya listrik. Maka dari itu pada penulisan tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem kelistrikan pada pembangkit listrik alternatif kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* yang telah dirancang sebelumnya.

Dengan perancangan sistem kelistrikan tersebut diharapkan daya yang dihasilkan dari pembangkit tersebut dapat dialirkan ke daerah di indonesia bagian timur yang belum teraliri oleh listrik. Dengan adanya suplai listrik diharapkan akan mendorong pembangunan daerah yang masih tertinggal. Dengan demikian dapat mendorong berkembangnya berbagai sektor kehidupan di Indonesia bagian timur sehingga dapat mencapai pemerataan pembangunan infrastruktur di indonesia.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang diangkat berdasarkan uraian latar belakang diatas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem kelistrikan pada pembangkit energi alternatif kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* untuk menyuplai energi listrik pada daerah pesisir di Indonesia?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data pembangkit energi alternatif kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* berdasarkan pada penelitian



sebelumnya.

2. Dalam perancangan sistem kelistrikan pada pembangkit tersebut tidak dipertimbangkan faktor ekonomi.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem kelistrikan pada pembangkit energi alternatif kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* untuk menyuplai energi listrik pada daerah pesisir di Indonesia.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menyempurnakan pekerjaan sebelumnya mengenai pembangkit energi alternatif kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* sehingga dapat di aplikasikan di Indonesia.
2. Memberikan solusi pada daerah di indonesia yang belum teraliri oleh listrik sehingga dapat mempercepat pembangunan daerah tertinggal.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Potensi Energi Laut Indonesia

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk mengembangkan potensi energi terbarukan. Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki lautan yang luasnya lebih besar dibanding luas daratannya. Sehingga potensi energi yang dimiliki Indonesia berada di sektor perairan atau pada sektor laut. Hal ini juga ditunjang data dari Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI). Data tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Data Potensi Daya Listrik Energi Laut

Jenis Sumber Energi	Potensi Teoritis (MW)	Potensi Teknis (MW)	Potensi Praktis (MW)
Panas Laut	57.000	52.000	43.000
Arus Laut	160.000	22.500	4.800
Gelombang Laut	510.000	2.000	1.200
<b>Total</b>	<b>727.000</b>	<b>76.500</b>	<b>49.000</b>

Sumber: (ASELI, 2011)

Dari tabel tersebut dapat disimpulkan potensi teoritis dari energi laut sangat besar. Namun hanya sedikit untuk potensi teknisnya, hal ini dikarenakan keterbatasan teknologi yang kurang memadai untuk mengembangkan energi laut ini. Selain keterbatasan teknologi yang masih kurang berkembang, belum ada juga solusi yang konkrit dari pemerintah untuk memaksimalkan potensi dari sumberdaya sektor perairan.

Dari tabel tersebut juga dapat disimpulkan bahwa sektor perairan atau kelautan sangat potensial jika dikembangkan untuk memenuhi krisis energi di Indonesia di Indonesia di masa depan. Hal ini juga didukung karena menurut *World Energy Council* (WEC) tren di eropa mulai beralih ke energi alternatif menggunakan turbin angin. Dan akan diprediksi pada 2050 sebagian besar eropa sudah beralih ke energi alternatif memanfaatkan turbin – turbin.

Pemerintah sebenarnya sudah memetakan daerah – daerah yang potensial untuk pengembangan energi pada sektor kelautan. Peta tersebut meliputi daerah – daerah yang berpotensi untuk pengembangan energi arus laut, angin laut serta gelombang laut. Daerah tersebut meliputi sebagian besar Indonesia bagian timur, yang kita kita tahu daerah Indonesia bagian timur masih memiliki rasio elektrifikasi yang rendah yaitu dibawah 50%.

Sebenarnya pemerintah sudah mulai mengembangkan dengan membuat *prototype renewable energy* yang dilaksanakan oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi (BPPT). Salah satunya yaitu dengan memasang energi arus laut dibawah jembatan suramadu dan di salah satu pantai di Yogyakarta. Kedua prototype ini berjenis *Oscillating Wave Column (OWC)*. Namun solusi ini dirasa kurang dikarenakan sistem pembangkit ini hanya memanfaatkan energi pasang surut gelombang laut.

## 2.2 Pembangkit energi alternatif kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *Connected Surface Buoy system*

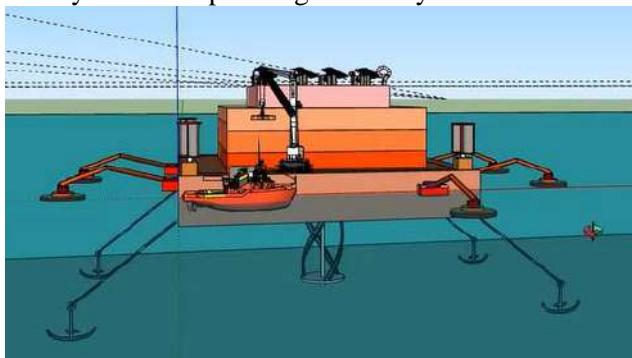
Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh M.Rizky Mubarak, 2018 dengan judul rancang bangun pembangkit listrik alternatif memanfaatkan sistem kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* sebagai solusi krisis energi listrik di pesisir Indonesia yang direncanakan di Selat Capalulu, potensi energi yang dihasilkan pada daerah tersebut terdiri dari 3 macam energi yakni arus laut, energi angin serta energi gelombang laut. Pada penelitiannya menggunakan 4 unit turbin angin dengan tipe Savonius Wind Turbine, 7 unit Surface Buoy System untuk pembangkit tenaga gelombang serta 1 unit turbin tenaga arus laut dengan tipe Gorlov Helical Turbine dapat menghasilkan daya total sebesar 5,7 MW. Dari total daya yang dihasilkan pembangkit tersebut, diasumsikan dapat memberikan penerangan pada kurang lebih 6337 rumah yang terletak di Pulau Talibau. Di bawah ini adalah tabel total hasil perhitungan daya yang dihasilkan dari rancangan pembangkit energi alternatif di Selat Capalulu:

Tabel 2.2 Potensi daya yang dihasilkan

TOTAL POWER PRODUCED IN POWERPLANT						
No	Device	Power (kw)		Devices	Total Power (kw)	
1	Gorlov Helical Turbine	4866,67	kw	1	4866,667	kw
2	Savonius Wind Turbine	121,70	kw	4	486,8	kw
3	Connected Surface Buoy System	50,00	kw	7	350	kw
<b>TOTAL POWER PRODUCED</b>					<b>5703,467</b>	<b>kw</b>

Sumber: (Rizky Mubarak, 2018)

Pada perancangan pembangkit tersebut, ke 3 sumber energi di letakkan pada sebuah bangunan terapung dimana bangunan tersebut ditambatkan dengan jangkar pada dasar selat capalulu. Pada bangunan terapung tersebut, selain terdapat 3 macam turbin, terdapat pula ruang akomodasi dimana pekerja power plant tinggal dan bekerja dengan jumlah total 11 kru. Pada gambar 2.1 berikut adalah desain rancangan pembangkit yang dirancang oleh M.Rizky Mubarak pada tugas akhirnya:

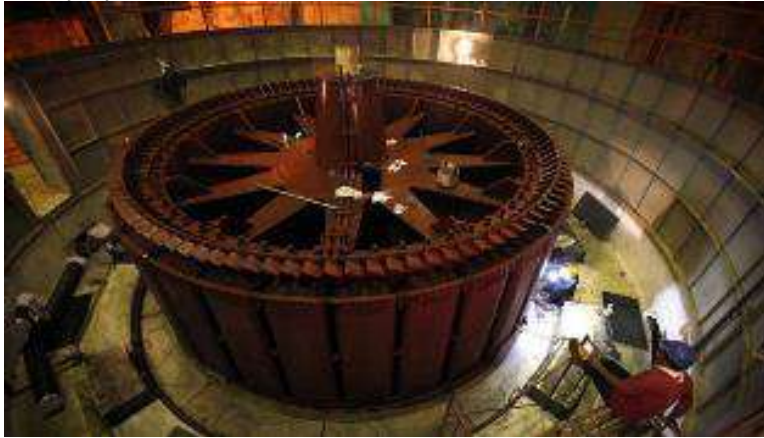


Gambar 2.1. Desain Rancangan Pembangkit Terapung

Sumber: (Rizky Mubarak, 2018)

### 2.3 Generator listrik

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari energi mekanik hasil dari induksi elektromagnetik. Secara umum, generator dibagi menjadi generator AC dan DC, berdasarkan jenis arus yang dihasilkan, yang digunakan dalam sistem pembangkit ini adalah generator AC, sesuai kebutuhannya untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga dan industri swasta. Setiap generator memiliki kapasitasnya sendiri yang disesuaikan dengan jumlah listrik yang akan dihasilkan. Untuk memilih kapasitas generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei, diantara 500 Megawatt -1000 Megawatt. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) (Diky Syahrhu, 2007).



Gambar 2.2. Generator Listrik pada Pembangkit  
Sumber: (Championpowerequipment, 2004)

### 2.4 Pararel Generator

Pararel generator adalah metode penggunaan dua atau lebih generator secara bersamaan yang dihubungkan secara paralel. Fungsi dari mempararelkan generator adalah untuk memperbesar kapasitas daya yang dihasilkan dan efisiensi penggunaan daya. Akan tetapi generator tidak dapat diparalelkan secara sembarangan. Karena terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk mempararelkan generator, dikarenakan jika terjadi kesalahan pada saat memparalelkan generator dapat merusak generator itu sendiri. Berikut ini adalah syarat-syarat paralel generator:

- Frekuensi generator yang sama  
Jika Frekuensi tidak sama diparalelkan bisa terjadi reverse power pada generator yang mempunyai frekuensi lebih rendah. Selain itu bisa merusak generator, yang mana breaker akan muncul arus yang besar dan menimbulkan percikan api dan engine akan hunting sesaat. Hal ini bisa mengakibatkan kerusakan mekanis sampai patah pada cransaft karena tekanan beban besar yang tiba tiba.
- Urutan fasa yang sama  
Yang dimaksud urutan phase adalah arah putaran dari ketiga phase. Arah urutan ini dalam dunia industri dikenal dengan nama CW ( clock wise) yang artinya searah jarum jam dan CCW (counter clock wise ) yang artinya

berlawanan dengan jarum jam. Hal ini dapat diukur dengan alat phase sequence type jarum.

- Tegangan yang sama

Adanya tegangan kerja yang sama diharapkan pada saat generator diparalelkan beban tidak tersedot ke generator yang bertegangan rendah karena sebagaimana prinsip tegangan yang didalamnya terdapat muatan yang bergerak dari tegangan serta potensial tinggi ke rendah.

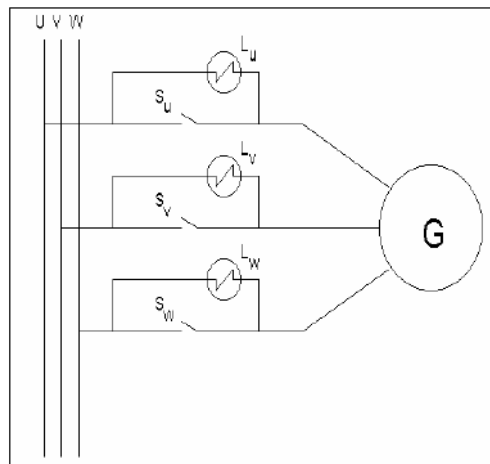
Berdasarkan pada persyaratan diatas maka dalam memparalelkan generator dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- **Lampu Cahaya berputar dan Volt-meter**

- a. Sinkronoskop Lampu Gelap

Jenis sinkronoskop lampu gelap pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan U, V dengan V dan W dengan W.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



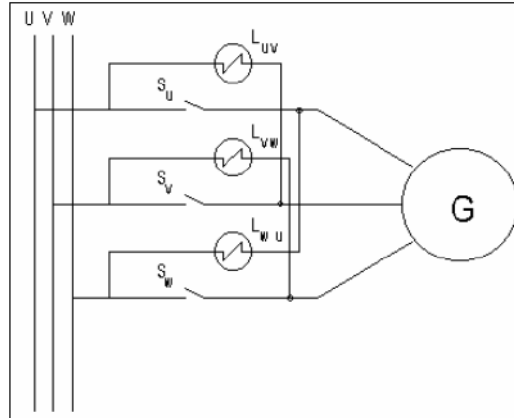
Gambar 2.3. Skema Sinkronoskop Lampu Gelap  
Sumber: (Djodi Antono, 2013)

Pada hubungan ini jika tegangan antar fasa adalah sama maka ketiga lampu akan gelap yang disebabkan oleh beda tegangan yang ada adalah nol. Demikian juga sebaliknya, jika lampu menyala maka diantara fasa terdapat beda tegangan.

- b. Sinkronoskop Lampu Terang

Jenis sinkronoskop lampu terang pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan V, V dengan W dan W dengan U.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



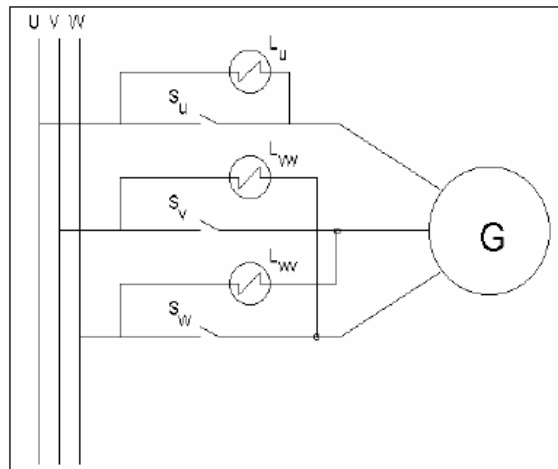
Gambar 2.4. Skema Sinkronoskop Lampu Terang  
Sumber: (Djodi Antono, 2013)

Sinkronoskop jenis ini merupakan kebalikan dari sinkronoskop lampu gelap. Jika antara fasa terdapat beda tegangan maka ketiga lampu akan menyala sama terang dan generator siap untuk diparalel. Kelemahan dari sinkronoskop ini adalah kita tidak mengetahui seberapa terang lampu tersebut sampai generator siap diparalel.

c. Sinkronoskop Lampu Terang Gelap

Sinkronoskop jenis ini dapat dikatakan merupakan perpaduan antara sinkronoskop lampu gelap dan terang. Prinsip dari sinkronoskop ini adalah dengan menghubungkan satu fasa sama dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa U dengan fasa U, fasa V dengan fasa W dan fasa W dengan fasa V.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada skema dibawah ini.



Gambar 2.5. Skema Sinkronoskop Lampu terang gelap  
Sumber: (Djodi Antono, 2013)

- **Voltmeter, Frekuensi Meter dan Synchroscope**

Pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik, untuk indikator paralel generator banyak yang menggunakan alat Synchroscope. Penggunaan alat ini dilengkapi dengan Voltmeter untuk memonitor kesamaan tegangan dan Frekuensi meter untuk kesamaan frekuensi. Ketepatan sudut fasa dapat dilihat dari synchroscope. Bila jarum penunjuk berputar berlawanan arah jarum jam, berarti frekuensi generator lebih rendah dan bila searah jarum jam berarti frekuensi generator lebih tinggi. Pada saat jarum telah diam dan menunjuk pada kedudukan vertikal, berarti beda fasa generator dan jala-jala telah 0 (Nol) dan selisih frekuensi telah 0 (Nol), maka pada kondisi ini saklar dimasukkan (ON). Alat synchroscope tidak bisa menunjukkan urutan fasa jala-jala, sehingga untuk memparalelkan perlu dipakai indikator urutan fasa jala-jala.

- **Paralel Otomatis**

Paralel generator secara otomatis biasanya menggunakan alat yang secara otomatis memonitor perbedaan fasa, tegangan, frekuensi, dan urutan fasa. Apabila semua kondisi telah tercapai alat memberi suatu sinyal bahwa saklar untuk paralel dapat dimasukkan.

Permasalahan yang timbul untuk memparalelkan generator dengan kapasitas yang berbeda adalah terjadinya overload pada generator yang kapasitasnya lebih rendah. Untuk mengatasi permasalahan ini terlebih dahulu kita mengetahui karakteristik dari setiap generator. Karakteristik yang dimaksud adalah karakteristik daya terhadap putaran atau frekuensi. Selain itu karakteristik dari masing-masing generator harus mempunyai droop yang sama. Dengan karakteristik yang demikian kita dapat melakukan pengaturan daya generator sehingga dapat mencapai prosentase yang sama pada masing-masing unit generator yang diparalel.

## 2.5 Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama : pusat-pusat pembangkit listrik, saluran-saluran transmisi, dan sistem-sistem distribusi. Saluran-saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat-pusat pembangkit listrik dan sistem-sistem distribusi, dan melalui hubungan-hubungan antar sistem dapat pula menuju ke sistem tenaga yang lain. Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban-beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran-saluran transmisi. Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari *Generator Station/* Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada *consumer* pengguna listrik.

Berdasarkan pemasangannya, saluran transmisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu

- Saluran Udara (*Overhead Lines*)  
Saluran transmisi yang menyalurkan daya listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara menara atau tiang transmisi
- Saluran kabel bawah tanah (*underground cable*)



Saluran transmisi yang menyalurkan daya listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah. Adapun saluran yang lain adalah saluran kabel bawah laut dan saluran isolasi gas.

Ditinjau dari klasifikasi tegangannya, transmisi listrik dibagi menjadi:

- Saluran Udara Ekstra Tinggi (SUTET 200kV- 500Kv)  
Tujuannya adalah agar *drop* tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien.
- Saluran Udara Tegangan Tinggi ( SUTT ) 30kV-150kV  
Jarak terjauh yang paling efektif dari saluran transmisi ini ialah 100 km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (*drop voltage*) terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah.
- Saluran Kabel Tegangan Tinggi ( SKTT ) 30kV-150kV.  
Saluran kabel transmisi tegangan tinggi dipasang di kota-kota besar menggunakan kabel bawah tanah. Hal ini dikarenakan di kota besar tidak mungkin di pasang SUTT karena sangat terbatasnya lahan.
- Saluran Udara Tegangan Menengah (Sutm) 6 Kv – 30 Kv  
Di Indonesia, pada umumnya tegangan operasi SUTM adalah 6 KV dan 20 KV. Namun secara berangsur-angsur tegangan operasi 6 KV dihilangkan dan saat ini hampir semuanya menggunakan tegangan operasi 20 KV. Transmisi SUTM digunakan pada jaringan tingkat tiga, yaitu jaringan distribusi yang menghubungkan dari Gardu Induk, Penyulang (Feeder), SUTM, Gardu Distribusi, sampai dengan ke Instalasi Pemanfaatan (Pelanggan/ Konsumen. Berdasarkan sistem pentanahan titik netral trafo, efektifitas penyalurannya hanya pada jarak (panjang) antara 15 km sampai dengan 20 km. Jika transmisi lebih dari jarak tersebut, efektifitasnya menurun, karena relay pengaman tidak bisa bekerja secara selektif. Dengan mempertimbangkan berbagai kondisi yang ada (kemampuan likuiditas atau keuangan, kondisi geografis dan lain-lain) transmisi SUTM di Indonesia melebihi kondisi ideal di atas.
- Saluran Kabel Tegangan Menengah (SkTM) 6 kV – 20 kV  
Ditinjau dari segi fungsi , transmisi SKTM memiliki fungsi yang sama dengan transmisi SUTM. Perbedaan mendasar adalah, SKTM ditanam di dalam tanah. Beberapa pertimbangan pembangunan transmisi SKTM adalah kondisi setempat yang tidak memungkinkan dibangun SUTM, kesulitan mendapatkan ruang bebas (ROW), karena berada di tengah kota dan pemukiman padat dan pertimbangan segi estetika.

## 2.6 Transformator

Transformator atau sering juga disebut trafo adalah komponen elektronika pasif yang berfungsi untuk mengubah (menaikkan/menurunkan) tegangan listrik bolak-balik (AC). Bentuk dasar transformator adalah sepasang ujung pada bagian primer dan sepasang ujung pada bagian sekunder. Bagian primer dan sekunder adalah merupakan lilitan kawat yang tidak berhubungan secara elektrik. Kedua lilitan kawat ini dililitkan pada sebuah inti yang dinamakan inti trafo.

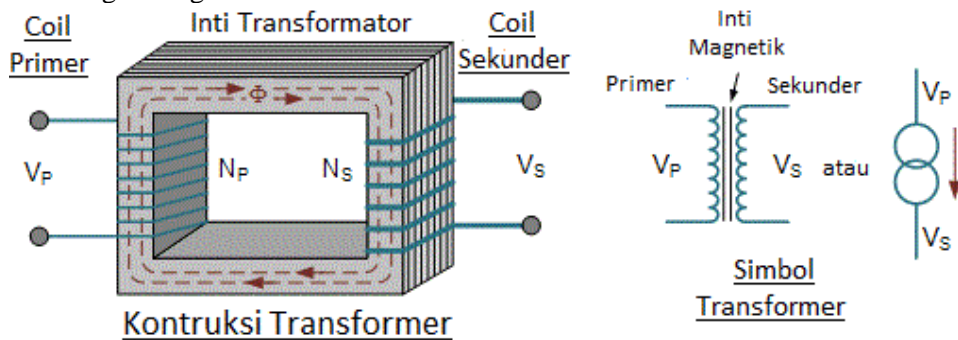


Gambar 2.6. Transformator  
Sumber: (Trafoindo, 2018)

### 2.6.1 `Bagian-bagian Transformator

Transformator terdiri dari 3 komponen pokok yaitu: kumparan pertama (primer) yang bertindak sebagai input, kumparan kedua (sekunder) yang bertindak sebagai output, dan inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan.

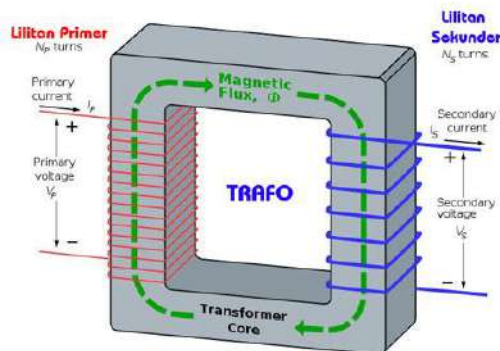
Bagian-bagian transformator :



Gambar 2.7. Bagian – Bagian Transformator  
Sumber: [tespenku.com](http://tespenku.com)

### 2.6.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah sebagai berikut. Ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*).



Gambar 2.8. Prinsip kerja transformator  
Sumber: [Skemaku.com](http://Skemaku.com)

Pada skema transformator di atas, ketika arus listrik dari sumber tegangan yang mengalir pada kumparan primer berbalik arah (berubah polaritasnya) medan magnet yang dihasilkan akan berubah arah sehingga arus listrik yang dihasilkan pada kumparan sekunder akan berubah polaritasnya.

Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Dimana,

$V_p$  = tegangan primer (volt)

$V_s$  = tegangan sekunder (volt)

$N_p$  = jumlah lilitan primer

$N_s$  = jumlah lilitan sekunder

Pada transformator (trafo) besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh kumparan sekunder adalah:

1. Sebanding dengan banyaknya lilitan sekunder ( $V_s \sim N_s$ ).
2. Sebanding dengan besarnya tegangan primer ( $V_s \sim V_p$ ).
3. Berbanding terbalik dengan banyaknya lilitan primer,

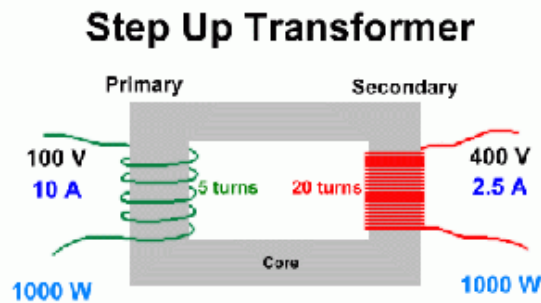
$$\left( V_s \sim \frac{1}{N_p} \right) \text{ sehingga dapat dituliskan } V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p$$

### 2.6.3 Jenis-Jenis Transformator

#### a. Step up

Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi

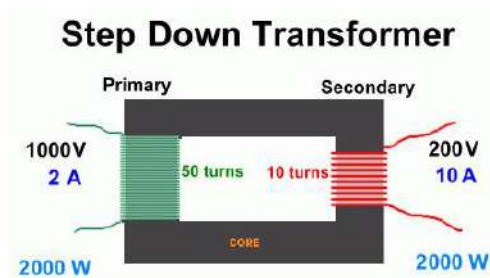
sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.



Gambar 2.9. Transformator step up  
Sumber: [tes.com](http://tes.com)

b. Step down

Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC -DC.

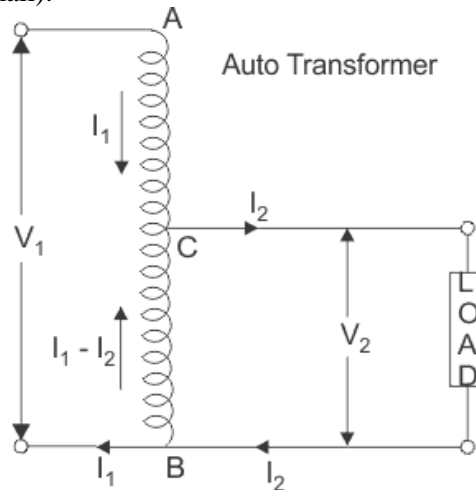


Gambar 2.10. Transformator step down  
Sumber: [pinterest.se](http://pinterest.se)

c. Auto transformator

Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari auto transformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder. Selain itu, autotransformator tidak dapat digunakan sebagai penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat (biasanya tidak

lebih dari 1,5 kali).



Gambar 2.11. Auto transformator

Sumber: [electrical4u.com](http://electrical4u.com)

d. Transformator 3 fasa

Transformator tiga fasa sebenarnya adalah tiga transformator yang dihubungkan secara khusus satu sama lain. Lilitan primer biasanya dihubungkan secara bintang (Y) dan lilitan sekunder dihubungkan secara delta ( $\Delta$ ).

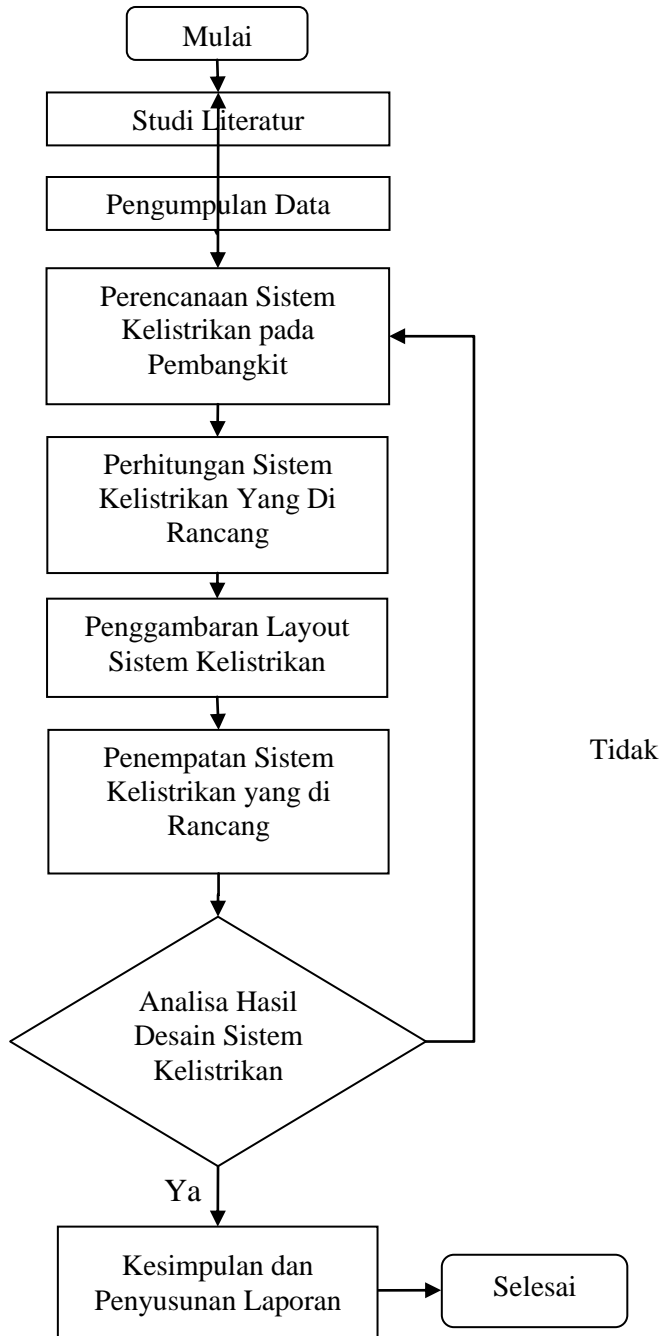


Gambar 2.12. Transformator 3 fasa

Sumber: Trafoindo, 2018

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

**BAB III  
METODE PENELITIAN**



**Gambar 3. 2.** Metodologi Penelitian

Pada **Gambar 3.1.** dilihatkan metodologi penelitian mengenai Perancangan Sistem Kelistrikan Pada Pembangkit Listrik Alternatif Memanfaatkan Sistem Kombinasi Antara Turbin *Helix*, Kincir *Savonius* Serta *Connected Surface Buoy system*. Adapun tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

### **3.1 Studi Literatur**

Pada tahap ini penulis melakukan pencarian sumber informasi dan referensi. Hal ini dilakukan sebagai bahan pendukung pada tugas akhir ini. Adapun sumber referensi dan informasi yang penulis dapatkan dari berbagai jurnal nasional maupun internasional, buku dan berbagai referensi dari internet.

### **3.2 Pengumpulan Data**

Pada tahap ini penulis akan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam perancangan sistem kelistrikan.

### **3.3 Perencanaan sistem kelistrikan pada pembangkit**

Pada tahap ini dilakukan perencanaan awal dari perancangan distribusi kelistrikan pada pembangkit yang perlu dilakukan terlebih dahulu..

### **3.4 Perhitungan sistem kelistrikan yang di rancang**

Pada tahap ini dilakukan perhitungan yang diperlukan dalam perancangan sistem kelistrikan pada pembangkit. Perhitungan tersebut dilakukan untuk menentukan spesifikasi peralatan yang akan digunakan dalam perancangan sistem kelistrikan pada pembangkit tersebut.

### **3.5 Penggambaran layout sistem kelistrikan**

Pada tahap ini dilakukan penggambaran desain dari sistem kelistrikan dari pembangkit tersebut. Dalam penggambaran ini apabila sistem kelistrikan dipasang di pembangkitnya harus dilakukan apakah desain dari pembangkit tersebut cukup atau perlu dilakukan peninjauan kembali. Apabila sistem kelistrikan diletakkan di darat harus diperhatikan panjang kabel yang akan.

### **3.6 Penempatan sistem kelistrikan yang di rancang**

Selanjutnya dilakukan penempatan dari sistem kelistrikan yang sudah dirancang. Penempatan sistem yang dirancang akan tergantung dari general arrangement dari pembangkit. Oleh sebab itu akan dilakukan peninjauan ulang dari desain pembangkit tersebut masih memiliki ruang yang cukup atau tidak.

### **3.7 Analisa hasil desain sistem kelistrikan**

Setelah layout dari sistem kelistrikan selesai dikerjakan kemudian dilakukan analisa dari sistem tersebut apakah sudah sesuai atau belum.



### **3.8 Kesimpulan dan Saran**

Setelah semua tahap selesai yaitu disimpulkan hasil dari penelitian tersebut. Diharapkan hasil kesimpulan dapat menjawab semua rumusan masalah pada penelitian ini. Saran yang ditulis penulis, sebagai masukan untuk penulisan penelitian lebih lanjut.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

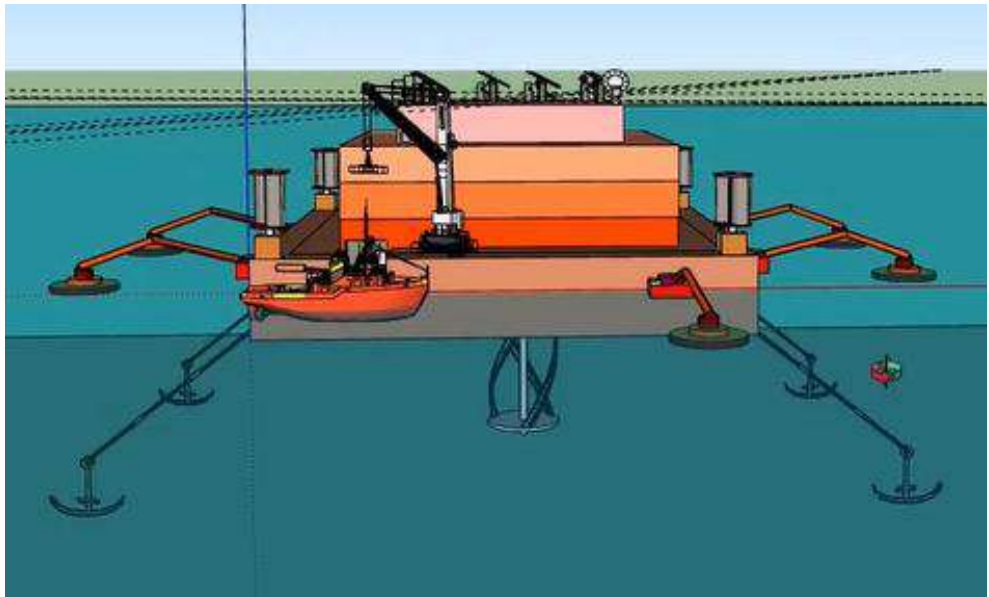
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Pembangkit Energi Alternatif

Pembangkit energi alternatif pembangkit energi alternatif kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* adalah pembangkit energi yang memanfaatkan sumber energi dari arus, angin dan gelombang. Pembangkit energi alternatif tersebut direncanakan di Selat Capalulu Maluku Utara. Dalam tugas akhir ini pembahasan yang akan di uraikan adalah perancangan sistem kelistrikan pada pembangkit tersebut. Dalam perancangan sistem kelistrikan tersebut dibutuhkan dimensi dan juga general arrangement dari desain pembangkit energi alternatif tersebut serta spesifikasi dari generator yang digunakan.

#### 4.1.1 Ukuran Utama (Principal Dimension) Pembangkit Energi alternatif

Perancangan desain pembangkit listrik alternatif memanfaatkan sistem kombinasi antara turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* sebelumnya yang sudah dilakukan oleh M. Rizky Mubarak, 2018 dapat dilihat pada gambar 4.1. sebagai berikut. Untuk principal dimension dari pembangkit tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1. Tampak Atas Pembangkit  
Sumber: (Rizky Mubarak, 2018)

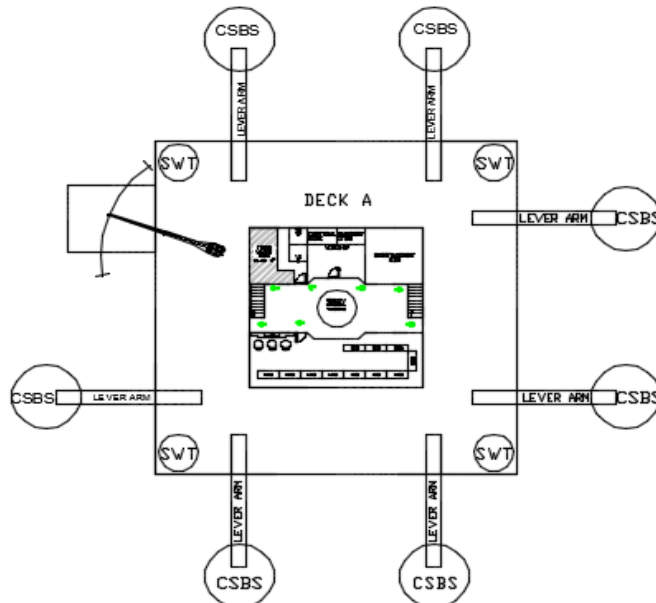
Tabel 4. 1. Data *Principal Dimension* Pembangkit Energi alternatif

Height	6	m
Length	25	m
Breadth	25	m
Draft	3	m
Volume of Displacement	1875	m <sup>3</sup>
Weight of Displacement	1921,875	Ton
Total Weight	268	Ton
Displacement Weight	1653,875	Ton
Water Ballast	1613,537	m <sup>3</sup>
Height of Double Bottom	2,581659	m

Sumber : (Rizky Mubarok, 2018)

#### 4.1.2 General Arrangement Pembangkit Energi alternatif

*General Arrangement* pembangkit dalam tugas akhir ini digunakan sebagai pertimbangan dalam perencanaan sistem kelistrikan pada pembangkit tersebut. Dengan *general arrangement* nantinya akan digunakan sebagai panduan dalam peletakan sistem kelistrikan yang akan dirancang dan penggambaran layout sistem kelistrikan yang akan dirancang. Berikut adalah *general arrangement* dari pembangkit alternatif yang sudah dirancang sebelumnya.

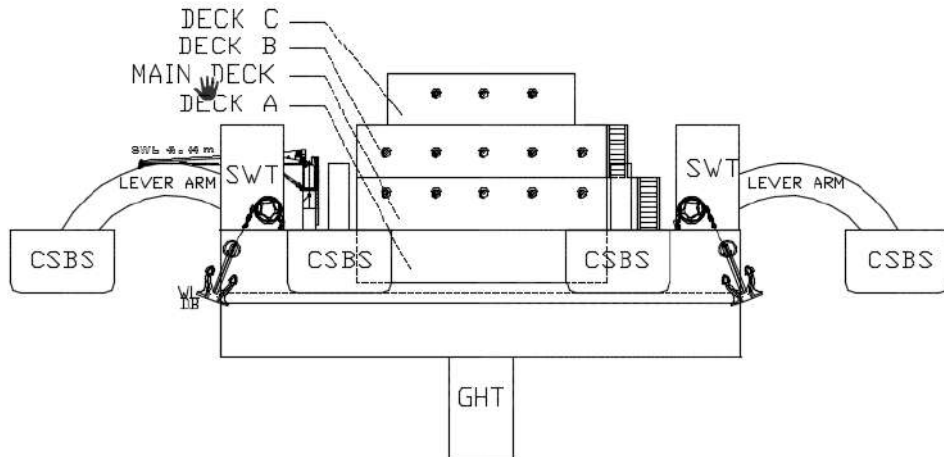


Gambar 4.2. Tampak Atas Pembangkit

Sumber: (Rizky Mubarok, 2018)

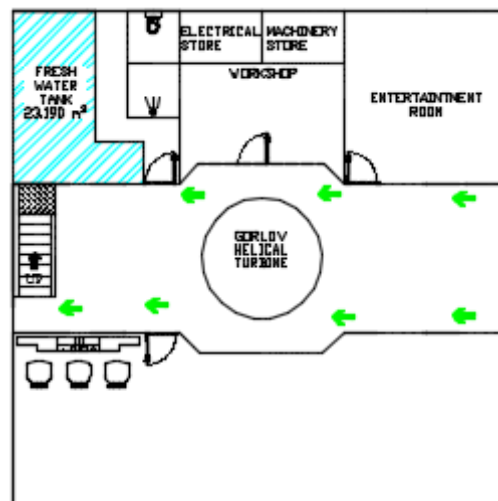
Pada gambar 4.2 merupakan tampak atas dari pembangkit alternatif tersebut. Dari tampak atas tersebut dapat diketahui bahwa jumlah turbin helix yang terdapat di pembangkit tersebut berjumlah satu buah. Sedangkan untuk

savonius wind turbine terdapat empat yang terletak di setiap sudut pembangkit. untuk *connected surface buoy system* sendiri terletak mengelilingi pembangkit tersebut sebanyak tujuh buah. Pada pembangkit tersebut juga disediakan satu buah crane yang digunakan untuk kebutuhan akomodasi.



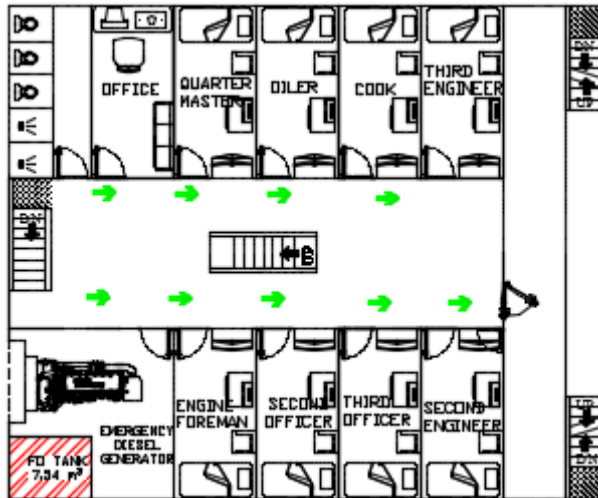
Gambar 4.3. Tampak Samping Pembangkit  
Sumber: )Rizky Mubarak, 2018)

Pada gambar 4.3 merupakan tampak samping dari pembangkit alternatif tersebut. Dari tampak atas tersebut dapat diketahui bahwa jumlah deck yang didesain untuk pembangkit tersebut berjumlah empat deck. Selain itu juga terdapat empat jangkar yang digunakan untuk menjaga posisi dari pembangkit agar tidak berubah akibat dari gelombang, arus dan angin.



Gambar 4.4. *General Arregement deck A*  
Sumber: (Rizky Mubarak, 2018)

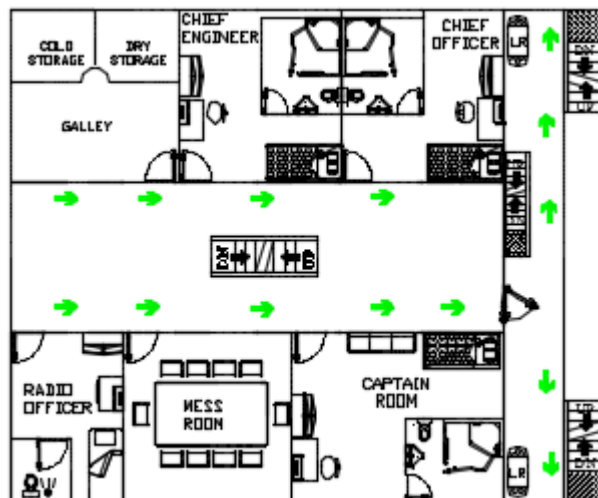
Pada gambar 4.4 merupakan *general arremgement* dari deck A pembangkit alternatif. Deck A difungsikan sebagai *control room* untuk memonitoring kinerja dari setiap turbine dan generator.



Gambar 4.5. *General Arremgement main deck*

Sumber: (Rizky Mubarok, 2018)

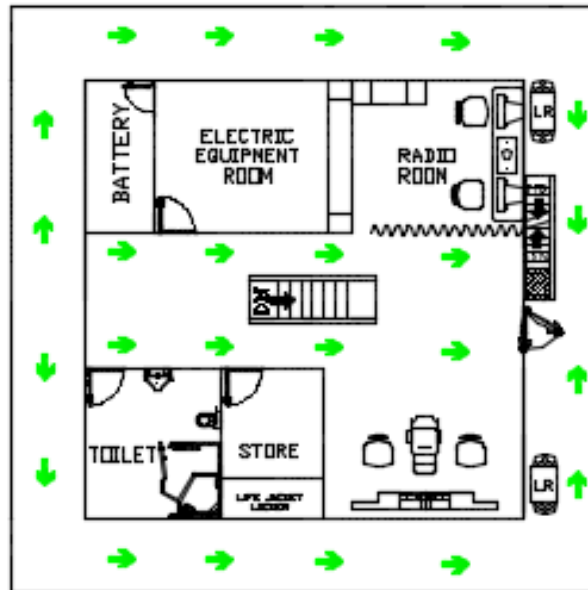
Pada gambar 4.5 merupakan *general arremgement* dari main deck pembangkit alternatif. Main deck ini di akomodasikan sebagai kamar untuk tempat tinggal crew yang ada. Jumlah crew yang terdapat di main deck adalah sebanyak delapan orang. Selain itu juga terdapat ruang emergency generator pada main deck.



Gambar 4.6. *General Arremgement deck B*

Sumber: (Rizky Mubarok, 2018)

Pada gambar 4.6 merupakan *general arregement* dari deck B pembangkit alternatif. Deck ini di akomodasikan sebagai ruangan untuk tempat tinggal Captain, Chief dan Radio Officer. Selain itu juga terdapat galley yang digunakan untuk memasak kebutuhan makanan crew dan juga ruang mess room untuk berkumpul.



Gambar 4.7. *General Arregement deck C*  
Sumber: (Rizky Mubarok, 2018)

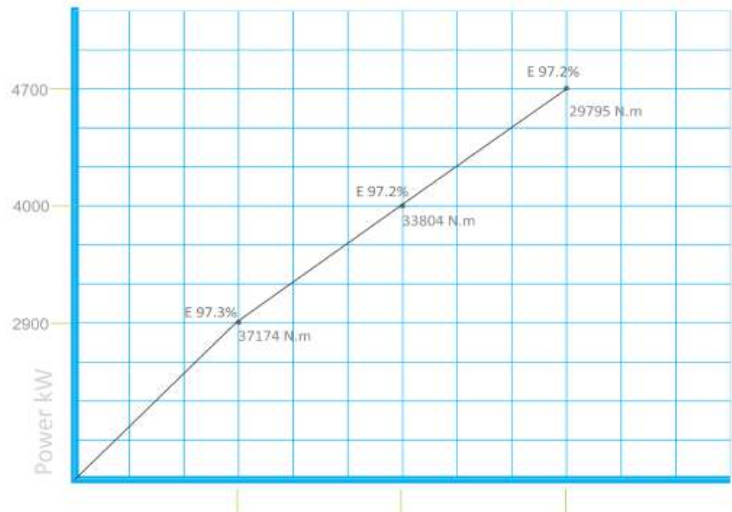
Pada gambar 4.7. merupakan *general arregement* dari deck A pembangkit alternatif. Deck A di akomodasikan sebagai ruangan navigasi pembangkit. Ruangan ini berfungsi untuk memonitor posisi dari pembangkit.

#### 4.1.3 Spesifikasi generator

Dalam pembangkit alternatif yang sudah dirancang menggunakan turbin *helix*, kincir *savonius* serta *connected surface buoy system* akan menggerakkan generator untuk menghasilkan daya. Untuk turbin *helix* dan kincir *savonius* turbin akan menggerakkan generator dengan menggunakan *shaft* sedangkan *connected surface buoy system* akan menggerakkan turbin pelton yang selanjutnya akan menggerakkan generator. Spesifikasi generator yang digunakan untuk untuk setiap sistem adalah sebagai berikut:

Low speed Permanent Magnet Generator | PMG 4000PH

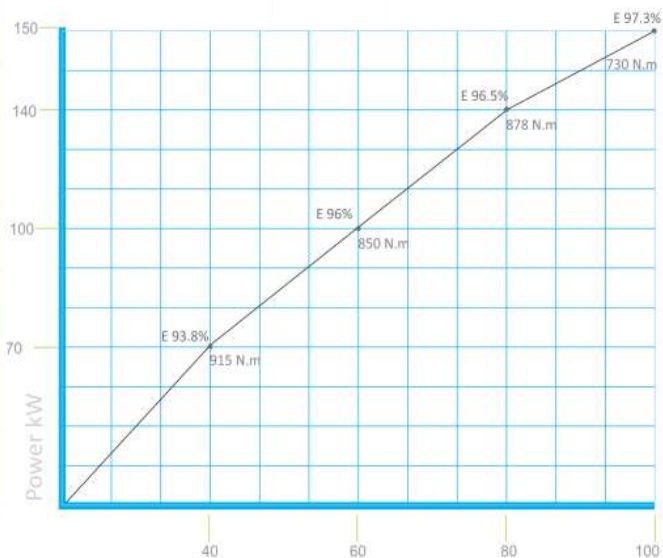
PMG 4000PH	
Power [kW]	4000
Speed [rpm]	60
Voltage [V]	400
Short Circuit Current [A]	8065
THD	0.76
Power factor	0.92
Weight [ kg ]	1940
Efficiency [100% load]	97.2
Efficiency [75% load]	96.7
Efficiency [50% load]	96
Efficiency [25% load]	95.2
Protection class	IP54
Insulation class	F
Thermal class	B
Torque [N.m]	33804
Cooling	Air-to-liquid



Gambar 4.8. Spesifikasi generator untuk turbin *Helix*  
 Sumber: (Enerset, 2018)

Low speed Permanent Magnet Generator | PMG 100PH

PMG 100PH	
Power [kW]	100
Speed [rpm]	60
Voltage [V]	400
Short Circuit Current [A]	420
THD	1
Power factor	0.93
Weight [ kg ]	184
Efficiency [100% load]	96
Efficiency [75% load]	95.6
Efficiency [50% load]	94.7
Efficiency [25% load]	93.4
Protection class	IP54
Insulation class	F
Thermal class	B
Torque [N.m]	850
Cooling	Air-to-liquid



Gambar 4.9. Spesifikasi generator untuk kincir *savonius*  
 Sumber: (Enerset, 2018)



Turbine				Generator			Governor	Inlet Valve
Head M	Flow M <sup>3</sup> /s	Output KW	Dia. Of tube (mm)	Type	Output KW	Power Output	Type	Type
60	0.06	20	200	HS-20	20	Option	Auto Load	Option
70	0.065	30	200	HS-30	30	Option	Auto Load	Option
80	0.07	40	200	HS-40	40	Option	Auto Load	Option
100	0.062	50	200	HS-50	50	Option	Auto Load	Option
110	0.071	60	200	HS-60	60	Option	Auto Load	Option
120	0.074	70	200	HS-70	70	Option	Auto Load	Option
140	0.083	90	200	HS-90	90	Option	Auto Load	Option
160	0.087	100	200	HS-100	100	Option	Auto Load	Option

Gambar 4.10. Spesifikasi generator untuk *connected surface buoy system*  
Sumber: (HS Dynamic Energy, 2018)

## 4.2 Wiring Diagram

Dalam analisa teknis awal dilakukan penggambaran wiring diagram terlebih dahulu. Wiring diagram digunakan untuk menggambarkan perencanaan sistem kelistrikan pada pembangkit alternatif. Wiring diagram digunakan untuk mempermudah mengikuti alur sebenarnya dari sebuah rangkaian sebagai peta dari sistem kelistrikan. Dalam Wiring diagram digambarkan susunan saklar, saking, kabel, busbar, MSB, ACB, dsb.

### 4.2.1 Kabel dan Pengamannya

Kabel listrik media yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dan pengaman digunakan untuk melindungi kabel listrik tersebut. Kabel listrik digunakan untuk menyalurkan daya yang dihasilkan dari generator ke MSB. Untuk menentukan ukuran dari kabel listrik kita harus arus nominal yang akan disalurkan ke kabel tersebut. Untuk menghitung arus nominal dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$i_{\text{nominal}} = \frac{p}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi}$$

Setelah diketahui arus yang akan dihantarkan kita dapat menentukan spesifikasi dari kabel dan pengaman yang akan digunakan. Contoh perhitungan adalah seperti pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Pemilihan kabel pengaman

KABLE PENGAMAN GENERATOR SAVIONUS		
Daya generator	=	100 kW
Arus nominal = $\frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi}$	=	155,20 A
Arus pengaman	=	200 A
Penampang kabel	=	95 mm <sup>2</sup>



Gambar 4.11. kabel dan pengaman  
 Sumber: (sutrado, 2018)

**4.2.2 Busbar**

Busbar merupakan penghantar arus listrik yang terbuat dari tembaga. Fungsi busbar sebenarnya sama dengan kabel, yaitu menghantarkan listrik. Busbar memiliki daya hantar listrik yang lebih besar dari kabel. Untuk pemakaian arus lebih dari 250A, maka disarankan menggunakan busbar. Pemakaian busbar ini untuk mempermudah pemasangan sambungan komponen-komponen lainnya pada panel. Hal ini dikarenakan pada busbar pada tiap bagian penampangnya terdapat lubang-lubang yang dapat dijadikan tempat penghubung dengan penghantar lainnya.

Untuk ukuran busbar kita dapat menentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Arus\ busbar = 4 \times i\ nominal$$

$$Arus\ busbar = 4 \times \frac{p}{\sqrt{3} \times V \times \cos\varphi}$$

Dari hasil perhitungan arus yang dihasilkan dapat ditentukan ukuran busbar yang harus digunakan. Contoh perhitungan adalah seperti pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Pemilihan Busbar

UKURAN BUSBAR MSB SAVIONUS			
Daya generator	=	100	kW
Jumlah generator	=	4	unit
Daya total	=	400	kW
Arus nominal	$\frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\varphi}$	=	621 A
Arus busbar	=	4 x I Nominal	
	=	2483	A
Ukuran busbar	=	3 (100 x 5)	



Gambar 4.12. Busbar

Sumber: (BSTG electrical &amp; control, 2018)

### 4.2.3 Transformator

Dalam perencanaan sistem transmisi pada pembangkit tersebut direncanakan akan menggunakan saluran kabel tegangan menengah (SkTM) 6 kV – 20 kV. Hal ini dikarenakan tidak memungkinkan diterapkannya saluran transmisi udara yang dikarenakan pembangkit berada di tengah laut. Transformator digunakan dalam proses transmisi untuk mengurangi losses yang dihasilkan. Hal ini dilakukan dengan menaikkan tegangan sehingga dapat mengecilkan arus sehingga rugi yang dihasilkan menjadi lebih sedikit. Hal ini dikarenakan rugi daya sebagai berikut:

$$P_{\text{losses}} = i^2 \times R$$

Dimana  $i$  adalah arus dan  $R$  adalah tahanan dari kabel.

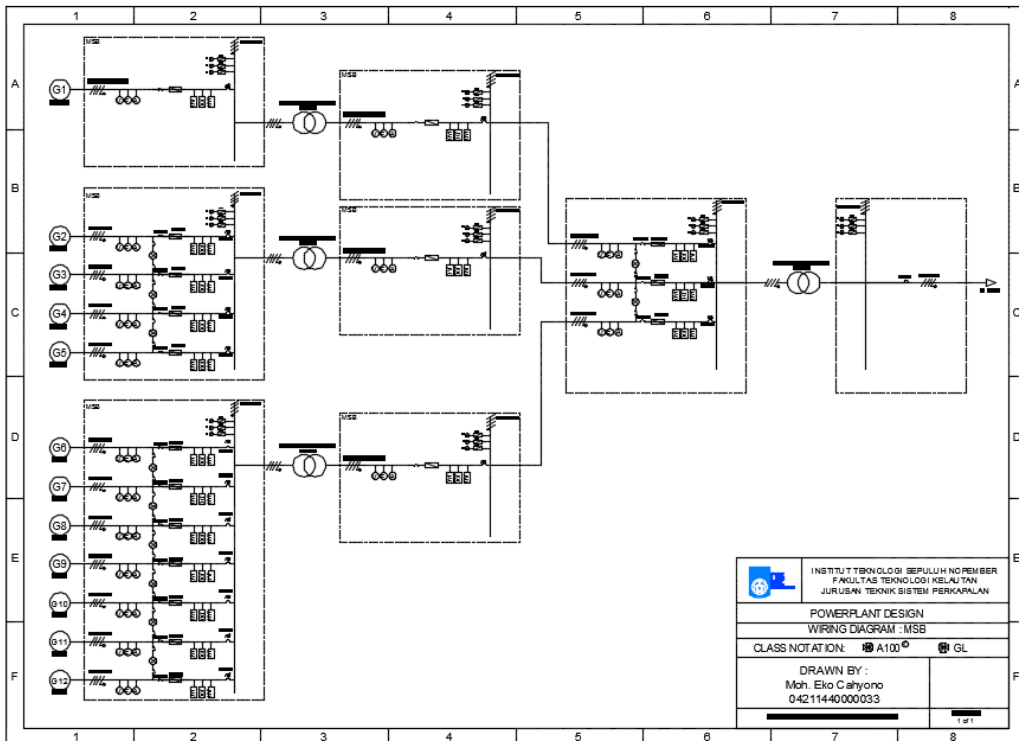
Sehingga apabila arus dicecilkan maka losses yang terjadi akan semakin kecil sehingga daya yang bisa dimanfaatkan menjadi lebih besar. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja transformator dimana voltase dan arus berbanding terbalik, dengan rumus  $V_p \times I_p = V_s \times I_s$ .



Gambar 4.13. Transformator

Sumber: (Trafoindo, 2018)

Dari hasil perhitungan diatas maka desain dari wiring diagram dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.14. Wiring Diagram sistem kelistrikan

### 4.3 Variable Frequency Drive (VFD)

Variable frequency drive merupakan sebuah alat untuk mengubah nilai frekuensi pada sistem kelistrikan agar sesuai dengan kebutuhan dari beban listrik. Secara sederhana prinsip dasar VFD untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur.



Gambar 4.15. Variable Frequency Drive (VFD)

Sumber: (Toshiba, 2018)

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (converter AC-DC) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (rectifier dioda) namun juga ada yang menggunakan penyearah terkendali (thyristor rectifier). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tandon kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh inverter dengan teknik PWM (Pulse Width Modulation). Dengan teknik PWM ini bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan. Selain itu teknik PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal, dimana kita tahu kalau harmonisa ini akan menimbulkan rugi-rugi pada motor yaitu cepat panas. Maka dari itu teknik PWM inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah tegangan DC menjadi AC (Inverter).

Input Voltage Class	Applicable Motor (kW)	Inverter Type	Dimensions (mm)									
			W	H	D	W1	H1	W2	H2	H3	H4	
200V	90	VFPS1-2900P	350	782 (1022)	370	298	758	360	72	150	30	
	132	VFPS1-4132KPC	350	782 (1022)	370	298	758	360	72	150	30	
400V	160	VFPS1-4160KPC	330	950 (1190)	370	285	920	340	75	160	30	
	220	VFPS1-4220KPC	430	950 (1190)	370	350	920	440	75	150	30	
	250	VFPS1-4250KPC	585	950 (1190)	370	540	920	595	75	150	30	
	280	VFPS1-4280KPC										
	315	VFPS1-4315KPC										
	400	VFPS1-4400KPC	890	1150 (1390)	370	418	1120	890	75	150	30	
	500	VFPS1-4500KPC										
	630	VFPS1-4630KPC										

Gambar 4.16. Spesifikasi *Variable Frequency Drive (VFD)*

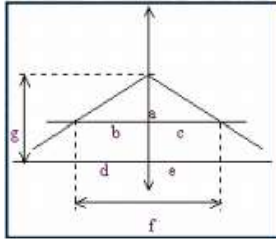
Sumber: (Toshiba, 2018)

Berdasarkan pada spesifikasi VFD yang di dapatkan maka untuk sistem turbin helix dengan kapasitas generator 4000 kW akan dibutuhkan inverter type VFPS1-4630KPC dengan kapasitas 630 kW sebanyak tujuh buah. Untuk sistem pada kincir savonius dengan kapasitas generator 100 kW sebanyak 4 buah maka akan dibutuhkan inverter type VFPS1-4500KPC dengan kapasitas 500 kW sebanyak satu buah. Sedangkan untuk sistem *connected surface buoy system* dengan kapasitas generator 50 kW sebanyak 7 buah maka akan akan dibutuhkan inverter type VFPS1-4400KPC dengan kapasitas 400 kW sebanyak satu buah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa total VFD yang dibutuhkan adalah sebanyak 9 buah.

#### 4.4 Load Share

Permasalahan yang timbul untuk memparalelkan generator dengan kapasitas yang berbeda adalah terjadinya overload pada generator yang kapasitasnya lebih rendah. Untuk mengatasi permasalahan ini terlebih dahulu kita mengetahui karakteristik dari setiap generator. Karakteristik yang dimaksud adalah karakteristik daya terhadap putaran atau frekuensi. Selain itu karakteristik dari masing-masing generator harus mempunyai droop yang sama. Dengan karakteristik yang demikian kita dapat melakukan pengaturan daya generator sehingga dapat mencapai prosentase yang sama pada masing-masing unit generator yang diparalel. Implementasi dari karakteristik tersebut adalah dengan diagram karakteristik frekuensi daya. Supaya terjadi distribusi beban seperti pada diagram karakteristik, maka antar generator dioperasikan pada kecepatan bersama yang besarnya adalah sebagai berikut,

Kecepatan bersama =  $b/d \times g$  atau  $c/e \times g$  (dalam persen)



Gambar: 4.17. Diagram Karakteristik Frekuensi Terhadap Daya Dua Genset.  
Sumber : (<http://eprints.undip.ac.id/>)

Dimana:

- a. Frekuensi atau putaran bersama
- b. Beban pada genset 1
- c. Beban pada genset 2
- d. Kapasitas genset 1
- e. Kapasitas genset 2
- f. Total beban kedua genset
- g. Putaran atau frekuensi tanpa beban dari kedua genset

Untuk itu dalam pembagian daya pada paralel generator akan dilakukan dengan membagi beban berdasarkan kapasitas masing-masing generator. Dalam membagi pembebanan berdasarkan kapasitas masing-masing generator tersebut akan menggunakan *Load Sharer*. Pada gambar 4.17. merupakan peralatan load sharer. Load Sharer menyediakan pembagian beban otomatis dan kontrol frekuensi sistem untuk generator yang berjalan paralel. Pembagian beban proporsional, yang berarti bahwa generator akan dimuat sama dengan kapasitas masing-masing. Beban pada setiap generator dibandingkan dengan beban pada generator lain dan dikoreksi hingga keseimbangan diperoleh. Pembagian beban diperlukan setelah sinkronisasi untuk membangun kembali keseimbangan beban dan untuk mendapatkan stabilitas beban dan frekuensi sistem jangka panjang.



Gambar: 4.18. *Load Sharer*  
Sumber: ([www.selco.com](http://www.selco.com))

#### 4.5 Single line diagram

Tahap selanjutnya adalah pembuatan single line diagram. Single line diagram adalah sebuah gambar teknis elektrikal yang menyajikan hubungan sistem baik tiga

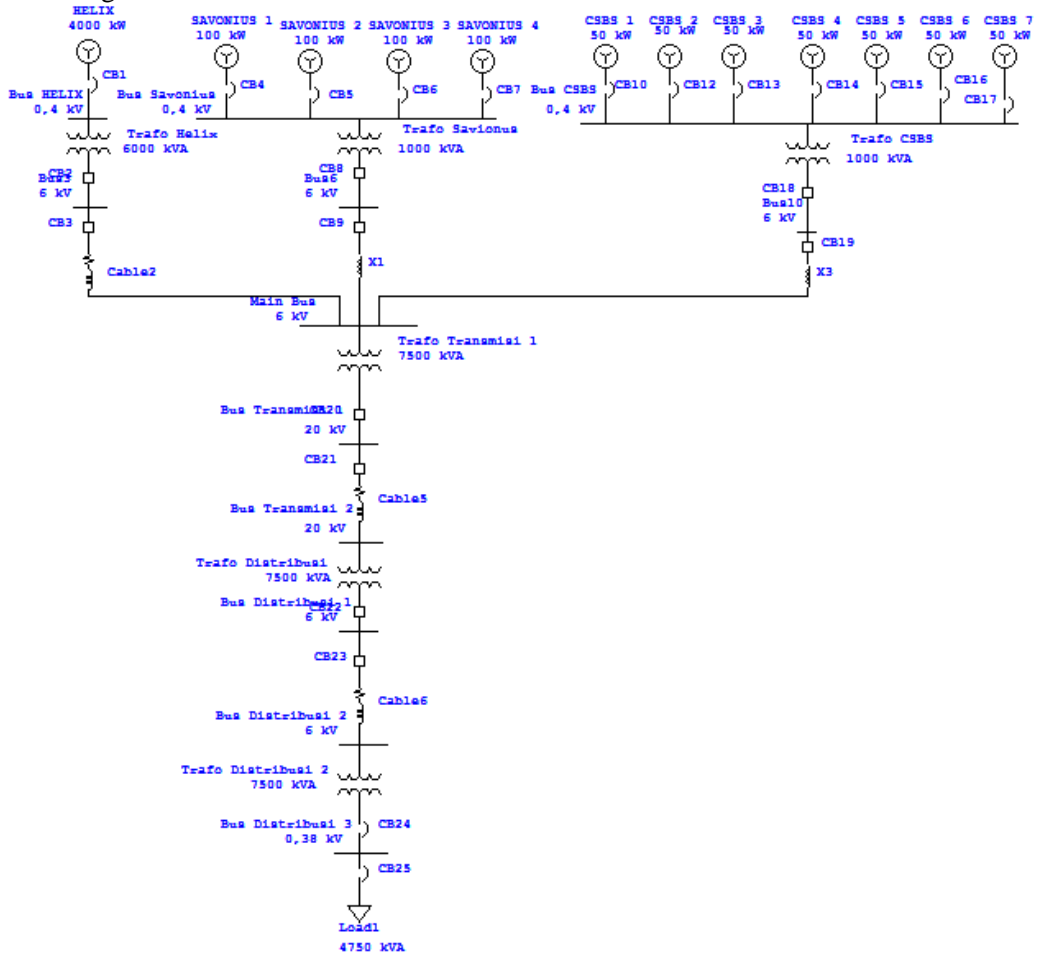
fasa atau satu fasa dari sumber-sumber listrik misal generator, trafo, bus bar, breaker, dan peralatan-peralatan listrik yang lain, seperti beban motor, yang digambarkan dengan satu garis yang menghubungkan satu sama lain. Single line diagram tersebut diperlukan untuk melakukan analisa load-flow dengan menggunakan software di ETAP.

Analisa Load-flow itu sendiri adalah analisa numerik pada aliran daya listrik pada sistem yang terinterkoneksi. Tujuan dari dilakukannya analisa load-flow adalah sebagai berikut:

- Untuk mengetahui setiap tegangan pada sinyal yang ada dalam sistem.
- Untuk mengetahui semua peralatan, apakah memenuhi batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
- Untuk mengetahui kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.

Dari hasil analisa load flow yang dikerjakan akan dilakukan analisa terhadap sistem kelistrikan yang sudah dirancang apakah sudah bisa berjalan dengan baik atau masih perlu dilakukan perencanaan ulang.

Gambar 4.12 merupakan perancangan dari single line diagram yang sudah selesai dirancang.



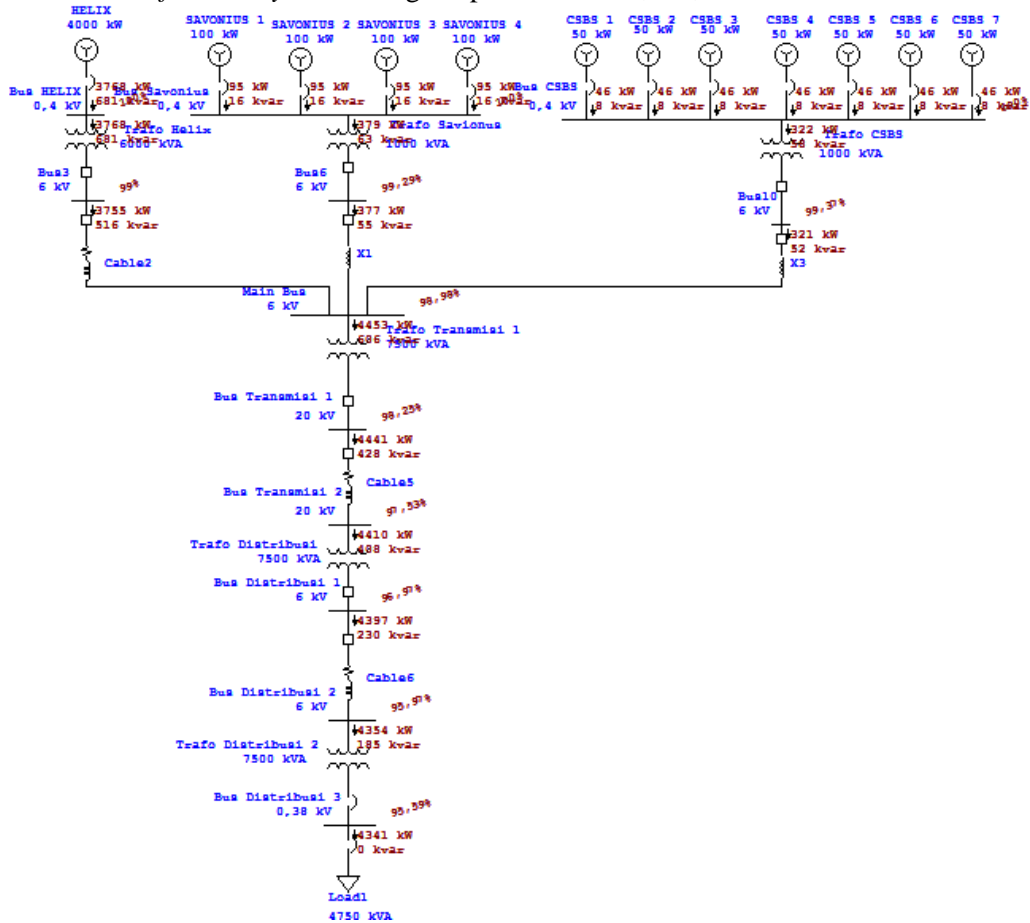
Gambar 4.19. Single Line Diagram



### 4.6 Simulasi Load Flow Analysis

Dengan sudah adanya single line diagram pada sistem kelistrikan pembangkit tersebut, barulah dapat dilakukanya simulasi *load flow*. Simulasi *load flow analysis* dilakukan untuk melihat perbedaan pada nilai arus dan daya pada setiap rangkian yang terdapat pada sistem kelistrikan pembangkit. Hasil yang diharapkan dari simulasi *load flow analysis* adalah untuk mengetahui apakah semua peralatan telah memenuhi batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan dan mengetahui total daya yang bisa digunakan dari pembangkit tersebut.

Gambar 4.13. menggambarkan tentang simulasi *load flow analysis* dan hasil dari simulasi *load flow analysis* diterangkan pada tabel 4.4 , 4.5, dan 4.6 berikut ini.



Gambar 4.20. Load Flow Analysis



Tabel 4.4. *Load Flow Report*

Equipment	KW	Amp
Bus helix	3768	5527
Bus SWT	379	554,1
Bus CSCB	322	472,8
Main Bus	4453	436,9
Bus Transmisi 1	4441	131,1
Bus Transmisi 2	4410	131,1
Bus Distribusi 1	4397	436,9
Bus Distribusi 2	4354	436,9

Tabel 4.5. Branch Loading Summary Report

Equipment	Capability (KVA)	Loading(input)		Loading(output)	
		KVA	%	KVA	%
Trafo Helix	6000	3829	51,1	3791	50,5
Trafo SWT	1000	384	38,3	381	38,1
Trafo CSBS	1000	328	32,8	326	32,6
Trafo Transmisi 1	7500	4494	59,9	4461	59,5
Trafo Distribusi 1	7500	4428	59	4403	58,7
Trafo Distribusi 2	7500	4358	58,1	4341	57,9

Tabel 4.6. Branch Losses Report

Equipment	Losses		% Bus Voltage	
	kW	kvar	From	To
Trafo Helix	12,8	164,5	100	99
Trafo SWT	1,4	8,4	100	99,3
Trafo CSBS	1,1	6,1	100	99,4
Trafo Transmisi 1	12,5	177,6	98,2	99
Trafo Distribusi 1	12,5	178,3	97	97,5
Trafo Distribusi 2	13	185,1	96	95,6
Cable 2	0,6	0,7	99	99
Cable 5	31,1	20,1	98,2	97,5
Cable 6	43,4	44,4	97	96

#### **4.7 Analisa Hasil Simulasi *Load Flow Analysis***

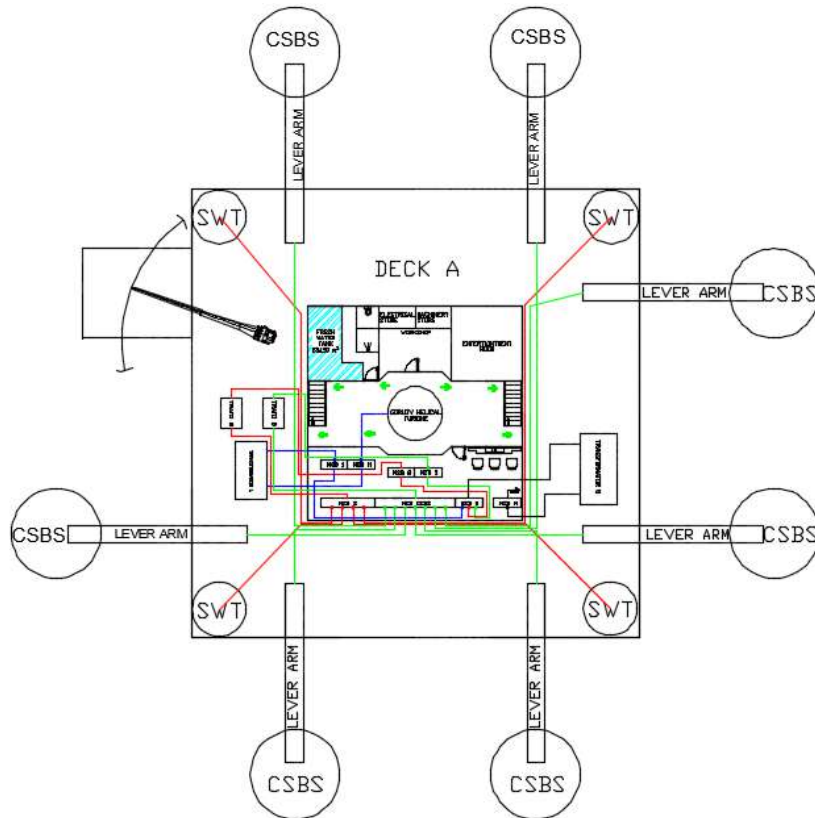
Setelah mendapatkan hasil yang dilakukan saat simulasi *load flow analysis*, selanjutnya melakukan analisa terhadap hasil yang di dapat pada saat simulasi. Pada generator helix daya yang bisa ditransmisikan ke bus helix adalah sebesar 3768 kW, sedangkan dari generator savonius daya yang diterima pada bus SWT adalah sebesar 379 kW dan sedangkan generator *connected surface buoy system* daya yang diterima pada bus CSBS adalah sebesar 322 kW. Berdasarkan hal tersebut maka dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan oleh pembangkit adalah sebesar 4469 kW.

Pada saat sistem diintegrasikan menjadi satu sistem di main bus daya yang diterima oleh main bus adalah sebesar 4453 kW. Setelah itu daya akan ditransmisikan ke darat dengan menggunakan saluran kabel tegangan menengah sebesar 20 kV. Untuk itu, dari main bus akan dinaikkan tegangan dengan menggunakan transformator step up lalu ditransmisikan ke darat. Pada bus transmisi 1 setelah tegangan dinaikkan daya yang diterima adalah sebesar 4441 kW. Setelah sampai di darat maka daya akan didistribusikan hingga sampai ke konsumen. Berdasarkan dari hasil simulasi yang dilakukan daya yang bisa sampai ke konsumen adalah sebesar 4341 kW.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa losses yang dihasilkan dari sistem kelistrikan terebut adalah sebesar 128 kW. Losses paling dihasilkan pada saat transmisi daya dari pembangkit hingga ke darat dimana losses yang dihasilkan mencapai 43,4 kW. Dengan demikian dapat diketahui bahwa daya yang bisa digunakan dari pembangkit sampai dengan konsumen adalah sebesar 4341 kW. Dengan demikian daya yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengaliri lebih dari 4800 rumah dengan asumsi setiap rumah membutuhkan daya sebesar 900 watt.

#### **4.8 Penggambaran Layout Sistem Kelistrikan**

Setelah analisa dari hasil simulasi load flow maka selanjutnya penggambaran layout dari sistem kelistrikan yang sudah dirancang. Penggambaran layout ini untuk mengetahui apakah desain dari pembangkit energi alternatif yang sudah direncanakan sebelumnya masih sesuai apa tidak. Hal ini dikarenakan terdapat penambahan beberapa peralatan seperti swithboard, kabel dan transformator yang akan di instal di platform. Pada gambar 4.14 berikut adalah penggambaran layout dari sistem kelistrikan pada platform pembangkit.



Gambar 4.21. *Layout* sistem Kelistrikan pada Pembangkit Energi Alternatif

Berdasarkan pada gambar 4.14. dimensi pembangkit pada perancangan sebelumnya sudah bisa memenuhi kebutuhan tempat untuk sistem kelistrikan pada pembangkit. Sehingga tidak diperlukan perencanaan ulang pada desain pembangkit energi alternatif. Dalam perancangan sistem kelistrikan pada pembangkit jumlah transformator yang perlu diletakkan di atas platform adalah sebanyak empat buah. Untuk transformator main switchboard kincir savonius dan *connected surface buoy system* dapat diletakkan pada control room karena dimensi dari trafo tersebut masih memungkinkan untuk diletakkan di dalam control room. Sedangkan untuk transformator untuk turbin helix dan untuk transmisi diletakkan pada main deck dikarenakan dimensi dari transformator tersebut tidak memungkinkan untuk diletakkan di dalam control room.

Setelah penggambaran layout dari sistem kelistrikan tersebut tahap selanjutnya adalah diperhitungkan stabilitas pada pembangkit energi alternatif tersebut. Hal ini dikarenakan adanya penambahan sejumlah peralatan yang bisa mempengaruhi stabilitas kapal.

#### 4.9 Analisa Stabilitas Pembangkit Energi Alternatif

Stabilitas kapal merupakan kemampuan yang dimiliki oleh setiap kapal untuk mempertahankan posisinya ketika mengalami oleng akibat gerakan kapal dan

gelombang laut. Kapal yang memiliki stabilitas yang baik akan dapat mengatasi guncangan dengan baik dan tetap memberikan kenyamanan kepada penumpang, sedangkan kapal yang tidak memiliki stabilitas yang baik akan dapat menyebabkan ketidaknyamanan kepada penumpang bahkan dapat menyebabkan kapal tenggelam.

Analisa stabilitas pada platform pembangkit dengan melakukan simulasi pada software MAXSURF. Untuk melakukan analisa stabilitas terlebih dahulu dilakukan membuat tabel loadcase yang berisi jenis peralatan yang dilengkapi dengan jumlah, massa, dan peletakkannya secara longitudinal, transversal, dan vertikal di platform. Kemudian berdasarkan tabel loadcase tersebut akan dilakukan simulasi untuk melihat gerakan platform saat oleng hingga kembali ke posisinya semula dan juga kondisi trim yang dialami oleh platform. Tabel 4.7 menunjukkan tabel loadcase yang akan dianalisa berdasarkan model platform yang telah dibuat.

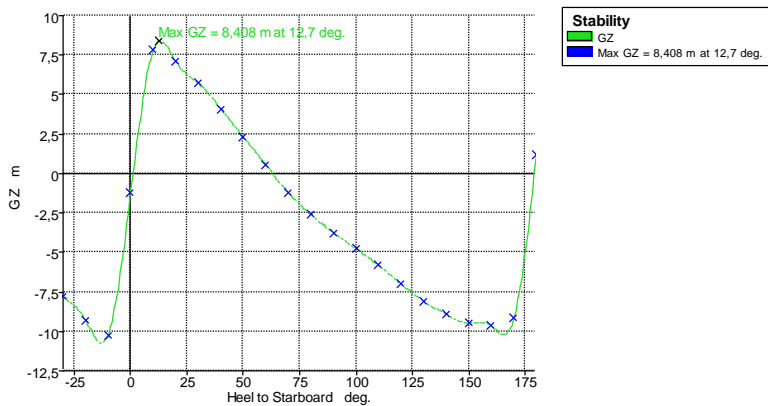
Tabel 4.7. Tabel loadcase

Item Name	Quantity	Unit Mass (kg)	Total Mass (kg)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)
Lightship	1	165,0	165,0	12,500	0,000	3,000
savonius 1	1	501,0	501,0	1,550	-10,970	8,520
savonius	1	501,0	501,0	23,450	-10,970	8,520
savonius	1	501,0	501,0	1,550	10,970	8,520
savonius	1	501,0	501,0	23,450	10,970	8,520
csbs	1	7918,0	7918,0	5,800	-16,080	6,110
csbs	1	7918,0	7918,0	19,200	-16,080	6,110
csbs	1	7918,0	7918,0	28,450	-6,700	6,110
csbs	1	7918,0	7918,0	28,450	6,700	6,110
csbs	1	7918,0	7918,0	19,200	16,080	6,110
csbs	1	7918,0	7918,0	5,800	16,080	6,110
csbs	1	7918,0	7918,0	-3,450	6,700	6,110
crane	1	5200,0	5200,0	0,890	-5,560	8,170
trafo	1	2605,0	2605,0	2,210	0,000	6,780
trafo	1	2605,0	2605,0	4,610	0,000	6,780
trafo	1	12750,0	12750,0	3,350	3,210	7,390
trafo	1	16350,0	16350,0	22,720	3,090	7,680
Total Loadcase			97105,0	13,211	1,190	6,733
FS correction						0,000
VCG fluid						6,733

Berdasarkan tabel loadcase tersebut, akan diperoleh tabel kondisi trim dan grafik stabilitas platform. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa posisi platform pada saat diam adalah trim by bow sebesar 0,053 m atau 0,1205 °. Sedangkan berdasarkan grafik stabilitas momen pengembalian terbesar (GZ) berada ketika kapal membentuk sudut 12,7°.

Tabel 4.8. Tabel Trim pembangkit.

Draft Amidships (m)	0,152
Displacement (kg)	97105
Heel (deg)	0,2
Draft at FP (m)	0,178
Draft at AP (m)	0,125
Draft at LCF (m)	0,152
Trim (+ve by stern) (m)	-0,053
Trim angle (+ve by stern) (deg)	-0,1205



Gambar 4.22. grafik stabilitas

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil studi dan analisa yang telah dilakukan telah dihasilkan perancangan sistem kelistrikan pada pembangkit alternatif kombinasi antara turbine *helix*, Kincir *savonius*, dan *connected surface bouy system*. Berdasarkan sistem kelistrikan yang dirancang dapat diambil kesimpulan bahwa daya yang bisa digunakan di darat berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar 4341 kW. Daya terbesar dihasilkan dari generator pada turbine helix dimana daya yang dihasilkan adalah sebesar 3768 kW, sedangkan untuk generator kincir savonius total daya yang dihasilkan adalah 379 kW, dan generator pada connected surface boy system menghasilkan daya total sebesar 322 kW. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa daya total yang dihasilkan oleh pembangkit adalah 4469 kW. Sehingga dapat diketahui bahwa total losses yang terjadi pada transmisi daya adalah sebesar 128 kW. Losses daya yang terjadi ini disebabkan dari penggunaan transformator dan juga panjang kabel yang digunakan untuk mentransmisikan daya tersebut. Sehingga dari sistem kelistrikan yang dirancang pada pembangkit dapat disimpulkan bahwa total daya yang bisa dimanfaatkan adalah sebesar 4341 kW.

#### **5.2 Saran**

1. Karena tugas akhir ini sistem kelistrikan pada pembangkit alternatif menggunakan tegangan menengah, diperlukanya sistem proteksi untuk melindungi tingginya voltase pada suatu peralatan listrik agar tidak menyebabkan radiasi yang berdampak pada manusia sekitar.
2. Perlu dilakukan perhitungan potensi daya yang dihasilkan pembangkit setiap bulan untuk mengetahui perancangan awal dari sistem kelistrikan tersebut masih sesuai dengan kondisi yang dihasilkan.

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*



## DAFTAR PUSTAKA

- ASELI, 2011, Pengembangan Energi Laut. Jakarta.
- Antono, Djodi dan M. Khambali. 2013. Penerapan Sinkronisasi Jaringan Listrik Tiga Fasa PLN dengan Generator Sinkron Menggunakan *Trainer Power Sistem Simulation*. Semarang.
- Kementrian ESDM, 2016, Rasio Elektrifikasi Listrik di Indonesia. [ebtke.esdm.go.id](http://ebtke.esdm.go.id). Jakarta.
- Lubis, Subaktian, 2016. *Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Dunia*. PPGL.
- LIPI, 2007, Pengembangan Energi Angin Memungkinkan, [www.energi.lipi.go.id](http://www.energi.lipi.go.id), Jakarta.
- Lluch, J. R. (2014). *Power Transmission System for Offshore Wind Farms : Technical-Economic Analysis*. Barcelona.
- Mubarok, M. R. (2018). Design of an electrical powerplant using combination system between gorlov helical turbine, savnoius wind turbine and connected surafce buoy system as a solution for electrical energy crisis in eastern Indonesia. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : 2018
- PT PLN (Persero), 2010, standar konstruksi jaringan tegangan menengah tenaga list rik, Jakarta
- Tenda,Novendry, 2016, Penyusutan Daya Listrik Pada Penyulang Jaringan Transmisi Isimu Marisa. Jurusan teknik electro. Universitas Sam Ratulagi.



# LAMPIRAN

1. Spesifikasi Transformator
2. Spesifikasi VFD
3. Wiring Diagram
4. Single Line Diagram
5. Load Flow Analysis Report
6. One Lline Diagram



STANDARD OF LOSSES, DIMENSIONS AND WEIGHTS  
IEC-60076 (POWER TRANSFORMER)

Capacity kVA	Approx Dimension (mm)			No Load Losses Watt	Load Losses at 75° C		Total Losses Watt	Impedance at 75° C %	Exciting Current %	Oil Volume Liters	Transformer Total Weight Kgs
	Length	Width	Height		Watt	Watt					
7500	3500	4000	2225	7450	50000	62450	8.5	1.5	4610	16350	
9000	3100	4200	2275	9000	40000	49000	8.5	1.5	4500	17200	
10000	3270	4250	2275	8500	70000	78500	8.5	1.3	5250	18875	
12000	3300	4300	2340	10500	80000	90500	9.0	1.3	5800	21500	
13000	3400	4350	2555	12600	90000	102000	9.0	1.3	6800	23500	
15000	3500	4500	2870	15000	100000	115000	10	1.3	7500	27500	
16000	3600	4600	2830	16000	115000	129000	10	1.3	7800	28000	
18000	3680	4650	2850	16500	130000	146500	10	1.3	8000	28400	
20000	4400	4700	4070	15600	165000	160000	12	1.2	10000	32000	
25000	4545	4800	4080	16000	180000	176000	12	1.3	11500	34000	
30000	5440	5000	4580	19000	220000	239000	12.5	1.3	16500	48000	

Note:  
For more detailed specifications, please consult our sales engineer.  
For ratings below 7500kVA, please refer to our catalogue for distribution transformers.

Untuk spesifikasi yang lebih detail, mohon menghubungi sales engineer kami.  
Untuk rating di bawah 7500kVA, mohon mengacu ke brosur trafo distribusi.



PRODUCT CATALOGUE  
POWER TRANSFORMERS

HEAD OFFICE  
PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA  
Jl. Hayam Wuruk 47X  
Jakarta 12126, Indonesia  
Phone: +62 21 385 0703, 345 1384  
Fax: +62 21 385 0702, 386 1869

FACTORY – TRANSFORMER  
Jl. Sitwangi Kel. Alam Jaya, Kec. Jatiluwang  
Tangerang, Banten, Indonesia  
Phone: +62 21 570 3801, 570 3802  
Fax: +62 21 570 0616

For sales inquiries:  
marketing@trafindonesia.com

Visit us [www.trafindonesia.com](http://www.trafindonesia.com)

FACTORY – CTVT  
Jl. Sitwangi Kel. Alam Jaya, Kec. Jatiluwang  
Tangerang, Banten, Indonesia  
Phone: +62 21 5731 9062, 5731 9000  
Fax: +62 21 5731 9001

For sales inquiries:  
sales.ctvt@trafindonesia.com



## TRAFINDO POWER TRANSFORMERS

PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA (TRAFINDO) is the leading transformer manufacturer in Indonesia. For our power transformers, we manufacture up to 35MVA and voltage of 36kV.

A high quality and reliable power transformer starts with an efficient design and must be supported by complete production and test facilities. Our wealth of experience enhances this. In addition, a service team must attend to the site for the assembly and commissioning, making it a complete transformer solution rather than merely a product.

PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA (TRAFINDO) sebagai pabrikana trafo terkemuka di Indonesia mampu memproduksi trafo daya hingga 35MVA dan tegangan 36kV.

Pengadaan trafo daya yang berkualitas dimulai dengan desain yang efisien dan harus didukung dengan fasilitas produksi dan pengujian yang mutakhir. Pengalaman kami di industri trafo sangat mendukung hal tersebut. Tim teknis yang handal juga sangat penting untuk kebutuhan perakitan dan commissioning di lapangan, sehingga pelanggan menerima solusi yang lengkap untuk pengadaan trafo daya.

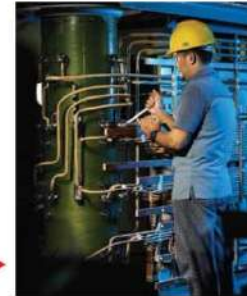


Various tests are conducted starting from the arrival of raw materials, during production and of course after production.  
Berbagai pengujian harus dilakukan, dimulai dari material, saat produksi, dan tentunya setelah produksi.



▼ 16MVA transformer for a power plant.  
Trafo 16MVA untuk proyek pembangkit.

Technicians are available for the site assembly and tests of your power transformers.  
Teknisi kami siap untuk perakitan dan pengujian trafo daya di lapangan.



▶ Transformer with an load tap changer.  
Trafo dengan on-load tap changer.

Power transformers may be equipped with fans and with an on-load tap changer depending on your needs. Other product variants such as special oil and accessories can also be provided.

We have an increasing base of satisfied customers for various industrial and power plant sites in Indonesia and overseas, which further proves that TRAFINDO power transformers is the right solution to your power needs.

Trafo daya bisa dilengkapi dengan fans dan on-load tap changer sesuai kebutuhan anda. Spesifikasi lain misalnya minyak atau proteksi yang khusus juga bisa kami penuhi.

Semakin banyak pelanggan kami yang puas di berbagai proyek industri dan pembangkit baik di Indonesia maupun luar negeri. Inilah bukti bahwa trafo TRAFINDO adalah solusi yang tepat untuk kebutuhan daya anda.

**DISTRIBUTION TRANSFORMER  
STANDARD OF LOSSES, DIMENSIONS AND WEIGHTS  
IEC-60076**

Capacity	Dimension Approximately (mm)			No Load Losses	Load Losses at 75° C	Total Losses	Impedance at 75° C	Exciting Current	Oil Volume	Transformer Total Weight
kVA	Length	Width	Height	Watt	Watt	Watt	%	%	Liters	kga
200	1200	780	1320	480	2500	2980	4.0	2.2	275	1075
250	1265	780	1320	600	3000	3600	4.0	2.1	275	1225
315	1365	815	1390	770	3500	4470	4.0	2.0	290	1230
400	1550	855	1335	930	4400	5530	4.0	1.9	280	1445
500	1550	855	1340	1100	5500	6600	4.0	1.9	475	1700
630	1680	940	1365	1300	6500	7800	4.0	1.8	510	2150
800	1690	1095	1510	1700	9000	10700	4.5	2.0	510	2170
1000	1730	1185	1520	1950	12000	13950	5.0	2.0	680	2605
1250	1880	1285	1570	2000	15000	17000	5.5	2.0	740	2810
1600	1940	1340	1725	2200	19000	21200	6.0	2.0	945	3785
2000	2030	1365	1730	2700	25000	27700	7.0	2.0	990	4130
2500	2300	1390	2165	2800	28000	30800	7.0	2.0	1450	5200
3000	2450	1440	2215	3400	31450	34850	7.5	1.8	1800	5810
3150	2460	1440	2215	3700	32450	36150	7.5	1.8	1820	6220
3500	2655	1405	2445	3700	32450	36150	7.5	1.8	2245	8420
4000	2730	1435	2530	4450	44000	48450	7.5	1.8	2830	9240
5000	3150	1705	3060	5450	45000	50450	8.0	1.5	3580	11550
6000	3210	1710	2780	6000	47000	53000	8.0	1.5	3840	12750



**PRODUCT CATALOGUE  
OIL-IMMERSED TRANSFORMERS**

**HEAD OFFICE**  
PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA  
Jl. Hayam Wuruk 4PX  
Jakarta 10120, Indonesia  
Phone: +62 21 385 0703, 345 1384  
Fax: +62 21 385 0702, 386 1869

**FACTORY – TRANSFORMER**  
Jl. Siliwangi Kel. Alam Jaya, Kec. Jatiuwung  
Tangerang, Banten, Indonesia  
Phone: +62 21 590 3801, 590 3802  
Fax: +62 21 590 0616

For sales inquiries:  
marketing@trafindonesia.com

For transformer services:  
trafo@trafindonesia.com

Visit us [www.trafindonesia.com](http://www.trafindonesia.com)

**FACTORY – CTVT**  
Jl. Siliwangi Kel. Alam Jaya, Kec. Jatiuwung  
Tangerang, Banten, Indonesia  
Phone: +62 21 5931 9002, 5931 9005  
Fax: +62 21 5931 9001

For sales inquiries: sales.ctv@trafindonesia.com







## OIL-IMMERSED TRANSFORMERS

For various installation

PT. Tralindo Prima Perkasa is Indonesia's leading manufacturer of transformers, offering and dry type transformers, and various services. We are certified ISO 9001:2008, 14001:2004, and 18001:2007 to meet international standards.

Our TRAFINDO distribution transformers are also type test certified and highly reputable in various segments in Indonesia and overseas, including: the utility sector, oil and gas sector, industries, buildings, and various others.

We manufacture various specifications according to your needs, up to 36kV and 35MVA, and we guarantee the highest quality and reliable services.

## TRAFINDO BERPENDINGIN MINYAK

Untuk berbagai aplikasi

PT. Tralindo Prima Perkasa adalah pabrikana trafo terbesar di Indonesia, yang memproduksi trafo jenis oli dan dry, serta berbagai servis trafo. Kami bersertifikasi ISO 9001:2008, 14001:2004, dan 18001:2007 untuk memenuhi standar internasional.

Trafo TRAFINDO bersertifikasi LMK (PLN) dan dikenal baik di pasaran Indonesia maupun ekspor, termasuk di sektor PLN, migas, industri, gedung-gedung, dan lainnya.

Kami mampu memproduksi berbagai spesifikasi sesuai dengan kebutuhan pelanggan, hingga tegangan 36kV dan kapasitas 35MVA, dan kami menjamin akan kualitas yang tinggi dan pelayanan yang terbaik.



Hermetically-sealed type



Hermetically-sealed type with nitrogen cushion



Conservator type



Hermetically-sealed type with cable termination boxes



Padmounted type (compartmentalised)



Polemounted type with ANSI standard

We also supply transformers based on your special requests, such as: automatic voltage regulator (AVR), auto transformers, scott transformers, mobile substation transformers and others.

Kami juga mampu memproduksi trafo sesuai dengan permintaan khusus, seperti: automatic voltage regulator (AVR), auto trafo, scott trafo, trafo gardu bergerak dan lainnya.

## External dimensions

■ 200 V class -90 kW, 400 V class -132 to 630 kW model

Figure K

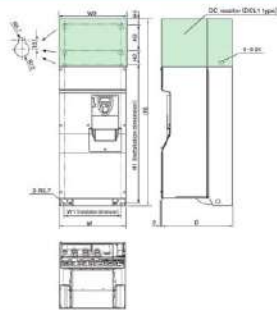


Figure L

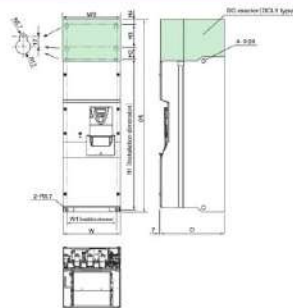


Figure M

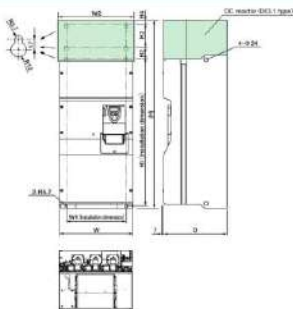


Figure N

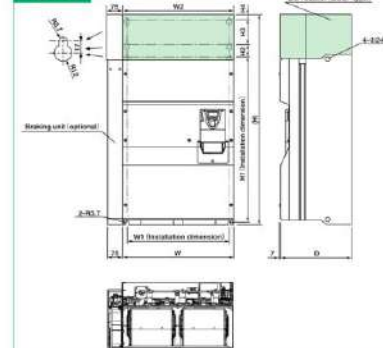


Figure O

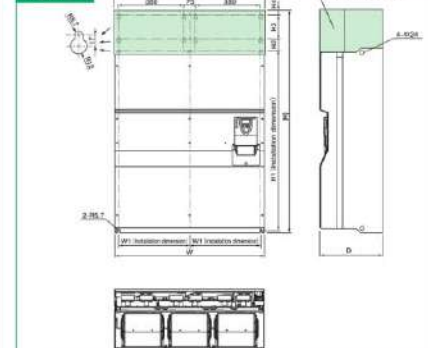
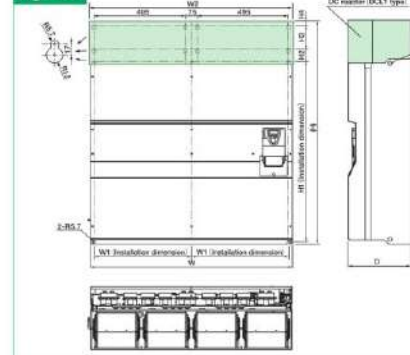
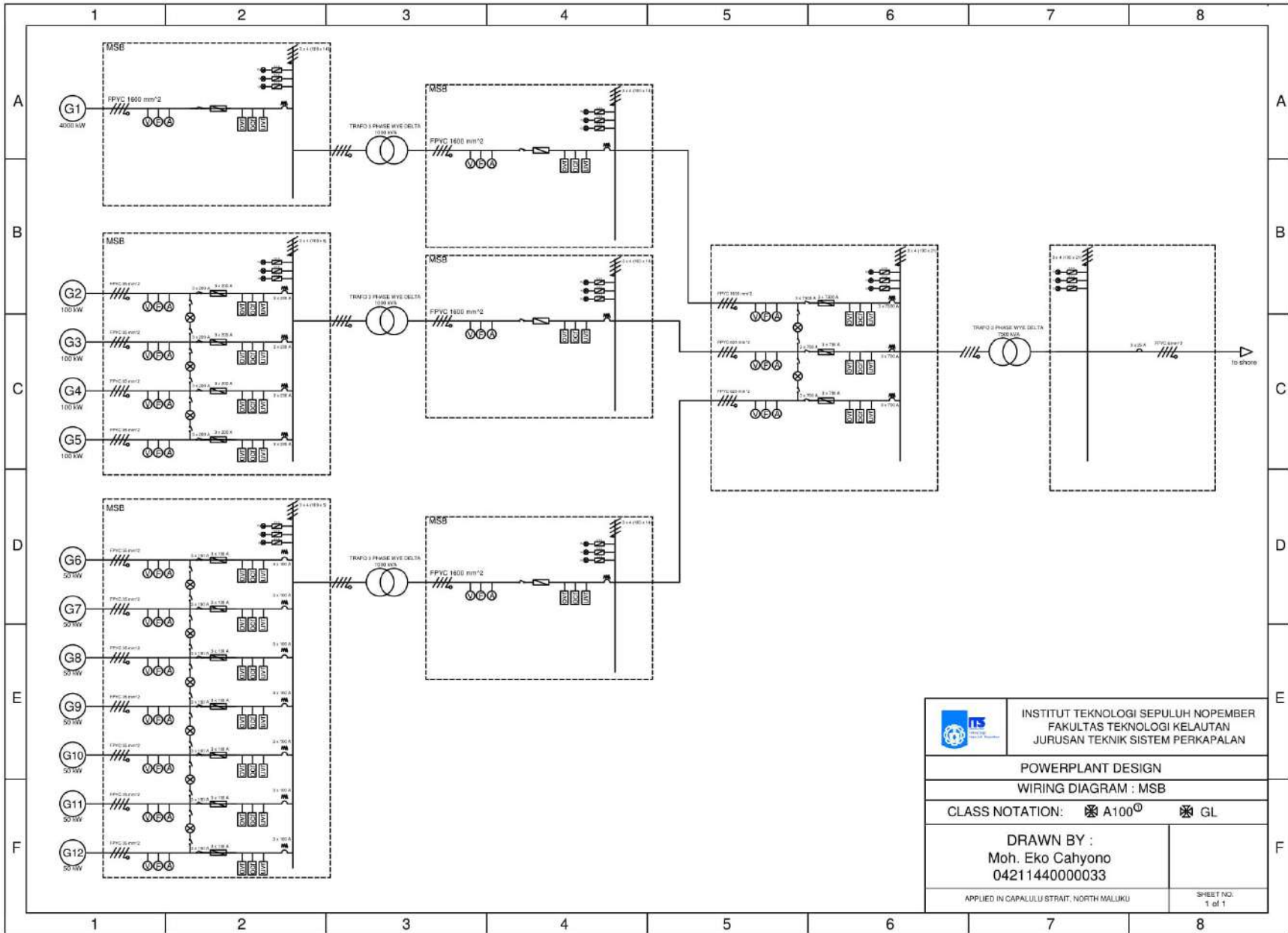


Figure P



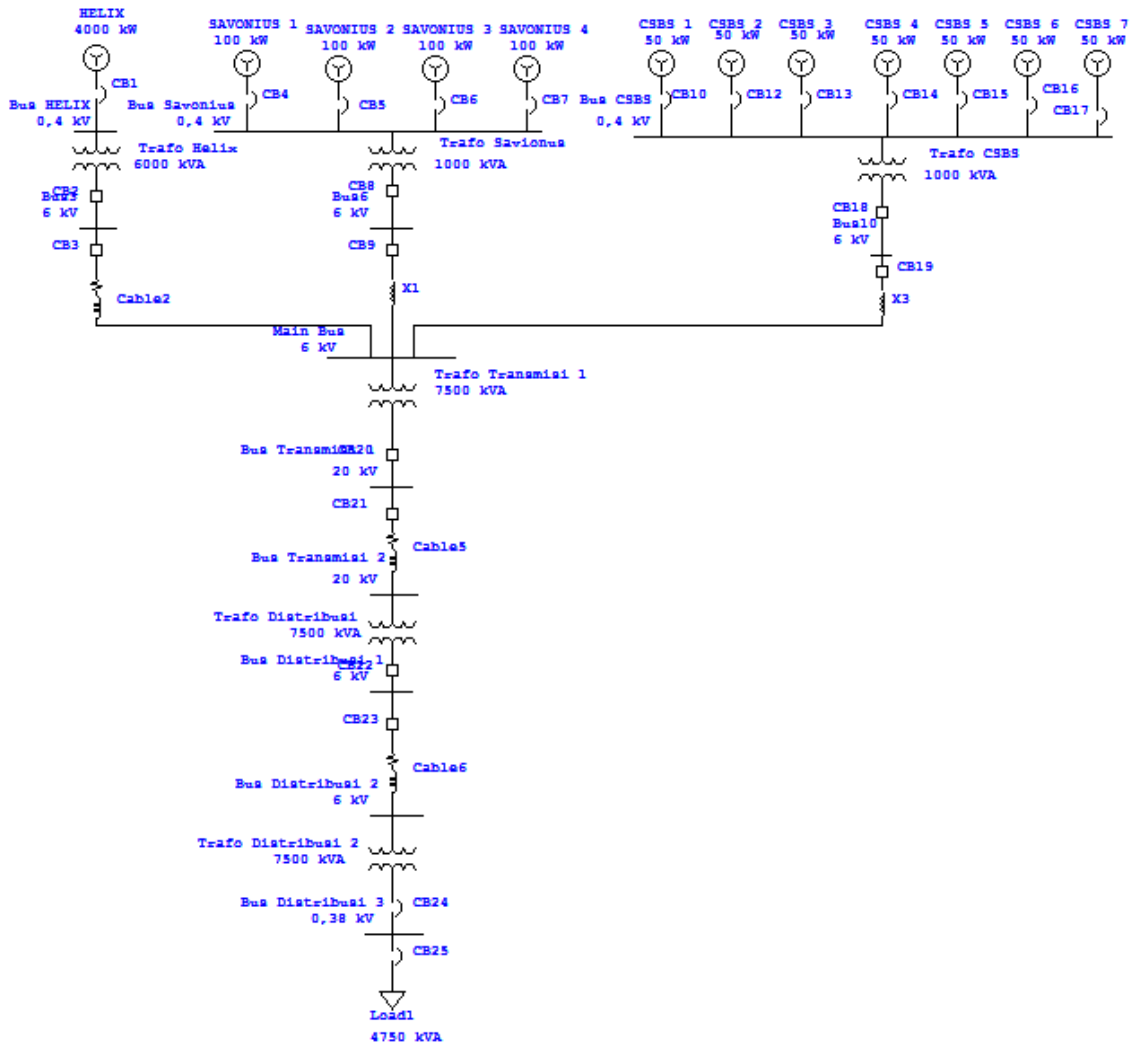
Input Voltage Class	Applicable Motor (kW)	Inverter Type	Dimensions (mm)										External Dimension diagram	Approx. Weight (kg)
			W	H	D	W1	H1	W2	H2	H3	H4			
200V	90	VFPS1-290CP	260	782 (1022)	370	298	758	260	72	190	30	K	72 (103)	
	132	VFPS1-413KPC	350	756 (1022)	370	298	758	260	72	190	30	K	74 (108)	
400V	160	VFPS1-416KPC	330	950 (1190)	370	285	900	240	75	190	30	L	82 (118)	
	220	VFPS1-420KPC	430	950 (1190)	370	360	900	440	75	190	30	M	104 (181)	
	250	VFPS1-425KPC											134 (194)	
	280	VFPS1-428KPC											136 (204)	
	315	VFPS1-431KPC	585	950 (1190)	370	340	900	595	75	190	30	N	136 (204)	
	400	VFPS1-440KPC	860	1150 (1380)	370	418	1130	590	75	190	30	O	215 (322)	
	500	VFPS1-450KPC											225 (330)	
	630	VFPS1-463KPC	1110	1150 (1380)	370	533	1130	1120	75	190	30	P	330 (462)	

Note : The value in parentheses includes attached DC reactor.



	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN	
	POWERPLANT DESIGN WIRING DIAGRAM : MSB	
CLASS NOTATION:  A100 <sup>0</sup> GL		
DRAWN BY : Moh. Eko Cahyono 0421144000033		
APPLIED IN CAPALULU STRAIT, NORTH MALLIKU		SHEET NO. 1 of 1







Project: **ETAP**  
Location: 12.6.0H  
Contract:  
Engineer:  
Filename: QW

Study Case: LF

Page: 1  
Date: 16-07-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: Normal

**Electrical Transient Analyzer Program**

**Load Flow Analysis**

Loading Category (1): Design  
Generation Category (1): Design  
Load Diversity Factor: None

Number of Buses:      Swing      V-Control      Load      Total  
                                 3                    0                    9                    12

Number of Branches:      XFMR2      XFMR3      Reactor      Line/Cable      Impedance      Tie PD      Total  
                                 6                    0                    2                    3                    0                    0                    11

Method of Solution: Adaptive Newton-Raphson Method  
Maximum No. of Iteration: 99  
Precision of Solution: 0.0001000  
  
System Frequency: 50.00 Hz  
Unit System: Metric  
Project Filename: QW  
Output Filename: C:\ETAP 1260\QW\Untitled.lfr

Project:  
Location:  
Contract:  
Engineer:  
Filename: QW

**ETAP**  
12.6.0H  
Study Case: LF

Page: 2  
Date: 16-07-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: Normal

---

**Adjustments**

<u>Tolerance</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Percent</u>
Transformer Impedance:	Yes	Individual	
Reactor Impedance:	Yes	Individual	
Overload Heater Resistance:	No		
Transmission Line Length:	No		
Cable Length:	No		

<u>Temperature Correction</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Degree C</u>
Transmission Line Resistance:	Yes	Individual	
Cable Resistance:	Yes	Individual	



Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: QW

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: LF

Page: 3  
 Date: 16-07-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Bus Input Data**

Bus			Initial Voltage		Load							
					Constant kVA		Constant Z		Constant I		Generic	
ID	kV	Sub-sys	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
Bus CSBS	0.400	1	100.0	0.0								
Bus Distribusi 1	6.000	1	100.0	0.0								
Bus Distribusi 2	6.000	1	100.0	0.0								
Bus Distribusi 3	0.380	1	100.0	0.0			4.750	0.000				
Bus HELIX	0.400	1	100.0	0.0								
Bus Savonius	0.400	1	100.0	0.0								
Bus Transmisi 1	20.000	1	100.0	0.0								
Bus Transmisi 2	20.000	1	100.0	0.0								
Bus3	6.000	1	100.0	0.0								
Bus6	6.000	1	100.0	0.0								
Bus10	6.000	1	100.0	0.0								
Main Bus	6.000	1	100.0	0.0								
Total Number of Buses: 12					0.000	0.000	4.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Generation Bus				Voltage		Generation			Mvar Limits	
ID	kV	Type	Sub-sys	% Mag.	Angle	MW	Mvar	% PF	Max	Min
Bus CSBS	0.400	Swing	1	100.0	0.0					
Bus HELIX	0.400	Swing	1	100.0	0.0					
Bus Savonius	0.400	Swing	1	100.0	0.0					
						0.000	0.000			

Project:  
Location:  
Contract:  
Engineer:  
Filename: QW

**ETAP**  
12.6.0H  
Study Case: LF

Page: 4  
Date: 16-07-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: Normal

**Line/Cable Input Data**

**Ohms or Siemens/1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)**

Line/Cable ID	Library	Size	Length		#/Phase	T (°C)	R	X	Y
			Adj. (m)	% Tol.					
Cable2	6,6NCUS3	300	20.0	0.0	1	75	0.076302	0.084700	
Cable5	15MALS3	240	4000.0	0.0	1	75	0.150880	0.097300	
Cable6	6,0NCUS3	300	1000.0	0.0	1	75	0.075730	0.077600	

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: QW

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: LF

Page: 5  
 Date: 16-07-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**2-Winding Transformer Input Data**

Transformer		Rating					Z Variation			% Tap Setting		Adjusted	Phase Shift	
ID	Phase	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z1	X1/R1	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
Trafo CSBS	3-Phase	1.000	0.400	6.000	5.75	5.79	0	0	0	0	0	5.7500	YNd	0.000
Trafo Distribusi	3-Phase	7.500	20.000	6.000	6.50	14.23	0	0	0	0	0	6.5000	Dyn	0.000
Trafo Distribusi 2	3-Phase	7.500	6.000	0.380	6.75	14.23	0	0	0	0	0	6.7500	Dyn	0.000
Trafo Helix	3-Phase	6.000	0.400	6.000	6.75	12.85	0	0	0	0	0	6.7500	YNd	0.000
Trafo Savionus	3-Phase	1.000	0.400	6.000	5.75	5.79	0	0	0	0	0	5.7500	YNd	0.000
Trafo Transmisi 1	3-Phase	7.500	6.000	20.000	6.50	14.23	0	0	0	0	0	6.5000	YNd	0.000

**Reactor Input Data**

Reactor		Connected Buses		Rated	Impedance		
ID	Phase	From Bus	To Bus	kV	X (ohm)	X/R	% Tol.
X1	3-Phase	Bus6	Main Bus	6.000	1.99980	70.00	0.00
X3	3-Phase	Bus10	Main Bus	6.000	2.69977	76.00	0.00

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: QW

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: LF

Page: 6  
 Date: 16-07-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Branch Connections**

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVA Base			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Trafo CSBS	2W XFMR	Bus CSBS	Bus10	97.86	566.61	575.00	
Trafo Distribusi	2W XFMR	Bus Transmisi 2	Bus Distribusi 1	6.08	86.45	86.67	
Trafo Distribusi 2	2W XFMR	Bus Distribusi 2	Bus Distribusi 3	6.31	89.78	90.00	
Trafo Helix	2W XFMR	Bus HELIX	Bus3	8.73	112.16	112.50	
Trafo Savionus	2W XFMR	Bus Savionus	Bus6	97.86	566.61	575.00	
Trafo Transmisi 1	2W XFMR	Main Bus	Bus Transmisi 1	6.08	86.45	86.67	
Cable2	Cable	Bus3	Main Bus	0.42	0.47	0.63	
Cable5	Cable	Bus Transmisi 1	Bus Transmisi 2	15.09	9.73	17.95	
Cable6	Cable	Bus Distribusi 1	Bus Distribusi 2	21.04	21.56	30.12	
X1	Reactor	Bus6	Main Bus	7.94	555.50	555.56	
X3	Reactor	Bus10	Main Bus	9.87	749.94	750.00	

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: QW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: LF

Page: 7  
 Date: 16-07-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**LOAD FLOW REPORT**

Bus		Voltage			Generation		Load		Load Flow					XFMR	
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap		
* Bus CSBS	0.400	100.000	0.0	0.322	0.058	0	0	Bus10	0.322	0.058	472.8	98.4			
Bus Distribusi 1	6.000	96.968	-7.2	0	0	0	0	Bus Distribusi 2	4.397	0.230	436.9	99.9			
								Bus Transmisi 2	-4.397	-0.230	436.9	99.9			
Bus Distribusi 2	6.000	95.967	-7.7	0	0	0	0	Bus Distribusi 1	-4.354	-0.185	436.9	99.9			
								Bus Distribusi 3	4.354	0.185	436.9	99.9			
Bus Distribusi 3	0.380	95.594	-10.2	0	0	4.341	0.000	Bus Distribusi 2	-4.341	0.000	6898.9	100.0			
* Bus HELIX	0.400	100.000	0.0	3.768	0.681	0	0	Bus3	3.768	0.681	5527.0	98.4			
* Bus Savonius	0.400	100.000	0.0	0.379	0.063	0	0	Bus6	0.379	0.063	554.1	98.6			
Bus Transmisi 1	20.000	98.250	-4.7	0	0	0	0	Bus Transmisi 2	4.441	0.428	131.1	99.5			
								Main Bus	-4.441	-0.428	131.1	99.5			
Bus Transmisi 2	20.000	97.526	-4.9	0	0	0	0	Bus Transmisi 1	-4.410	-0.408	131.1	99.6			
								Bus Distribusi 1	4.410	0.408	131.1	99.6			
Bus3	6.000	98.996	-2.4	0	0	0	0	Main Bus	3.755	0.516	368.5	99.1			
								Bus HELIX	-3.755	-0.516	368.5	99.1			
Bus6	6.000	99.292	-1.2	0	0	0	0	Bus Savonius	-0.377	-0.055	36.9	99.0			
								Main Bus	0.377	0.055	36.9	99.0			
Bus10	6.000	99.371	-1.0	0	0	0	0	Bus CSBS	-0.321	-0.052	31.5	98.7			
								Main Bus	0.321	0.052	31.5	98.7			
Main Bus	6.000	98.977	-2.4	0	0	0	0	Bus3	-3.755	-0.515	368.5	99.1			
								Bus Transmisi 1	4.453	0.606	436.9	99.1			
								Bus6	-0.377	-0.047	36.9	99.2			
								Bus10	-0.321	-0.044	31.5	99.1			

\* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)  
 # Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: QW

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: LF

Page: 8  
 Date: 16-07-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Bus Loading Summary Report**

Bus			Directly Connected Load								Total Bus Load			
			Constant kVA		Constant Z		Constant I		Generic		MVA	% PF	Amp	Percent Loading
ID	kV	Rated Amp	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar				
Bus CSBS	0.400		0	0	0	0	0	0	0	0	0.328	98.4	472.8	
Bus Distribusi 1	6.000		0	0	0	0	0	0	0	0	4.403	99.9	436.9	
Bus Distribusi 2	6.000		0	0	0	0	0	0	0	0	4.358	99.9	436.9	
Bus Distribusi 3	0.380		0	0	4.341	0	0	0	0	0	4.341	100.0	6898.9	
Bus HELIX	0.400		0	0	0	0	0	0	0	0	3.829	98.4	5527.0	
Bus Savonius	0.400		0	0	0	0	0	0	0	0	0.384	98.6	554.1	
Bus Transmisi 1	20.000		0	0	0	0	0	0	0	0	4.461	99.5	131.1	
Bus Transmisi 2	20.000		0	0	0	0	0	0	0	0	4.428	99.6	131.1	
Bus3	6.000		0	0	0	0	0	0	0	0	3.791	99.1	368.5	
Bus6	6.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0.381	99.0	36.9	
Bus10	6.000		0	0	0	0	0	0	0	0	0.326	98.7	31.5	
Main Bus	6.000		0	0	0	0	0	0	0	0	4.494	99.1	436.9	

\* Indicates operating load of a bus exceeds the bus critical limit ( 100.0% of the Continuous Ampere rating).

# Indicates operating load of a bus exceeds the bus marginal limit ( 95.0% of the Continuous Ampere rating).

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: QW

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: LF

Page: 9  
 Date: 16-07-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Branch Loading Summary Report**

CKT / Branch		Cable & Reactor			Transformer				
ID	Type	Ampacity (Amp)	Loading Amp	%	Capability (MVA)	Loading (input)		Loading (output)	
						MVA	%	MVA	%
Cable2	Cable	423.67	368.47	86.97					
Trafo CSBS	Transformer				1.000	0.328	32.8	0.326	32.6
Trafo Distribusi	Transformer				7.500	4.428	59.0	4.403	58.7
Trafo Distribusi 2	Transformer				7.500	4.358	58.1	4.341	57.9
Trafo Helix	Transformer				6.000	3.829	51.1	3.791	50.5
Trafo Savionus	Transformer				1.000	0.384	38.4	0.381	38.1
Trafo Transmisi 1	Transformer				7.500	4.494	59.9	4.461	59.5
X1	Reactor	42.00	36.94	87.96					
X3	Reactor	42.00	31.52	75.05					

\* Indicates a branch with operating load exceeding the branch capability.

Project:  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: QW

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: LF

Page: 10  
 Date: 16-07-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Branch Losses Summary Report**

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Trafo CSBS	0.322	0.058	-0.321	-0.052	1.1	6.1	100.0	99.4	0.63
Cable6	4.397	0.230	-4.354	-0.185	43.4	44.4	97.0	96.0	1.00
Trafo Distribusi	-4.397	-0.230	4.410	0.408	12.5	178.3	97.0	97.5	0.56
Trafo Distribusi 2	4.354	0.185	-4.341	0.000	13.0	185.1	96.0	95.6	0.37
Trafo Helix	3.768	0.681	-3.755	-0.516	12.8	164.5	100.0	99.0	1.00
Trafo Savionus	0.379	0.063	-0.377	-0.055	1.4	8.4	100.0	99.3	0.71
Cable5	4.441	0.428	-4.410	-0.408	31.1	20.1	98.2	97.5	0.72
Trafo Transmisi 1	-4.441	-0.428	4.453	0.606	12.5	178.3	98.2	99.0	0.73
Cable2	3.755	0.516	-3.755	-0.515	0.6	0.7	99.0	99.0	0.02
X1	0.377	0.055	-0.377	-0.047	0.1	8.2	99.3	99.0	0.32
X3	0.321	0.052	-0.321	-0.044	0.1	8.0	99.4	99.0	0.39
					128.7	801.9			



Project:  
Location:  
Contract:  
Engineer:  
Filename: QW

**ETAP**  
12.6.0H  
Study Case: LF

Page: 11  
Date: 16-07-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: Normal

---

**Alert Summary Report**

	% Alert Settings	
	<u>Critical</u>	<u>Marginal</u>
<b><u>Loading</u></b>		
Bus	100.0	95.0
Cable	100.0	95.0
Reactor	100.0	95.0
Line	100.0	95.0
Transformer	100.0	95.0
Panel	100.0	95.0
Protective Device	100.0	95.0
Generator	100.0	95.0
Inverter/Charger	100.0	95.0
<b><u>Bus Voltage</u></b>		
OverVoltage	105.0	102.0
UnderVoltage	92.0	95.0
<b><u>Generator Excitation</u></b>		
OverExcited (Q Max.)	100.0	95.0
UnderExcited (Q Min.)	100.0	

Project:  
Location:  
Contract:  
Engineer:  
Filename: QW

**ETAP**  
12.6.0H  
Study Case: LF

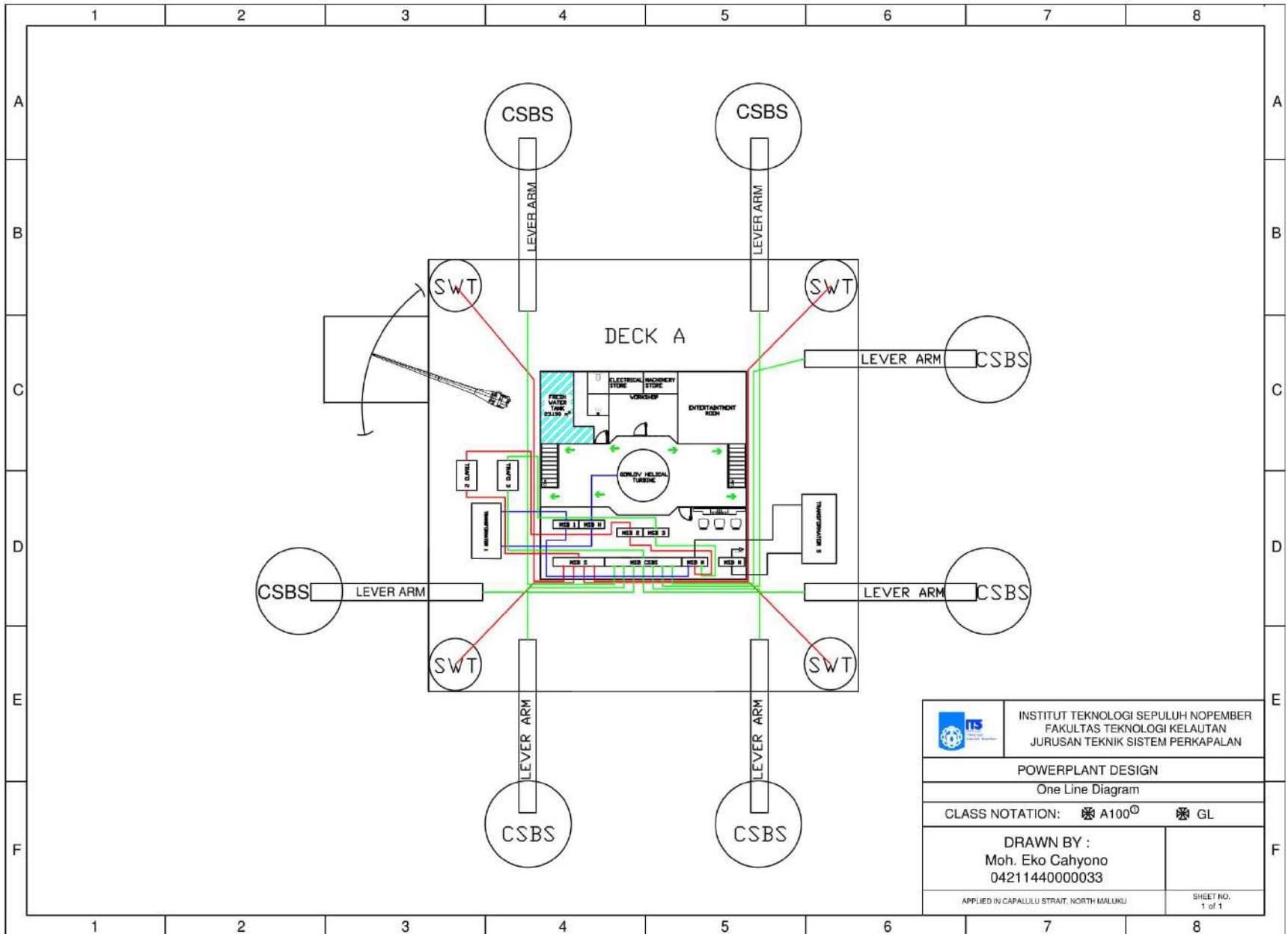
Page: 12  
Date: 16-07-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config: Normal

---

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

	<u>MW</u>	<u>Mvar</u>	<u>MVA</u>	<u>% PF</u>
Source (Swing Buses):	4.469	0.802	4.541	98.43 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0.000	0.000	0.000	
Total Demand:	4.469	0.802	4.541	98.43 Lagging
Total Motor Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Static Load:	4.341	0.000	4.341	100.00 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.129	0.802		
System Mismatch:	0.000	0.000		

Number of Iterations: 3



	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN	
	<b>POWERPLANT DESIGN</b> One Line Diagram	
CLASS NOTATION:  A100 <sup>Q</sup>  GL		
DRAWN BY : Moh. Eko Cahyono 0421144000033		
APPLIED IN CAPALLU STRAIT, NORTH MALUKU		SHEET NO. 1 of 1



## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Nganjuk, Jawa Timur pada tanggal 16 Oktober 1996 dengan nama Moh. Eko Cahyono dan merupakan anak pertama pasangan Kasidi dan Siti Khotimah. Penulis menempuh jenjang mulai dari SD Negeri Jekek II (2002 – 2008), SMP Negeri I Kertosono (2009 – 2011) dan SMA Negeri 2 Kediri (2012 – 2014). Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Undangan pada tahun 2014. Selama menempuh masa studi, penulis aktif di berbagai kegiatan dan organisasi. Diantaranya masuk kedalam METIC HIMASISKAL ITS, Ristek BEM FTK, panitia dari *Marine Icon* 2015 dan *Marine Icon* 2017. Selama masa perkuliahan, penulis juga pernah mengikuti PKM yang diselenggarakan oleh DIKTI dan lolos samapai tahap PKM yang didanai pada tahun 2015. Penulis pada tahun terakhir menjadi anggota dari *Marine Electricity and Automarion System Laboratory* (MEAS) DTSP ITS. Selama menjadi anggota MEAS penulis aktif pada kegiatan praktikum dan menjadi grader praktikum pada mata perkuliahan sistem kelistrikan kapal. Kemudian penulis mengambil tugas akhir dalam lingkup bidang tersebut.