



**TUGAS AKHIR – (ME184834)**

**ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK PADA KANAL  
TERBUKA MENGGUNAKAN *HYDRO-KINETIK*  
TURBIN**

Rocky Deardo  
NRP 04211746000030

Dosen Pembimbing  
Juniarko Prananda, S.T., M.T

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



**TUGAS AKHIR – (ME 184834)**

**ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK PADA KANAL  
TERBUKA MENGGUNAKAN *HYDRO-KINETIK*  
TURBIN**

Rocky Deeardo  
NRP 04211746000030

Dosen Pembimbing  
Juniarko Prananda, S.T., M.T

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020



**BACHELOR THESIS – (ME 184834)**

**ANALYSIS OF POWER PLANT ON OPEN CANAL  
USING HYDRO-KINETIC TURBIN**

Rocky Deardo  
NRP 04211746000030

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

Departement of Marine Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2020





**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK PADA KANAL TERBUKA**  
**MENGGUNAKAN *HYDRO-KINETIK* TURBIN**

**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 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Rocky Deardo**  
**NRP. 0421174600030**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

I. Juniarko Prananda, S.T., M.T  
NIP. 199006052015041001

(  )

**SURABAYA, JANUARI 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK PADA KANAL TERBUKA**  
**MENGGUNAKAN *HYDRO-KINETIK* TURBIN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjan 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 :

**Rocky Deardo**  
**NRP. 0421174600030**

Disetujui Oleh Kepala Departemen

Teknik Sistem Perkapalan



**Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D**

NIP. 197903192008011008

**SURABAYA, JANUARI 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK PADA KANAL TERBUKA MENGUNAKAN *HYDRO-KINETIK* TURBIN**

**Nama : Rocky Deardo**  
**NRP : 04211746000030**  
**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**  
**Pembimbing : Juniarko Prananda, S.T., M.T**

## **ABSTRAK**

Pembangkit listrik merupakan suatu alat/mesin yang dapat dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Ada beberapa jenis pembangkit listrik dengan berbagai macam energi yang dimanfaatkan seperti tenaga air, tenaga uap, tenaga angin, tenaga gas, dll. Tetapi pada saat ini banyak pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air, ini disebabkan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar, dimana tenaga lebih ramah lingkungan dan juga lebih efektif untuk membantu memberikan energi listrik pada daerah terpencil. Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah sumber pembangkit listrik yang merubah energi potensial/kinetik (air yang mengalir) menjadi energi mekanik (bantuan penggerak turbin) dan energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Parameter yang harus diperhitungkan untuk membuat air dapat berpotensi menjadi energi pembangkit listrik adalah debit air yang mengalir, dan juga kapasitas dari daya air yang dapat dihasilkan. Penulis mengambil percobaan pada kanal terbuka outlet dari kondesor Pembangkit Listrik Jawa-Bali (PJB) pada unit Paiton. Dalam mengetahui daya listrik yang dihasilkan oleh kanal di pembangkit ini dilakukan perhitungan sepanjang kanal yang mempunyai panjang 913 meter tetapi diasumsikan panjang 260 meter dan 390 meter karena terdapat belokkan yang membuat aliran air tidak laminer. Dari panjang kanal akan didapatkan jarak efektif untuk susunan total turbin yang akan dipasang. Untuk mengetahui jarak efektif akibat kecepatan aliran yang semakin menurun dan total daya yang dihasilkan dari kanal ini akan dilakukan simulasi fluida. Namun, pada penelitian sebelumnya sudah ada perhitungan untuk 1 susun dengan total 3 turbin pada aliran 2,5 m/s didapatkan total daya 10,5 kW. Setelah itu melakukan analisa untuk mengetahui karakteristik dari rangkaian listrik pada pembangkit. Dilakukan analisa bermanfaat untuk mencegah terjadinya gangguan pada pembangkit listrik, sebelum pembangun pada tahap simulasi yang dilakukakn untuk mengetahui kestabilan tegangan.

**Kata Kunci:** Pembangkit Listrik, Tenaga Air, Energi Potensial, Energi Mekanik, Energi Kinetik, Jarak, Parameter, Kestabilan Tegangan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **ANALYSIS OF POWER PLANT ON OPEN CANAL USING HYDRO-KINETIC TURBIN**

**Name** : Rocky Deardo  
**NRP** : 04211746000030  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan FTK- ITS  
**Supervisor** : Juniarko Prananda, S.T., M.T

### **ABSTRACT**

*Power plant is a tool/machine that can be used to produce and generate electrical power from various energy sources. There are several types of power plants with various energy utilized such as hydropower, steam power, wind power, gas power, etc. But at this time many power plants are utilizing water power, this is due to reduce fuel usage, where energy is more environmentally friendly and also more effective to help provide electrical energy in remote areas. Hydroelectric power is a source of power plants that change the potential energy/kinetic (flowing water) into mechanical energy (turbine drive aid) and mechanical energy into electrical energy (with the help of generators). The parameters that should be taken into account to make water can potentially become power plant energy is the discharge of flowing water, and also the capacity of the water power that can be produced. The author took an experiment on an open channel outlet of the Java-Bali power plant's conductor (PJB) on the Paiton unit. In knowing the electricity generated by the canals in this plant is carried out calculations along the canal which has a length of 913 meters but assumed a length of 260 meters and 390 meters because there is a bend that makes the water flow is not laminer. The length of the channel will be obtained effective distance for the total arrangement of the turbine to be installed. To know the effective distance due to declining flow rate and the total power generated from this channel will be done fluid simulation, however, in previous studies there have been calculations for 1 stacking with a total of 3 turbines at a flow of 2.5 m/s obtained a total power of 10.5 kW. After that analyze to know the characteristics of the electrical circuit on the plant. A useful analysis is carried out to prevent interference from power plants, before the construction of the simulation stage to determine the stability of the voltage.*

*Keywords : Power plant, hydropower, potential energy, mechanical energy, kinetic energy, distance, parameters, voltage stability.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya yang telah dilimpahkan, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “**ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK PADA KANAL TERBUKA MENGGUNAKAN *HYDRO-KINETIK* TURBIN**”. Penulisan tugas akhir ini ditujukan sebagai pemenuhan syarat guna mencapai gelar sarjana teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, disamping tujuan lain bagi pembaca.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari kesulitan dan hambatan, itu semua berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut :

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan banyak rahmat, karunia dan lindungan-Nya kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan tepat pada waktunya.
2. Bapak Gersom dan Ibu Seminar serta keluarga penulis, terima kasih atas doa dan dukungannya selama ini baik dukungan moril maupun material sehingga penulis mampu menyelesaikan program tugas akhir ini.
3. Bapak Beny Cahyono, S.T.,M.T.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya.
4. Dosen pembimbing bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. atas masukan saran dan membimbing serta mengarahkan tugas akhir ini hingga selesai.
5. Bapak Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T. selaku dosen wali selama masa perkuliahan di jurusan teknik sistem perkapalan yang memberikan bimbingan.
6. Semua dosen dan karyawan Teknik Sistem Perkapalan ITS, atas ilmu dan bantuan yang diberikan selama penulis menuntut ilmu.
7. Rekan-rekan Laboratorium Marine Electrical and Automation System (MEAS) atas suka dan duka pada penulis selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
8. Seluruh teman-teman penghuni kontrakan atas segala dukungan dan perjuangan bersama-sama selama menyelesaikan semasa kuliah dari awal sampai akhir.
9. Kepada Fransiskus Tommi Putrandi, S.T dan Fauzi Imam Hidayat, S.T selaku alumni Departemen Teknik Siskal Perkapalan - ITS atas bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Kepada Christy Febrina atas bantuannya dalam memberi semangat kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Kepada teman-teman FTE-ITS atas bantuan dan ilmunya yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Serta teman-teman lintas jurusan siskal angkatan 2017 atas segala suka duka yang telah sama-sama berjuang dari awal perkuliahan. Terima kasih atas semua bantuannya.

13. Kepada teman - teman warkop NU, terima kasih atas segala dukungan serta suka dukanya yang telah menemani penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
14. Terima kasih kepada temen-temen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta yang telah membantu dalam doa serta dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
15. Kepada saudara Imam Anthony Muslim dan Sean Chen Gyarino terima kasih atas bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
16. Serta semua teman, sahabat, dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam membantu menyelesaikan tugas akhir ini.

Dalam pembuatan laporan penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari sempurna, harapan penulis semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi para pembacanya. Adanya kritik, komentar, dan saran sangat penulis harapkan demi penyempurnaan tugas akhir ini di masa mendatang.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	2
1.5. Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Pengertian Pembangkit Listrik.....	5
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	5
2.2.1.Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air .....	6
2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut.....	6
2.4. Macam – macam Turbin Arus Laut.....	7
2.4.1.Turbin Arus Laut Sumbu Vertical .....	7
2.4.2.Turbin Air Laut Sumbu Horizontal .....	8
2.5. Potensi Air Laut Menjadi Energi Listrik .....	9
2.5.1.Debit Air .....	9
2.5.2.Kapasitas yang diperlukan.....	9
2.5.3.Daya Air.....	9
2.5.4.Daya Turbin .....	10
2.5.5.Efisiensi Mekanis Turbin.....	11
2.6. Komponen Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air .....	12
2.6.1.Turbin Vertical Axis .....	12
2.6.2.Generator .....	13
2.6.2.1. Generator AC PMG.....	13
2.6.3.Transformator (Trafo).....	14
2.6.4.MCB (Mini Circuit Breaker) .....	14
2.6.5.Konverter .....	15
2.6.6.Fuse.....	15
2.6.7.Switch .....	15
2.7. Sinkronisasi Paralel Generator.....	16

2.7.1. Cara Manual.....	17
2.7.2. Cara Tegangan, Frekuensi dan Synchroscope .....	17
2.7.3. Cara Otomatis .....	18
2.8. Parameter Simulasi Rangkaian .....	<b>18</b>
2.8.1. Kestabilan Tegangan.....	18
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>21</b>
3.1. Flow Chart Penelitian .....	<b>21</b>
3.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah .....	<b>22</b>
3.3. Studi Literatur .....	<b>22</b>
3.4. Pengumpulan Data.....	<b>22</b>
3.5. Perancangan Design.....	<b>23</b>
3.6. Analisis Data.....	<b>23</b>
3.7. Kesimpulan dan Saran .....	<b>23</b>
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1. Data yang dibutuhkan .....	<b>25</b>
4.1.1. Panjang Kanal .....	25
4.1.1.1. Panjang Kanal 260 .....	25
4.1.1.2. Panjang Kanal 390 .....	26
4.1.2. Desain Turbin .....	26
4.2. Hasil Simulasi CFD .....	<b>27</b>
4.3. Data Hasil Simulasi .....	<b>28</b>
4.3.1. Variasi Jarak 15 Meter .....	28
4.3.2. Variasi Jarak 20 Meter .....	28
4.3.3. Variasi Jarak 25 Meter .....	29
4.3.4. Variasi Jarak 30 Meter .....	29
4.3.5. Variasi Jarak 35 Meter .....	30
4.4. Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 15 Meter.....	<b>30</b>
4.5. Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 15 Meter .....	<b>31</b>
4.5.1. Perhitungan RPM Turbin.....	31
4.5.2. Perhitungan Torsi Turbin.....	32
4.5.3. Perhitungan Daya Turbin.....	33
4.5.4. Perhitungan Daya Generator.....	34
4.5.5. Perhitungan Total Daya Generator .....	34
4.6. Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 20 Meter.....	<b>35</b>
4.7. Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 20 Meter .....	<b>36</b>
4.7.1. Perhitungan RPM Turbin.....	36
4.7.2. Perhitungan Torsi Turbin.....	37

4.7.3.	Perhitungan Daya Turbin.....	39
4.7.4.	Perhitungan Daya Generator.....	39
4.7.5.	Perhitungan Total Daya Generator .....	39
4.8.	Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 25 Meter.....	<b>41</b>
4.9.	Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 25 Meter .....	<b>42</b>
4.9.1.	Perhitungan RPM Turbin.....	42
4.9.2.	Perhitungan Torsi Turbin.....	43
4.9.3.	Perhitungan Daya Turbin.....	44
4.9.4.	Perhitungan Daya Generator.....	45
4.9.5.	Perhitungan Total Daya Generator .....	45
4.10.	Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 30 Meter .....	<b>46</b>
4.11.	Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 30 Meter.....	<b>47</b>
4.11.1.	Perhitungan RPM Turbin.....	47
4.11.2.	Perhitungan Torsi Turbin.....	48
4.11.3.	Perhitungan Daya Turbin.....	50
4.11.4.	Perhitungan Daya Generator.....	50
4.11.5.	Perhitungan Total Daya Generator .....	51
4.12.	Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 35 Meter .....	<b>51</b>
4.12.1.	Perhitungan RPM Turbin.....	52
4.12.2.	Perhitungan Torsi Turbin.....	54
4.12.3.	Perhitungan Daya Turbin.....	55
4.12.4.	Perhitungan Daya Generator.....	55
4.12.5.	Perhitungan Total Daya Generator .....	56
4.13.	Langkah Langkah Simulasi Elektrikal .....	<b>57</b>
4.13.1.	<i>Pembuatan New Project</i> .....	57
4.13.2.	<i>Setting Generator</i> .....	58
4.13.3.	<i>Cable Editor</i> .....	59
4.13.4.	<i>Switch</i> .....	60
4.13.5.	<i>Fuse</i> .....	60
4.13.6.	<i>Circuit Breaker</i> .....	61
4.13.7.	<i>Bus</i> .....	61
4.13.8.	<i>Statistic Load</i> .....	62
4.13.9.	<i>AC-DC Converter</i> .....	62
4.13.10.	<i>DC Circuit Breaker</i> .....	63
4.13.11.	<i>DC-DC Converter</i> .....	63
4.13.12.	<i>DC-AC Inverter</i> .....	64

4.14. Perhitungan Komponen.....	64
4.14.1. Generator .....	64
4.14.2. Perhitungan Pengaman MPPT DC .....	64
4.14.3. Pengaman Inverter DC to AC .....	65
4.14.4. Perhitungan Busbar .....	65
4.15. Simulasi Percobaan .....	65
4.15.1. <i>Line Diagram</i> .....	65
4.15.2. <i>Load Flow</i> .....	66
4.15.3. <i>Drop Voltage</i> .....	66
4.16. Perhitungan Drop Voltage.....	67
4.16.1. Perhitungan Drop Voltage .....	67
4.16.1.1. Berdasarkan Panjang Kabel .....	67
4.16.1.2. Berdasarkan Beban .....	68
4.17 Grafik antara Varias Jarak dengan Total Daya .....	69
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1. Kesimpulan .....	71
5.2. Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Efisiensi Jenis Turbin Air .....	11
<b>Tabel 4.1</b> Tabel Dimensi Turbin.....	26
<b>Tabel 4.2</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter.....	31
<b>Tabel 4.3</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 390 Meter.....	31
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM).....	32
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Simulasi Torsi Terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus .....	33
<b>Tabel 4.6</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter.....	34
<b>Tabel 4.7</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter.....	34
<b>Tabel 4.8</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter.....	35
<b>Tabel 4.9</b> Daya kinetik air panjang kanal 390 meter .....	35
<b>Tabel 4.10</b> Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM).....	36
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Simulasi Torsi Terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus .....	38
<b>Tabel 4.12</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter.....	40
<b>Tabel 4.13</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter.....	40
<b>Tabel 4.14</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter.....	41
<b>Tabel 4.15</b> Daya kinetik air panjang kanal 390 meter .....	41
<b>Tabel 4.16</b> Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM).....	42
<b>Tabel 4.17</b> Hasil Simulasi Torsi Terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus .....	43
<b>Tabel 4.18</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter.....	45
<b>Tabel 4.19</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter.....	46
<b>Tabel 4.20</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter.....	46
<b>Tabel 4.21</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 390 Meter.....	47
<b>Tabel 4.22</b> Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM).....	47
<b>Tabel 4.23</b> Hasil Simulasi Torsi terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus .....	49
<b>Tabel 4.24</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter.....	51
<b>Tabel 4.25</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter.....	51
<b>Tabel 4.26</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter.....	52
<b>Tabel 4.27</b> Daya Kinetik Air Panjang Kanal 390 Meter.....	52
<b>Tabel 4.28</b> Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM).....	52
<b>Tabel 4.29</b> Hasil Simulasi Torsi terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus .....	54
<b>Tabel 4.30</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter.....	56
<b>Tabel 4.31</b> Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter.....	56

<b>Tabel 4.32</b> Tabel Perhitungan Numerik Drop Voltage.....	68
<b>Tabel 4.33</b> Tabel Hasil Simulasi.....	68
<b>Tabel 4.34</b> Tabel Hasil Simulasi.....	69



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	6
<b>Gambar 2.2</b> Turbin Air Laut Berdasarkan Arah Aliran.....	7
<b>Gambar 2.3</b> Jenis Turbin Arus Laut Sumbu Vertical .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Jenis pemasangan Turbin Horizontal Axis .....	8
<b>Gambar 2.5</b> Turbin Vertical.....	12
<b>Gambar 2.6</b> Generator .....	13
<b>Gambar 2.7</b> PMG Generator.....	13
<b>Gambar 2.8</b> Trafo.....	14
<b>Gambar 2.9</b> Mini Circuit Breaker.....	14
<b>Gambar 2.10</b> Switch .....	16
<b>Gambar 2.11</b> Paralel Generator .....	16
<b>Gambar 2.12</b> Indikator Lampu Sinkronisasi Generator Sama Fasa .....	17
<b>Gambar 2.13</b> Cara Tegangan, Frekuensi dan Synchroscope .....	17
<b>Gambar 2.14</b> <i>Drop Voltage</i> menurut <i>IEC 60364</i> .....	18
<b>Gambar 3.1</b> Flow Chart .....	21
<b>Gambar 4.1</b> Kanal 260 meter.....	25
<b>Gambar 4.2</b> Kanal 390 meter.....	26
<b>Gambar 4.3</b> Dimensi Turbin.....	27
<b>Gambar 4.4</b> Dimensi Foil .....	27
<b>Gambar 4.5</b> Simulasi Jarak 15 meter.....	28
<b>Gambar 4.6</b> Simulasi Jarak 20 meter.....	28
<b>Gambar 4.7</b> Simulasi Jarak 25 meter.....	29
<b>Gambar 4.8</b> Simulasi Jarak 30 meter.....	29
<b>Gambar 4.9</b> Simulasi Jarak 35 meter.....	30
<b>Gambar 4.10</b> <i>New Project</i> .....	57
<b>Gambar 4.11</b> <i>User New Project</i> .....	57
<b>Gambar 4.12</b> <i>Sheet New Project</i> .....	58
<b>Gambar 4.13</b> Info Generator (Kiri) dan Rating Generator (Kanan) .....	58
<b>Gambar 4.14</b> Impedance/Mode.....	59
<b>Gambar 4.15</b> <i>Cable Editor</i> Info (Kiri) dan <i>Impedance</i> (Kanan) .....	59
<b>Gambar 4.16</b> <i>Switch Editor</i> .....	60
<b>Gambar 4.17</b> <i>Fuse Editor</i> Info (Kiri) dan Rating (Kanan) .....	60
<b>Gambar 4.18</b> <i>Circuit Breaker</i> Info (Kiri) dan Rating (Kanan) .....	61
<b>Gambar 4.19</b> <i>Bus Editor</i> Info (Kiri) dan Rating (Kanan) .....	61
<b>Gambar 4.20</b> <i>Static Load Editor</i> Info (Kiri) dan <i>Loading</i> (Kanan).....	62
<b>Gambar 4.21</b> <i>AC – DC Converter</i> Info (Kiri) dan Rating (Kanan) .....	62
<b>Gambar 4.22</b> <i>DC Circuit Breaker</i> Info (Kiri) dan Rating (Kanan) .....	63

<b>Gambar 4.23</b> DC-DC Converter Info (Kiri) dan Rating (Kanan).....	63
<b>Gambar 4.24</b> DC-AC Inverter Info (Kiri) dan Rating (Kanan) .....	64
<b>Gambar 4.25</b> Line Diagram .....	65
<b>Gambar 4.26</b> Simulasi <i>Load Flow</i> .....	66
<b>Gambar 4.27</b> Simulasi <i>Drop Voltage</i> .....	66
<b>Gambar 4.28</b> Variasi Jarak dan Total Daya.....	69

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pada saat ini setiap kegiatan sehari – hari di masyarakat memerlukan energi listrik, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga kegiatan pada dunia industri untuk menjalankan suatu proses produksi maka dari itu listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok. Namun sebelum energi listrik dapat di distribusi ke konsumen ada beberapa subsistem yang dilalui mulai dari energi listrik di hasilkan pada pembangkit listrik hingga ke tahap distribusi. Ada beberapa macam – macam pembangkit listrik yaitu, PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel), dll. Tetapi pada pembangkit listrik tenaga di atas sangat tidak efektif jika digunakan pada daerah terpencil karena dapat menimbulkan biaya yang mahal, dikarenakan membutuhkan bahan bakar sebagai penggerak utama pada pembangkit.

Pada zaman sekarang ini mulai banyak pengembangan pembangkit listrik tenaga terbarukan, yaitu dengan memanfaatkan energi air dan energi angin. Terdapat beberapa keunggulan dari energi terbarukan ini seperti ramah lingkungan, perawatan mekanik lebih mudah, dan biaya operasional lebih kecil. Tetapi terdapat beberapa permasalahan pada pembangkit listrik dengan energi angin, dikarenakan dengan ketidakstabilan angin yang berada pada setiap daerah berbeda – beda. Indonesia dengan julukan sebagai negara besar akan wilayah lautnya mulai banyak pengembangan riset energi listrik terbarukan dengan memanfaatkan air laut untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah terpencil. Pada tugas akhir yang berjudul “Analisa Pembangkit Listrik Pada Kanal Terbuka Menggunakan *Hydro-Kinetik* Turbin” ini, penulis akan melakukan perhitungan pada daerah Probolinggo dimana tempat Pembangkit Jawa-Bali (PJB) unit Paiton. Pada Pembangkit Jawa-Bali terdapat sebuah kanal yang akan dianalisa dan dihitung sepanjang kanal tersebut dapat membangkitkan total daya listrik yang dihasilkan, serta mensimulasi analisa rangkaian pada pembangkit listrik di sana. Pada dasarnya penelitian di kanal terbuka unit Paiton ini menggunakan jenis turbin yang hampir sama dengan turbin pembangkit listrik tenaga arus laut, dimana pada pembangkit listrik tenaga arus laut juga membangkitkan listrik dengan pengaruh dari kecepatan aliran air. Pembangkit listrik tenaga arus prinsip kerja turbinnya hampir sama dengan prinsip kerja dari turbin pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Pada umumnya pembangkit listrik terdapat beberapa komponen untuk menunjang proses penghasil listrik sampai menuju pada proses distribusi yaitu, turbin, generator, trafo, transmisi. Pada kanal PJB unit Paiton adalah aliran air sebuah outlet dari condesor pembangkit unit Paiton. Untuk melakukan perhitungan daya akan dilakukan simulasi fluida untuk mengetahui kecepatan aliran pada kanal tersebut. Panjang kanal yang akan dihitung adalah 913 meter, lebar 22 meter, kedalaman air 5 meter. Tetapi penulis mengasumsikan dikarenakan ada belokkan pada kanal yang mengakibatkan aliran air tidak laminer maka penulis mengambil panjang kanal 260 meter dan

390 meter. Lalu perencanaan pada masing-masing panjang kanal akan dicari total jumlah susunan turbin yang dapat menghasilkan total daya pembangkit listrik dengan berbagai variasi jarak yang efektif dengan adanya penurunan kecepatan aliran air. Setelah itu akan dilakukan simulasi rangkaian kelistrikannya yang sudah direncanakan.

Sebelum melakukan proses instalasi sudah sesuai perencanaan dilakukan tahap simulasi desain rangkaian bertujuan selain untuk mengetahui biaya operasional yang dibutuhkan yaitu untuk mengetahui kestabilan tegangan. Pada pembangkit listrik berbahan bakar sebelumnya banyak terjadi gangguan saat sistem sedang beroperasi. Maka jika terjadi gangguan pada sistem dapat dianalisa dengan melihat rangkaian untuk menentukan pada inti permasalahan yang terjadi. Untuk menghindari terjadi gangguan hubungan singkat pada sistem yang bekerja secara terus-menerus ini ada pengaman yang dinamakan *fuse/circuit breaker*.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskanlah masalah untuk dapat dipecahkan pada laporan ini:

1. Bagaimana desain rangkaian elektrik?
2. Bagaimana karakteristik kelistrikan pada rangkaian listrik PLTHK?
3. Berapa jarak minimum untuk dilakukan pemasangan secara array?
4. Berapa total daya yang dapat dibangkitkan pada variasi jarak panjang kanal?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan tugas akhir ini adalah

1. Mendesain rangkaian elektrik.
2. Mengetahui karakteristik kelistrikan pada rangkaian listrik PLTHK.
3. Mengetahui jarak minimum untuk dilakukan pemasangan secara array dalam pembangkit listrik. Untuk mengetahui total daya yang dibangkitkan pada variasi jarak panjang kanal

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Dari penulisan ini tugas akhir ini diharapkan memberikan manfaat untuk:

1. Perusahaan pembangkit listrik tenaga *Hydro - Kinetik* sebagai acuan dalam mengambil keputusan untuk meminimalisir biaya operasi dan komponen yang dibutuhkan.
2. Penulis sebagai referensi solusi alternative untuk mengetahui rangkaian yang sesuai.
3. Sebagai referensi dengan panjang kanal yang dihitung dapat membangkitkan daya listrik sesuai total perhitungan sesuai simulasi

### **1.5. Batasan Masalah**

Agar analisa karya tulis ini terarah, maka dalam pembahasan dan pembuatan model sistem diadakan beberapa pembatasan antara lain:

1. Lokasi Penelitian ada di outlet kanal PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Paiton
2. Tidak melakukan analisa pada turbin
3. Kecepatan arus air diasumsikan uniform

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Di Indonesia dengan ketidakmerataan daerah pelosok yang tidak merasakan energi listrik dikarenakan harga yang cukup mahal dengan pemakaian bahan bakar dari minyak bumi dan lainnya serta jangkauan yang sangat sulit untuk penyupliannya. Oleh karena itu banyak peneliti yang mengembangkan dengan energi terbarukan ini agar masyarakat dapat merasakan dengan sumber energi yang tersedia di daerah tersebut serta dengan sumber daya alam penghasil bahan bakar yang terdapat di bumi semakin lama seiring berjalannya waktu akan mengalami kehabisan, dikarenakan adanya perubahan alam dan kapasitas pemakaiannya yang semakin banyak.

#### **2.1. Pengertian Pembangkit Listrik**

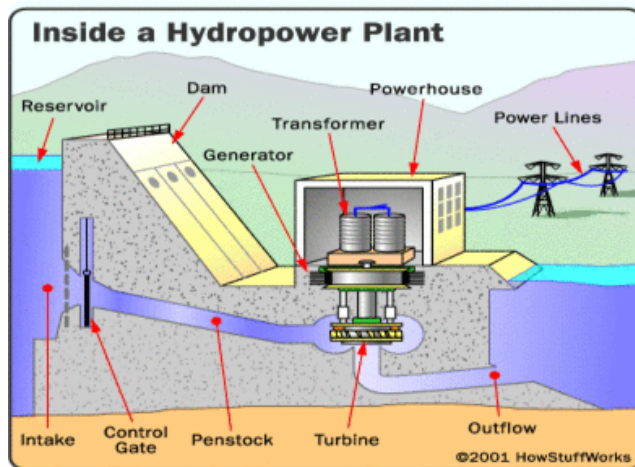
Pengertian pembangkit listrik merupakan suatu alat/mesin yang dapat dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Pada umumnya ada beberapa jenis pembangkit listrik dengan berbagai macam energi yang dimanfaatkan seperti tenaga air, tenaga uap, tenaga angin, tenaga gas, dll. Namun pada perkembangan teknologi, sekarang mulai banyak pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Pembangkit listrik tenaga air ini bertujuan juga untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah terpencil, selain itu juga memiliki kelebihan akan ramah lingkungan.

#### **2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Air**

Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah sumber pembangkit listrik yang memanfaatkan energi penggerak turbin yang berasal dari air. Pada dasarnya merubah energi potensial (air yang mengalir) menjadi energi mekanik (bantuan penggerak turbin) dan energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Energi listrik yang dibangkitkan dengan air ini biasa disebut sebagai *hydro-power electric*. Pada pembangkit listrik tenaga air debit air sangat berpengaruh, karena debit air inilah yang akan menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga mengubah energi potensial/kinetik (turbin) menjadi energi mekanik (generator). Jadi pada perairan yang mempunyai debit air berbeda maka akan menghasilkan kapasitas daya pembangkit listrik yang berbeda-beda. Pembangkit Listrik Tenaga Air dibagi berdasarkan beberapa golongan, antara lain (Alvien, 206):

- A. PLTA berdasarkan kapasitas:
  - *Large – Hydro* : Lebih dari 100 MW
  - *Medium – Hydro* : 15 – 100 MW
  - *Small – Hydro* : antara 1 - 15 MW
  - *Mini – Hydro* : Daya diatas 100 kW, tetapi dibawah 1 MW
  - *Micro – Hydro* : antara 5 kW – 100 kW
  - *Pico – Hydro* : daya yang dikeluarkan 5 Kw
- B. PLTA berdasarkan teknis:
  - PLTA menggunakan air sungai atau waduk

- PLTA menggunakan air yang dipompa ke reservoir dengan letaknya yang lebih tinggi
  - PLTA menggunakan pasang surut air laut
  - PLTA menggunakan energi ombak
- C. PLTA berdasarkan tinggi jatuh air (H):
- PLTA tekanan rendah, dengan  $H < 15$  m
  - PLTA tekanan rendah, dengan  $15 \text{ m} < H < 50$  m
  - PLTA tekanan tinggi, dengan  $H > 50$  m



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Sumber : <http://www.satuenergi.com/2015/03/ada-apa-di-dalam-plta.html>

### 2.2.1. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga air untuk merubah menjadi energi listrik adalah dengan mengolah energi potensial air diubah menjadi energi kinetik, lalu energi kinetik berubah menjadi energi mekanis dengan adanya aliran yang menggerakkan turbin, lalu energi mekanis ini berubah menjadi energi listrik melalui perputaran rotor pada generator. Jumlah energi listrik yang bisa dibangkitkan dengan sumber daya air tergantung pada dua hal, yaitu jarak tinggi air dan berapa besar jumlah air yang mengalir (debit) dengan menggunakan turbin sebagai penggerak generator untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik.

### 2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut

Dengan pesatnya perkembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air dengan banyak penelitian pengembangan pembangkit listrik tenaga arus laut saat ini sebagai energi terbarukan di dunia, seiring meningkatnya permintaan akan kebutuhan energi listrik masyarakat kawasan terpencil dan pelosok serta semakin maraknya isu pemanasan global yang mendorong untuk membatasi penggunaan bahan bakar. Adapun prinsip yang dikembangkan pada aplikasi teknologi pemanfaatan energi



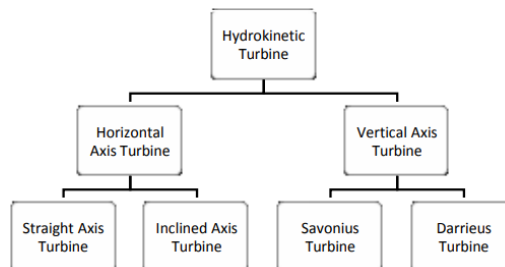
terbarukan dari laut adalah melalui konversi tenaga kinetik masa air laut menjadi tenaga listrik. Ada beberapa negara tercatat telah berhasil melakukan instalasi pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan energi arus dan pasang surut, mulai dari prototype turbin pembangkit hingga mencapai turbin skala komersial dengan kapasitas 1,2 MW/turbin, seperti yang telah dibangun di Skotlandia, Swedia, Perancis, Norwegia, Inggris, Irlandia Utara, Australia, Italia, Korea Selatan dan Amerika Serikat, Rivantoro (2015),.

Pengembangan teknologi konversi energi arus laut pada dasarnya hampir sama dengan penggunaan prinsip kerja PLTA tetapi dari jenis turbin yang sama dengan prinsip kerja dari konversi energi angin yang telah berkembang maka metode dan teori hampir sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Arus air laut adalah pergerakan aliran massa air secara vertikal dan horisontal sehingga menuju keseimbangannya yang dapat menggerakkan turbin. Energi arus laut ini banyak dikembangkan karena dengan arus laut ini dapat diperhitungkan untuk hasil energi yang dihasilkan. Jika ditinjau dari letaknya arus laut dibedakan menjadi 3, yaitu :

- Arus Permukaan : berada pada permukaan laut, dengan kedalaman < 20m
- Arus Sedang : berada pada kedalaman 20-40m
- Arus Dalam : berada pada kedalaman > 40m

## 2.4. Macam – macam Turbin Arus Laut

Pada pembangkit listrik tenaga arus air ini menggunakan turbin hydro-kinetik dengan tipe turbin vertical axis. Gambar dibawah ini adalah suatu pembagian dalam beberapa jenis turbin yang digunakan untuk konversi energy arus laut.

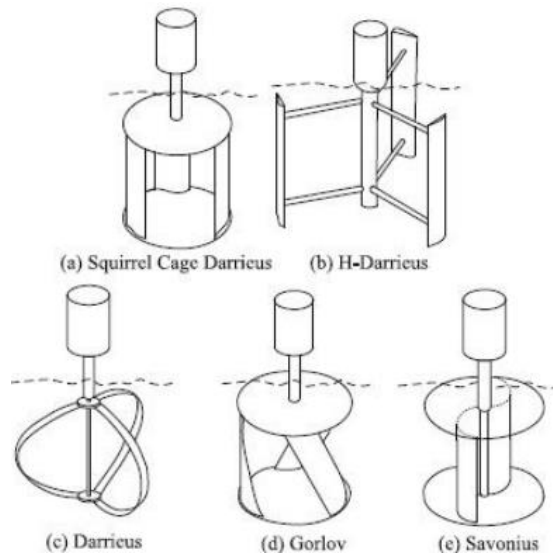


Gambar 2.2 Turbin Air Laut Berdasarkan Arah Aliran  
Sumber : Fransiskus (2019)

### 2.4.1. Turbin Arus Laut Sumbu Vertical

Menurut Slamet (2016), Turbin arus laut sumbu vertical/ tegak lurus memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun dengan tegak lurus. Dimana pada sumbu vertical ini turbin jika terkena aliran air akan bergerak memutar secara horisontal. Kelebihan utama dari turbin sumbu ini adalah tidak harus diarahkan ke arus agar menjadi efektif, ini sangat berguna jika diaplikasikan pada tempat yang arah arusnya bervariasi. Turbin vertical ini mampu mendayagunakan arus dari berbagai arah. Dengan sumbu vertical, generator serta gearbox bisa ditempatkan tepat diatas turbin,

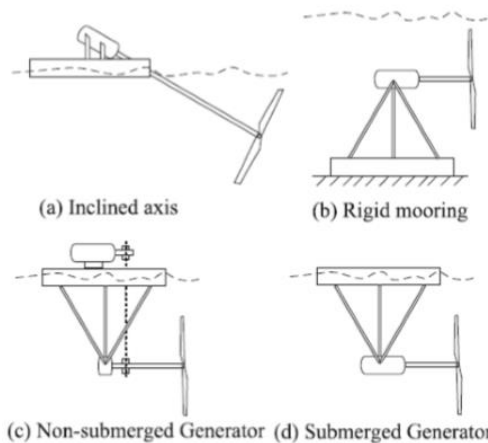
sehingga tidak banyak memakan tempat dan juga jauh lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan.



Gambar 2.3 Jenis Turbin Arus Laut Sumbu Vertical  
Sumber : Fauzi(2019)

#### 2.4.2. Turbin Air Laut Sumbu Horizontal

Menurut Slamet (2016), Turbin arus laut sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di susun secara horizontal. Turbin sumbu horizontal memiliki kelebihan efisiensi yang lebih tinggi, memiliki kemampuan *self starting* yang lebih besar, memiliki rasio biaya terhadap daya yang dihasilkan lebih rendah. Berikut gambar dibawah ini merupakan gambar dari jenis pemasangan turbin sumbu horizontal.



Gambar 2.4 Jenis pemasangan Turbin Horizontal Axis  
Sumber : Fauzi (2019)

## 2.5. Potensi Air Laut Menjadi Energi Listrik

Pada masa saat ini sangat banyak pembangkit listrik tenaga air. Banyak sekali manfaat dari pembangkit tenaga ini, dikarenakan dapat mengurangi pembangkit listrik penggunaan bahan bakar, instalasi yang lebih mudah, proses maintenance yang mudah, dll. Yang dimaksud dengan potensi air adalah dimana besaran kapasitas yang dihasilkan dengan air sebagai tenaga untuk menghasilkan listrik agar dapat sesuai mencapai suatu rencana pembangkit listrik. Ada 2 parameter utama yang menjadi dasar dari terjadinya proses pembangkitan agar sesuai dengan perencanaan tersebut. Berikut adalah beberapa dari parameter tersebut :

### 2.5.1. Debit Air

Pengertian dari debit air adalah jumlah/volume air yang dapat mengalir untuk melewati suatu tempat/penampang pada suatu tempat per satuan waktu. Berikut adalah rumus debit:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots \text{Persamaan (1)}$$

Keterangan :

Q = debit air (m<sup>3</sup>/detik)

V = kecepatan aliran air (m/detik)

A = luas penampang sungai (m<sup>2</sup>)

Debit air (Q) adalah hasil dari perkalian antara luas penampang (A) saluran/aliran dengan kecepatan (V) aliran air yang dapat dilihat pada persamaan:

$$V = S/T \dots\dots\dots \text{Persamaan (2)}$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran pelampung (m/det)

S = jarak dari titik A, ke titik B (m)

T = Waktu tempuh (det)

### 2.5.2. Kapasitas yang diperlukan

Yang dimaksud dengan potensi kapasitas daya adalah suatu daya hasil besarnya daya yang tersedia pada sebuah pembangkit listrik. Berikut adalah perhitungan potensi daya:

$$P = \eta \cdot g \cdot q \cdot h \dots\dots\dots \text{Persamaan (3)}$$

Keterangan :

P = Kapasitas daya pembangkit (kW)

$\eta$  = Efisiensi peralatan Elektromekanik (0,95)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/detik<sup>2</sup>)

q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

h = Tinggi jatuh (m)

### 2.5.3. Daya Air

Ada beberapa factor yang dapat mempengaruhi perhitungan daya pada air dengan persamaan energy kinetic, dimana energy ini dengan memanfaatkan aliran

air yang mengalir. Daya yang dihasilkan air dengan memanfaatkan dari energi kinetic dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots \text{Persamaan (4)}$$

Keterangan :

$m$  = massa laju aliran air (kg/s)

$v$  = kecepatan liran air (m/s)

Dimana nilai  $m$  adalah massa (kg) dan  $V$  adalah kecepatan aliran air (m/s). Besar masa aliran air tiap detik ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$m = \rho A v \dots\dots\dots \text{Persamaan (5)}$$

$$A = p \times l \dots\dots\dots \text{Persamaan (6)}$$

Keterangan :

$P$  = Panjang penampang turbin (m)

$L$  = Lebar Penampang (m)

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = Kecepatan aliran air (m/s)

Jadi dari persamaan diatas didapatkan persamaan untuk menghitung daya yang dihasilkan, sebagai berikut:

$$P = E_k = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots \text{Persamaan (7)}$$

Keterangan :

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$V$  = Kecepatan aliran air (m/s)

Jadi, faktor yang mempengaruhi dayang pada air dengan memanfaatkan aliran air adalah kecepatan aliran air ( $V$ ), luas penampang ( $A$ ), dan massa jenis air dimana masa jenis air adalah  $1025 \text{ kg/m}^3$ .

#### 2.5.4. Daya Turbin

Daya turbin air merupakan suatu daya yang dapat dihasilkan dari output mekanik gaya kinetic turbin air. Daya turbin air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots \text{Persamaan (8)}$$

Dimana :

$P$  = Daya (watt)

$\tau$  = Torsi (N.m)

$\omega$  = Kecepatan Angular (rad/s)

Dari persamaan diatas akan didapatkan persamaan untuk menghitung torsi dan kecepatan angular pada turbin, sebagai berikut:

$$\tau = F \times L \dots\dots\dots \text{Persamaan (9)}$$

Keterangan :

$F$  = Gaya rotor (N)

$L$  = Panjang rotor (m)

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \dots\dots\dots \text{Persamaan (10)}$$

Keterangan :

$\pi$  = konstanta (3,14)

$n$  = putaran motor (rpm/rps)

### 2.5.5. Efisiensi Mekanis Turbin

Efisiensi mekanis turbin adalah suatu nilai besar daya yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin air. Tetapi daya yang dihasilkan oleh turbin berkurang diakibatkan untuk menggerakkan bagian-bagian yang bergerak dengan melawan gaya gesek diantara bagian konstruksi turbin. Berikut tabel dibawah adalah range efisiensi mekanis dari setiap jenis turbin air.

Tabel 2.1 Efisiensi Jenis Turbin Air

Jenis Turbin	Efisiensi	Daerah operasi arus
Gaman	15% - 18%	>0,5m/s
Tyson	16%	>0,5m/s
Savonius	19%	>2m/s
Seaflow	20%	>2m/s
Darrieus	23%	>2m/s
Gorlov	35%	>0,6m/s
Verdant	43%	>2m/s

Sumber : Ricardo, Vol. 5, No.2 (2016)

Pada penelitian ini diasumsikan dengan efisiensi 30%. Maka dari itu perlu ada tinjauan perhitungan untuk menghitung pengaruh pada mekanik turbin, berikut persamaannya:

$$\eta = C_p \times 100\% \dots\dots\dots \text{Persamaan (11)}$$

Keterangan :

$C_p$  = Koefisien Daya

Dari persamaan di atas dengan efisiensi mekanis maka akan di dapatkan untuk perhitungan koefisien daya. Koefisien daya adalah suatu perbandingan antara daya keluaran yang dihasilkan oleh rotor dengan daya arus secara teori, maka didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{2 \times P_t}{\rho A v^3} \dots \dots \dots \text{Persamaan (12)}$$

$$A = 2 \times \pi \times r \times t \dots \dots \dots \text{Persamaan (13)}$$

Keterangan :

$P_t$  = Daya Turbin

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  = Luas penampang turbin ( $\text{m}^2$ )

$V$  = Kecepatan aliran air (m/s)

$\pi$  = 3,14

$r$  = jari – jari turbin (m)

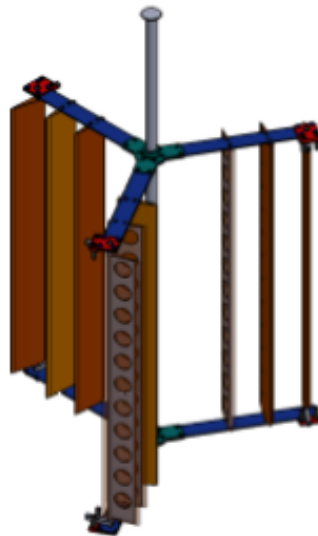
$t$  = tinggi turbin (m)

## 2.6. Komponen Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air

Ada beberapa komponen utama untuk merubah energi potensial dari air untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dibawah ini adalah komponen tersebut :

### 2.6.1. Turbin Vertical Axis

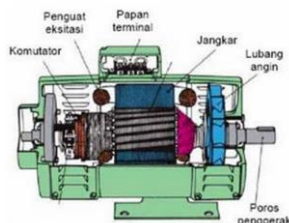
Turbin air tipe vertical ini adalah alat untuk mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik (Ara Afandi, 2018). Turbin berfungsi sebagai merubah energi kinetik menjadi energi mekanik, air akan mendorong sudu – sudu dari turbin dengan mengakibatkan turbin akan berputar. Perputaran inilah yang akan menyebabkan generator bergerak dan merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada turbin vertical ini aliran air akan mendorong sudu turbin dengan arah horizontal.



Gambar 2.5 Turbin Vertical  
Sumber : R. Hantoro

## 2.6.2. Generator

Generator adalah sebuah mesin yang menghasilkan tenaga listrik dengan hasil dari tenaga mekanik ( R. Fazari, 2016). Tenaga mekanik pada generator dapat berasal dari beberapa tenaga seperti panas, air, uap, angin, dll. Lalu energi listrik yang dapat dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC (Arus bolak-balik) maupun arus DC ( Arus searah).

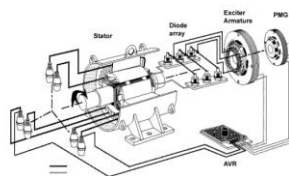


Gambar 2.6 Generator

Sumber : <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/08/prinsip-kerja-generator-DC.html>

### 2.6.2.1. Generator AC PMG

PMG berputar seiring dengan berputarnya rotor. PMG sebagai pembangkit tegangan/ arus AC yang disearahkan kemudian dimasukkan pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*) untuk dikontrol. Karena tegangan/ arus AC pada PMG sangat kecil, arus AC yang sudah disearahkan dimasukkan pada eksiter untuk membangkitkan tegangan AC yang lebih besar. Arus AC keluaran eksiter disearahkan oleh *rotating diode*. Untuk memberikan arus eksitasi pada rotor, sehingga pada rotor terdapat medan magnet. Medan magnet tersebut menabrak kumparan – kumparan pada stator yang menghasilkan fluks listrik. Sehingga dari situ didapatkan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator tersebut. Hal tersebut terjadi berulang – ulang setiap generator beroperasi. Sehingga tidak diperlukan sumber tegangan DC untuk eksitasi pada generator ini. Keluaran generator tersebut diambil melalui stator karena lebih mudah mengambil tegangan pada bagian yang diam dari pada mengambil tegangan pada bagian yang berputar (rotor). Keuntungan dari Generator PMG adalah tegangan eksitasi stabil dan tidak perlu diberi tegangan dc eksternal.



Gambar 2.7 PMG Generator

Sumber : <http://distributorfilter.blogspot.com/2016/10/macam-macam-mesin-genset-di-sekitar.html>

### 2.6.3. Transformator (Trafo)

Trafo adalah suatu peralatan listrik untuk memindahkan dan mengubah tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya dan nilai arus yang berbeda, dengan frekuensi yang sama. Salah satu fungsi trafo adalah untuk menaikkan atau menurunkan tegangan AC (*Alternating Current*) yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik.



Gambar 2.8 Trafo

Sumber : <https://panduanteknisi.com/pengertian-transformator-dan-cara-kerjanya.html>

### 2.6.4. MCB (Mini Circuit Breaker)

MCB adalah sebuah perangkat elektromekanikal yang dapat berfungsi untuk melindungi rangkaian listrik dari arus berlebih dengan cara memutuskan arus tersebut secara otomatis saat melewati batas yang sudah ditentukan. Akan tetapi pada saat kondisi normal, MCB memiliki fungsi sebagai saklar yang dapat menghubungkan dan memutuskan aliran arus listrik secara manual. MCB fungsinya sama dengan fuse, hanya saja yang membedakannya adalah fuse jika sudah terputus tidak dapat terpakai lagi.



Gambar 2.9 Mini Circuit Breaker

Sumber : [trikueni-desain-sistem.blogspot.com](http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com)



### **2.6.5. Konverter**

Konverter adalah suatu alat elektronika yang digunakan untuk mengkonversikan arus-arus pada output atau arus DC maupun dengan AC. Dimana alat ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengubah arah dan menyeimbangkan arus yang dibutuhkan baik AC atau DC. Alat ini biasa digunakan pada alat-alat elektronik ataupun perindustrian. Ada beberapa jenis converter, seperti :

#### **a. Konverter AC-DC (Rectifier)**

Konverter AC-DC atau yang biasa disebut rectifier adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Dengan fungsi dari converter ini adalah untuk menyearahkan listrik arus bolak balik menjadi listrik arus searah. .

#### **b. Konverter DC-DC (Chopper)**

Konvter DC-DC atau yang biasa disebut dengan chopper adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah tegangan DC tetap menjadi sumber tegang DC. Dengan perubahan arus yang searah juga namun pada alat ini nilainya berbeda

#### **c. Konverter DC-AC (Inverter)**

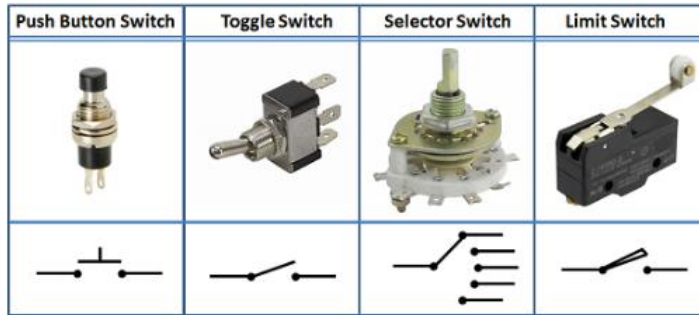
Inverter adalah suatu rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengkonversikan atau mengubah arus searah berupa tegangan DC menjadi tegangan AC. Fungsi inverter utamanya adalah sebagai pengubah tegangan dari arus searah misalnya pada baterai menjadi arus bolak-balik. Inverter adalah merupakan kebalikan dari converter, merubah tegangan AC menjadi tegangan DC.

### **2.6.6. Fuse**

Fuse adalah suatu komponen yang berfungsi sebagai pengaman dalam rangkaian elektronika maupun perangkat listrik. Fuse pada dasarnya terdiri dari sebuah kawat halus pendek yang akan meleleh dan terputus jika dialiri oleh arus listrik yang berlebihan ataupun terjadinya hubungan arus pendek dalam sebuah peralatan listrik.

### **2.6.7. Switch**

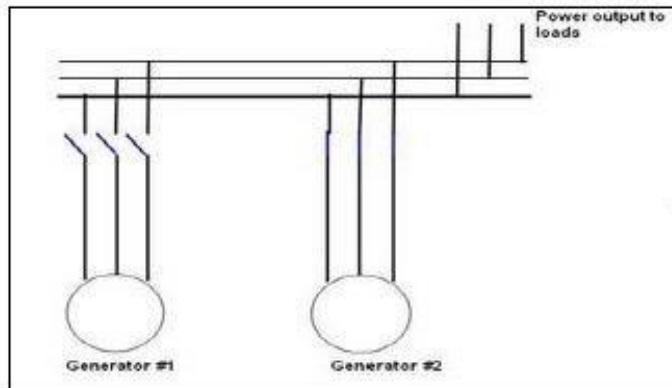
Switch adalah salah satu komponen yang penting dalam setiap rangkaian atau perangkat elektronik. Switch atau saklar adalah perangkat yang digunakan untuk memutuskan atau menghubungkan aliran arus listrik.



Gambar 2.10 Switch

## 2.7. Sinkronisasi Paralel Generator

Sinkronisasi Paralel Generator adalah suatu usaha untuk menggabungkan 2 buah generator atau lebih secara bersamaan untuk mendapatkan total daya yang dibutuhkan dengan syarat yang telah ditetapkan dan dapat beroperasi sesuai dengan perencanaan.



Gambar 2.11 Paralel Generator

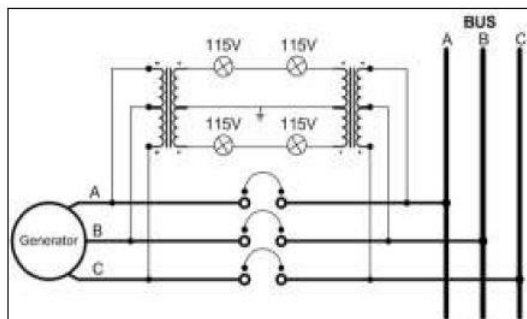
Ada beberapa persyaratan yang harus terpenuhi dalam parallel generator sebelum disinkronkan, sebagai berikut :

1. Tegangan antar generator satu dengan yang lainnya harus memiliki besaran dan amplitude yang sama.
2. Frekuensi antar generator harus diatur dengan besaran yang sama
3. Sudut fasa antar generator harus sama
4. Urutan fasa antara generator satu dan yang lain harus sefasa.

Dalam melakukan paralel generator ada dua acara yang dilakukan yaitu :

### 2.7.1. Cara Manual

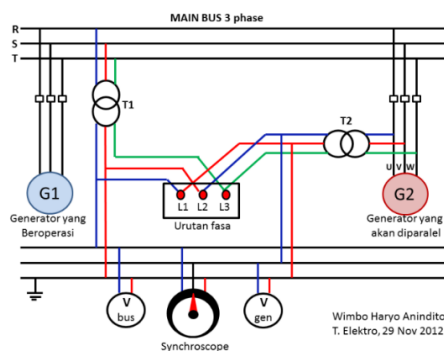
Yang dimaksud dengan cara manual adalah dengan mengandalkan peralatan dan ketelitian operator ketika beberapa generator telah aman untuk dapat diparalel. Alat yang digunakan untuk melakukan sinkronisasi secara manual adalah voltmeter, synchroscope, frekuensi meter, lampu indicator untuk kondisi parallel generator.



Gambar 2.12 Indikator Lampu Sinkronisasi Generator Sama Fasa

### 2.7.2. Cara Tegangan, Frekuensi dan Synchroscope

Pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik, untuk indikator parallel generator dengan menggunakan alat Synchroscope. Penggunaan alat ini dilengkapi dengan Voltmeter untuk memonitor kesamaan tegangan serta volt regulator sebagai pengatur 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 selisih frekuensi telah 0 (No), maka pada kondisi ini saklar dimasukkan (ON).



Gambar 2.13 Cara Tegangan, Frekuensi dan Synchroscope

### 2.7.3. Cara Otomatis

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

## 2.8. Parameter Simulasi Rangkaian

Pada tugas akhir ini dalam design rangkaian ada beberapa parameter yang menjadi acuan proses simulasi. Tujuannya adalah agar dalam proses pembangkit listrik bekerja sistem yang bekerja dapat sesuai dengan perencanaan dan dapat meminimalisir terjadinya gangguan, berikut beberapa parameter tersebut :

### 2.8.1. Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan berkaitan dengan kemampuan suatu sistem daya untuk menjaga tegangan tetap stabil pada semua bus dalam sistem pada kondisi operasi normal dan setelah terjadi gangguan. Ketidakstabilan yang terjadi akan mengakibatkan tegangan turun atau tegangan naik pada beberapa bus. Akibat yang mungkin timbul dari ketidakstabilan tegangan adalah hilangnya beban di daerah dimana tegangan mencapai nilai rendah yang tidak dapat diterima. Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan biasanya jatuh tegangan yang terjadi ketika aliran daya aktif dan reaktif melalui reaktansi induktif yang terkait dengan jaringan transmisi, dimana hal ini membatasi kemampuan jaringan transmisi untuk mentransfer daya. Masalah kestabilan tegangan biasanya akan banyak terjadi pada sistem pembangkit listrik dengan pembebanan yang besar. Di dalam gangguan kestabilan tegangan ada beberapa standar batas yang harus di penuhi menurut *IEC60364* yaitu  $\pm 5\%$  Genta (2017).

Segment	PL1	PL2	PL3	PL4
Residential and small building	5%	3%	3%	3%
Medium and large building	Lighting 3% Other 5%	Lighting 3% Other 5%	3%	3%
Industry and infrastructure	Lighting 6% Other 8%	Lighting 6% Other 8%	6%	6%

Gambar 2.14 *Drop Voltage* menurut *IEC 60364*

Tegangan jatuh dapat dihitung dengan persamaan yang berdasarkan dengan Impedansi pada panjang kabel, sebagai berikut :

$$R = Z = \rho \frac{l}{A} \dots \dots \dots \text{Persamaan (14)}$$

Dimana :

R = Resistansi

$\rho$  = Resistivitas Penghantar

$l$  = Panjang Kabel

$A$  = Luas Penampang

Setelah mendapatkan persamaan dari impedansi panjang kabel, maka akan di dapatkan persamaan selisih dari tegangan, berikut persamaannya:

$$\begin{aligned} \Delta V &= I_s \times (R + jX_l) \\ &= I \times Z \dots \dots \dots \text{Persamaan (15)} \end{aligned}$$

Dimana :

I = Arus

Z = Impedansi

$$\Delta V = V_S - V_R$$

Dimana :

$\Delta V$  = Drop Tegangan

$V_S$  = Tegangan Kirim (V)

$V_R$  = Tegangan Terima (V)

Maka besar nilai presentase (%) rugi tegangan adalah :

Setelah itu akan didapatkan perhitungan untuk persentase dari drop voltage/tegangan jatuh, berikut persamaannya :

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \dots \dots \dots \text{Persamaan (16)}$$

$\Delta V\%$  = Rugi Tegangan Dalam % (V)

V = Tegangan Beroperasi (V)

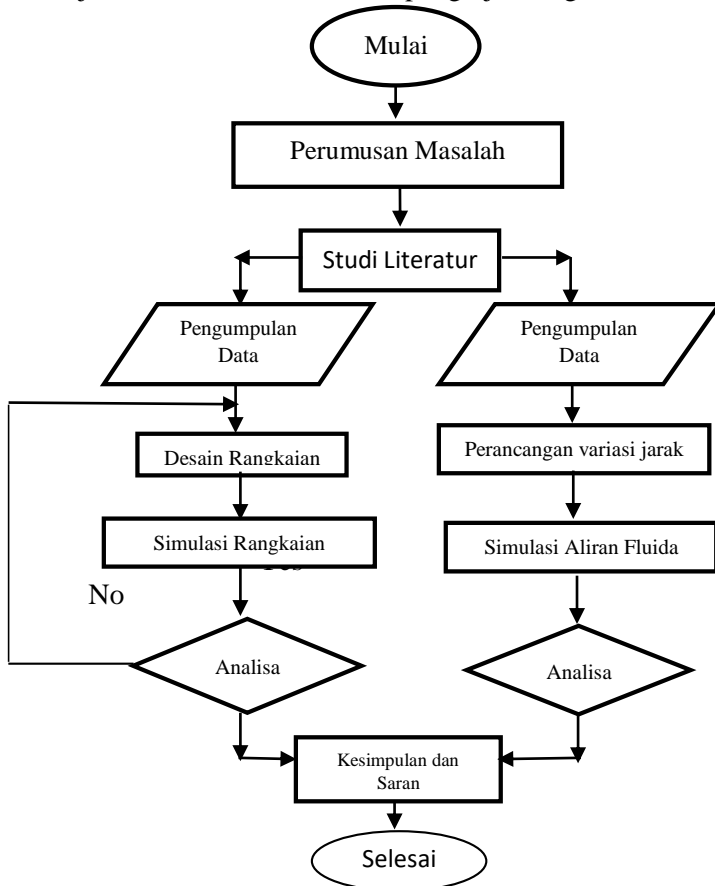
$\Delta V$  = Rugi Tegangan (V)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Flow Chart Penelitian

Untuk menyelesaikan permasalahan pada bab I, pada tugas akhir ini digunakan metode simulasi fluida untuk mengetahui penurunan kecepatan air sepanjang kanal dengan variasi jarak pemasangan total turbin dan perancangan desain rangkaian listrik dan analisa data simulasi pada rangkaian. Dalam simulasi fluida dan simulasi desain rangkaian listrik pada pembangkit listrik tenaga *hydro-kinetik* ada beberapa tahap. Pertama pada simulasi fluida melakukan variasi jarak 15-35 meter untuk variasi jarak efektif pemasangan turbin dan pada simulasi rangkaian listrik melakukan penentuan kapasitas input dan nilai maksimal/minimal output yang direncanakan serta melakukan penentuan komponen yang dibutuhkan pada pembangkit listrik. Lalu membuat skenario nilai-nilai apa saja yang akan dianalisa pada hasil dari simulasi, seperti kestabilan tegangan. Dari tahap - tahap tersebut secara detail dijelaskan melalui Flowchart pengerjaan tugas akhir dibawah:



Gambar 3.1 Flow Chart

### 3.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap ini bertujuan untuk menjelaskan masalah atau permasalahan yang dibahas kepada para pembaca. Secara umum, suatu rumusan masalah akan menyimpulkan fakta-fakta dasar dari masalahnya, menjelaskan alasan masalah itu penting, dan menentukan solusi secepat mungkin, serta menentukan asumsi dan batasan yang akan membantu dalam penyelesaian masalah dalam penelitian. Dalam prosesnya, aktivitas yang dilakukan bisa beragam, seperti konsultasi dengan para ahli di bidangnya, mencari beberapa referensi buku, jurnal yang berkaitan dengan tema penelitian yang akan dilakukan atau dengan kata lain merupakan studi literatur serta melakukan observasi kegiatan serta mengidentifikasi studi kasus yang berkaitan dengan judul tugas akhir yang akan dilakukan pada kondisi sebenarnya agar sesuai dengan perancangan.

### 3.3. Studi Literatur

Mempelajari dan memahami tentang teori pada pembangkit listrik tenaga arus kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga air dan angin. Pada dasarnya energi listrik tenaga angin dan air mempunyai proses yang sama, hanya saja energi yang digunakan berbeda. Mempelajari proses tahap pembangkit listrik memproduksi hingga masuk pada tahap transmisi serta dapat di produksi oleh konsumen. Mempelajari bagaimana potensi air dapat menjadi energi listrik dengan mengandalkan kecepatan aliran air. Mempelajari karakteristik pada teori turbin *hydrokinetic* serta komponen-komponen yang dapat menunjang pada proses pembangkit listrik bekerja, serta menelusuri pustaka ilmiah yang mendukung dalam penulisan laporan tugas akhir.

### 3.4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilaksanakan untuk mengamati hasil simulasi yang akan dianalisa, karena tujuan penulis mempunyai hasil dari variasi jarak efektif untuk pemasangan turbin dan total daya yang dapat dibangkitkan kanal terbuka serta karakteristik dan kestabilan tegangan dari rancangan rangkaian listrik. Dari hasil agar sesuai dengan perencanaan data didapatkan spesifikasi dimensi turbin, kecepatan aliran air konstan, dimensi panjang kanal serta terdapat tiga (3) buah turbin dan tiga (3) buah generator yang dirangkai secara parallel. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, data *output* dari pengumpulan data adalah berupa data primer maupun sekunder yang dibutuhkan untuk menentukan hasil yang diinginkan.



### **3.5. Perancangan Design**

Pada tahap mendesain variasi jarak efektif pada pemasangan turbin dan desain rangkaian, sebelumnya penulis sudah melakukan penentuan variasi jarak minimal 15 meter dan 35 meter untuk pemasangan total turbin sepanjang kanal terbuka serta komponen apa saja yang dibutuhkan pada saat mendesain rangkaian. Menentukan simulasi yang cocok untuk analisa aliran fluida dan mensinkronisasi 3 buah generator. Menentukan kabel penghantar yang sesuai dengan sistem pembangkit listrik agar tidak terjadi tegangan jatuh.

### **3.6. Analisis Data**

Analisa data dilakukan untuk mengetahui penurunan kecepatan aliran dengan jarak yang efektif untuk memasang total pemasangan turbin dan rangkaian sistem pembangkit listrik ini dapat sesuai dengan yang direncanakan pada hipotesis awal. Apabila tidak sesuai dengan hipotesis, langkah apa yang dapat dilakukan.

### **3.7. Kesimpulan dan Saran**

Tahap ini merupakan tahapan akhir dalam proses penelitian yang dilakukan yakni proses penarikan kesimpulan dari seluruh hasil simulasi aliran fluida serta rangkaian kegiatan penelitian yang dilakukan. Dalam pengambilan kesimpulan didasarkan untuk menjawab perumusan masalah yang telah ditentukan. Kesimpulan dapat juga ulasan dari analisa aliran fluida serta total daya yang dibangkitkan pada jarak efektif pemasangan total turbin sepanjang kanal terbuka serta simulasi rangkaian listrik pada pembangkit listrik tenaga *hydro-kinetik*.

Terakhir yaitu memberi saran yang membangun untuk mahasiswa terhadap tugas akhir yang telah diselesaikan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB IV PEMBAHASAN**

### **4.1. Data yang dibutuhkan**

Sebelum melakukan hasil simulasi ada beberapa data yang digunakan sebagai parameter pada simulasi yang diinginkan. Berikut data yang akan digunakan :

#### **4.1.1. Panjang Kanal**

Simulasi akan dilakukan untuk mengetahui kecepatan aliran air yang akan digunakan untuk menghitung seberapa total daya yang akan dibangkitkan sepanjang kanal yang direncanakan.

##### **4.1.1.1. Panjang Kanal 260**



Gambar 4.1 Kanal 260 meter

Pada gambar diatas menunjukkan bagaimana panjang kanal hanya dihitung pada kondisi lurus, ini dikarenakan asumsi pada belokkan kanal kondisi aliran fluida tidak akan stabil. Lalu dengan panjang kanal 260 meter sebelumnya terlihat kondisi fluida seperti beriak. Riak air itu lah hasil dari output pada condesor yang kondisi fluidanya tidak stabil.

#### 4.1.1.2. Panjang Kanal 390



Gambar 4.2 Kanal 390 meter

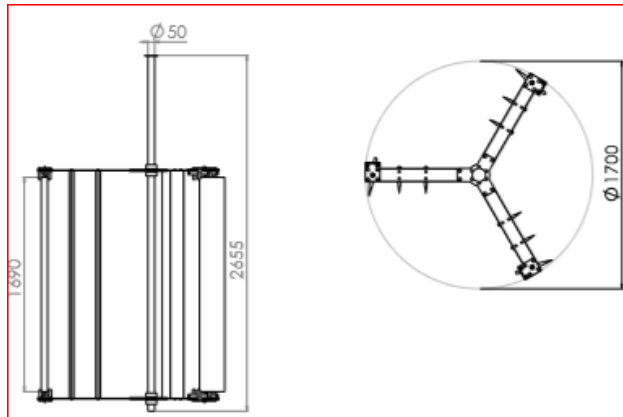
Pada gambar diatas menunjukkan bagaimana dari panjang kanal 390 meter yang diambil pada setelah belokkan kanal sebelumnya. Ini untuk mengasumsikan agar aliran fluida kembali konstan. Lalu pada kanal 390 meter didepannya terdapat air terjun, dimana aliran fluida akan memasuki kondisi turbulen.

#### 4.1.2. Desain Turbin

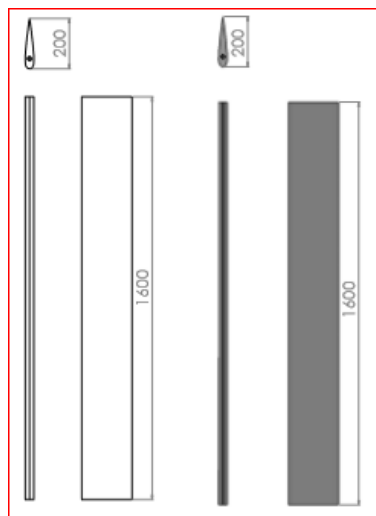
Berikut adalah dimensi turbin air vertical yang digunakan untuk disimulasikan.

Tabel 4.1 Tabel Dimensi Turbin

No	Unit	Ukuran
1	Panjang Foil	160 cm
2	Lebar Foil	20 cm
3	Tinggi Poros	265 cm
4	Diameter Blade	170 cm
5	Diameter rotor	0,5 cm



Gambar 4.3 Dimensi Turbin



Gambar 4.4 Dimensi Foil

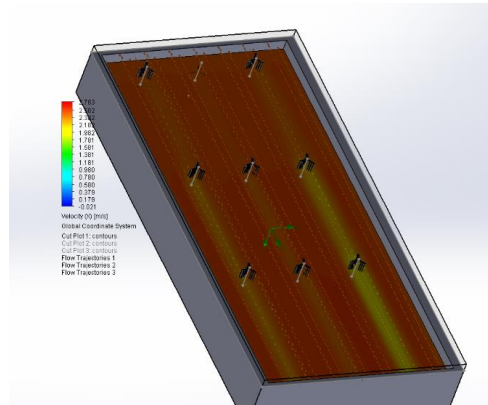
## 4.2. Hasil Simulasi CFD

Pada pembahasan untuk mengetahui hasil simulasi CFD Solidwork, data yang akan diambil dari hasil simulasi adalah kecepatan aliran air. Kecepatan aliran pada hasil simulasi ini sangat berguna untuk mengetahui perencanaan daya yang akan dihasilkan pada pembangkit listrik. Pada simulasi ini penulis melakukan beberapa variasi jarak dalam simulasi. Jarak yang dipakai adalah 15 m, 20 m, 25m, 30 m, dan 35 m. Dalam variasi jarak ini berfungsi untuk mengetahui kecepatan aliran dan jarak yang ideal untuk perencanaan turbin air vertical.

### 4.3. Data Hasil Simulasi

Pada hasil simulasi penulis mengambil parameter objek dengan panjang kanal masing – masing 260 meter dan 360 meter dengan lebar kanal 22 meter, serta kedalaman kanal 5 meter. Berikut hasil simulasi dari beberapa variasi tersebut :

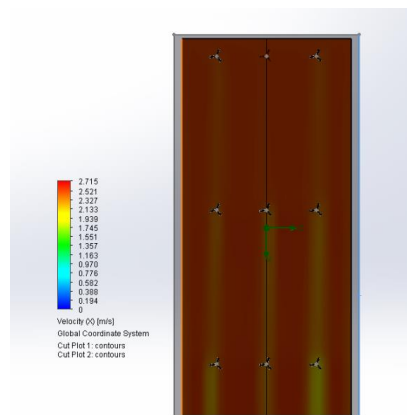
#### 4.3.1. Variasi Jarak 15 Meter



Gambar 4.5 Simulasi Jarak 15 meter

Pada hasil dari simulasi CFD variasi 15 meter didapatkan hasil dengan kecepatan aliran air pada turbin lapis pertama yaitu 2,5 m/s, lalu pada lapis turbin kedua didapatkan nilai 2,3 m/s, serta pada lapis ke tiga didapatkan nilai 2,1 m/s. Pada hasil simulasi diasumsikan sampai pada lapisan sepanjang kanal itu akan mengalami penuruna sebanyak 0.2 m/s.

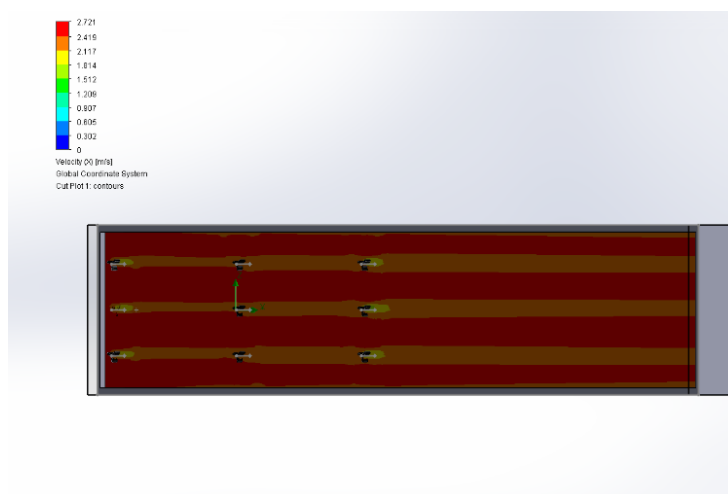
#### 4.3.2. Variasi Jarak 20 Meter



Gambar 4.6 Simulasi Jarak 20 meter

Pada hasil dari simulasi CFD variasi 20 meter didapatkan hasil dengan kecepatan aliran air pada turbin lapis pertama yaitu 2,5 m/s, lalu pada lapis turbin kedua didapatkan nilai 2,4 m/s, serta pada lapis ke tiga didapatkan nilai 2,3 m/s. Pada hasil simulasi diasumsikan sampai pada lapisan sepanjang kanal itu akan mengalami penurunan sebanyak 0.1 m/s.

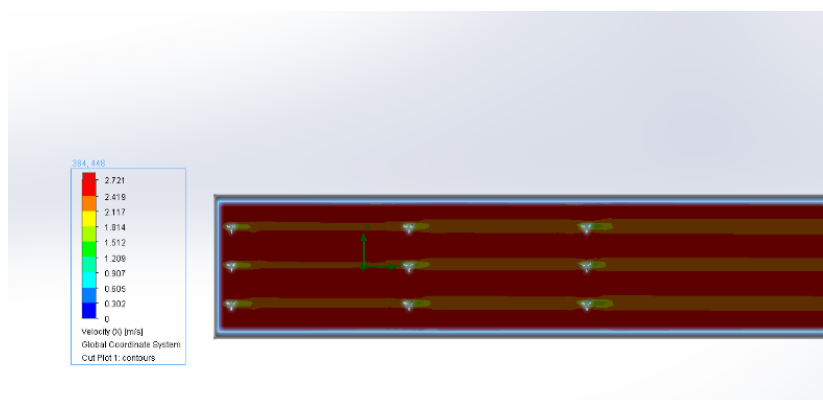
#### 4.3.3. Variasi Jarak 25 Meter



Gambar 4.7 Simulasi Jarak 25 meter

Pada hasil dari simulasi CFD variasi 25 meter didapatkan hasil dengan kecepatan aliran air pada turbin lapis pertama yaitu 2,5 m/s, lalu pada lapis turbin kedua didapatkan nilai 2,4 m/s, serta pada lapis ke tiga didapatkan nilai 2,4 m/s. Pada hasil simulasi mendapatkan penurunan hanya 0,1 m/s dengan konstan, ini dikarenakan jarak yang mempengaruhi aliran turbulen dapat kembali laminar.

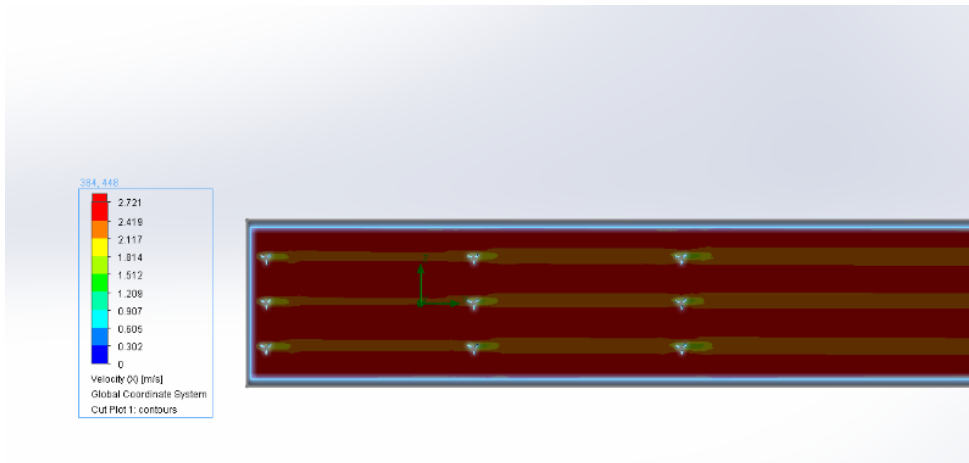
#### 4.3.4. Variasi Jarak 30 Meter



Gambar 4.8 Simulasi Jarak 30 meter

Pada hasil dari simulasi CFD variasi 30 meter didapatkan hasil dengan kecepatan aliran air pada turbin lapis pertama yaitu 2,5 m/s, lalu pada lapis turbin kedua didapatkan nilai 2,4 m/s, serta pada lapis ke tiga didapatkan nilai 2,4 m/s. Pada hasil simulasi mendapatkan penurunan hanya 0,1 m/s dengan konstan, ini dikarenakan jarak yang mempengaruhi aliran turbulen dapat kembali laminar.

#### 4.3.5. Variasi Jarak 35 Meter



Gambar 4.9 Simulasi Jarak 35 meter

Pada hasil dari simulasi CFD variasi 35 meter didapatkan hasil dengan kecepatan aliran air pada turbin lapis pertama yaitu 2,5 m/s, lalu pada lapis turbin kedua didapatkan nilai 2,4 m/s, serta pada lapis ke tiga didapatkan nilai 2,4 m/s. Pada hasil simulasi mendapatkan penurunan hanya 0,1 m/s, ini dikarenakan jarak yang mempengaruhi aliran turbulen dapat kembali laminar. Bahkan pada variasi jarak 35 meter kecepatan aliran air dapat kembali mendekati keadaan konstan 2,5 m/s.

#### 4.4. Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 15 Meter

Daya yang dihasilkan air dengan memanfaatkan dari energy kinetic dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1025 \times 9,02 \text{ m}^2 \times 2,5^3$$

$$P = 72.240,238 \text{ watt}$$

$$P = 72,2 \text{ kW}$$

Berikut adalah perhitungan dari jumlah total daya kinetic air dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter.



Tabel 4.2 Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.24
Lapis 2	2.3	56252.61
Lapis 3	2.1	42817.08
Lapis 4	1.9	31711.73
Lapis 5	1.7	22714.64
Lapis 6	1.5	15603.89
Lapis 7	1.3	10157.56
Lapis 8	1.1	6153.71
Lapis 9	0.9	3370.44
Lapis 10	0.7	1585.82
Lapis 11	0.5	577.92

Tabel 4.3 Daya Kinetik Air Panjang Kanal 390 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.24
Lapis 2	2.3	56252.61
Lapis 3	2.1	42817.08
Lapis 4	1.9	31711.73
Lapis 5	1.7	22714.64
Lapis 6	1.5	15603.89
Lapis 7	1.3	10157.56
Lapis 8	1.1	6153.71
Lapis 9	0.9	3370.44
Lapis 10	0.7	1585.82
Lapis 11	0.5	577.92

#### 4.5. Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 15 Meter

##### 4.5.1. Perhitungan RPM Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan RPM turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM)

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	81,1	110,0	136,0	162,0	188,0
80 x 80	41,4	55,0	68,0	81,0	94,0
160 x 160	21,1	27,5	34,0	40,5	47,0
320 x 320	10,8	13,8	17,0	20,3	23,5
640 x 640	5,5	6,9	8,5	10,1	11,8

Pada desain terdapat ukuran turbin yaitu diameter 170 cm Dalam tugas akhir ini menggunakan turbin yang memiliki dimensi turbin dengan diameter 170 cm yang memiliki potensi daya ketika arus kanal dengan maksimal sebesar kurang lebih 3,5 kilo watt pada output generator. Untuk mengetahui berapa kecepatan putaran turbin dapat dilakukan dengan cara interpolasi dari hasil tabel simulasi pada kecepatan arus laut maksimal yaitu 2,5 m/s.

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 47 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times (23.5 - 47)$$

$$Y = 47 + \frac{10}{160} \times -23.5$$

$$Y = 47 + (-1.46)$$

$$Y = 45.53$$

Dari hasil interpolasi didapatkan kecepatan putaran turbin dengan diameter 170 cm pada saat arus maksimal sebesar 45.53 RPM

#### 4.5.2. Perhitungan Torsi Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan torsi turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Torsi Terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	1,0	3,7	8,2	14,5	22,6
80 x 80	6,9	27,4	63,1	88,7	92,8
160 x 160	64,7	265,1	597,3	1060,1	1653,4
320 x 320	307,7	1291,3	2891,5	5411,6	8985,9
640 x 640	1115,1	4785,2	10685,9	20457,0	34815,3

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 1653.4 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 8985.9 - 1653.4$$

$$Y = 1653.4 + \frac{10}{160} \times 7332.5$$

$$Y = 1653.4 + 458.28$$

$$Y = 2111.65 \quad \text{Nm}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan torsi yang bekerja pada turbin dengan diameter 170 cm sebesar 2111.65 Nm pada saat arus maksimal. Selain menggunakan hasil interpolasi, besarnya nilai torsi dapat dihitung dengan cara membagi antara daya turbin dengan kecepatan sudut turbin tersebut.

#### 4.5.3. Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$P = \text{Daya} \quad (\text{watt})$$

$$T = \text{Torsi} \quad (\text{N.m})$$

$\omega$  = Kecepatan Angular (rad/s)

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = T \times \frac{2 \pi n}{60}$$

$$P = 2111.65 \times \frac{2 \times 3,14 \times 45.53}{60}$$

$$P = 2111.65 \times 4,765$$

$$P = 10.063,012 \text{ watt}$$

$$P = 10 \text{ kW}$$

#### 4.5.4. Perhitungan Daya Generator

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

Dimana :

P = Kapasitas daya pembangkit turbin (kW)

$\eta$  = Efisiensi Turbin (0,30)

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

$$P_{\text{gen}} = 10.063,01 \times 0,3$$

$$P_{\text{gen}} = 3.081,9 \text{ watt} \times \text{Total generator}$$

$$P_{\text{gen}} = 3.081,9 \text{ watt} \times 3$$

$$P_{\text{gen}} = 9,056,71 \text{ watt}$$

$$P_{\text{gen}} = 9 \text{ kW}$$

#### 4.5.5. Perhitungan Total Daya Generator

Pada hasil dari simulasi di dapatkan total perhitungan secara numerik dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter sebagai berikut :

Tabel 4.6 Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Angular	P. Turbin	P Gen	Total P. Gen
Lapis 1	2.5	72240.24	2111.65	4.765	10063.01	3018.90	9056.711
Lapis 2	2.3	56252.61	1799.84	4.502	8103.10	2430.93	7292.789
Lapis 3	2.1	42817.08	1487.99	4.239	6306.97	1892.09	5676.274
Lapis 4	1.9	31711.73	1218.79	3.975	4844.74	1453.42	4360.266
Lapis 5	1.7	22714.64	977.24	3.711	3626.79	1088.04	3264.115
Lapis 6	1.5	15603.89	740.69	3.448	2553.53	766.06	2298.177
Lapis 7	1.3	10157.56	575.90	3.184	1833.65	550.09	1650.281
Lapis 8	1.1	6153.71	411.53	2.920	1201.74	360.52	1081.562
Lapis 9	0.9	3370.44	279.368	2.659	742.88	222.87	668.596
Lapis 10	0.7	1585.82	179.628	2.400	431.13	129.34	388.014
Lapis 11	0.5	577.92	79.88	2.141	171.03	51.31	153.925
TOTAL		263185.6361			39878.57		35890.710

Tabel 4.7 Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Angular	P. Turbin	P. Gen	Total P. Gen
Lapis 1	2.5	72240.23828	2111.65	4.765	10063.01	3018.90	9056.711
Lapis 2	2.3	56252.60667	1799.836	4.502	8103.10	2430.93	7292.789
Lapis 3	2.1	42817.07819	1487.991	4.239	6306.97	1892.09	5676.274
Lapis 4	1.9	31711.73084	1218.793	3.975	4844.74	1453.42	4360.266
Lapis 5	1.7	22714.6426	977.238	3.711	3626.79	1088.04	3264.115
Lapis 6	1.5	15603.89147	740.688	3.448	2553.53	766.06	2298.177
Lapis 7	1.3	10157.55542	575.901	3.184	1833.65	550.09	1650.281
Lapis 8	1.1	6153.712458	411.525	2.920	1201.74	360.52	1081.562
Lapis 9	0.9	3370.440557	279.368	2.659	742.88	222.87	668.596
Lapis 10	0.7	1585.817711	179.628	2.400	431.13	129.34	388.014
Lapis 11	0.5	577.9219063	79.88	2.141	171.03	51.31	153.925
TOTAL		263185.6361			39878.57		35890.710

Total daya turbin yang di dapat sebanyak kanal itu adalah 22 lapis turbin dan total daya generator yang di dapatkan dari kanal 260 meter dan 390 meter adalah 72 kW

#### 4.6. Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 20 Meter

Daya yang dihasilkan air dengan memanfaatkan dari energy kinetic dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1025 \times 9,012 \text{ m}^2 \times 2.4^3$$

$$P = 63.913,54 \text{ watt} = 63,9 \text{ kW}$$

Berikut adalah perhitungan dari jumlah total daya kinetic air dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter.

Tabel 4.8 Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.2383
Lapis 2	2.4	63913.5395
Lapis 3	2.3	56252.6067
Lapis 4	2.2	49229.6997
Lapis 5	2.1	42817.0782
Lapis 6	2	36987.002
Lapis 7	1.9	31711.7308
Lapis 8	1.8	26963.5245
Lapis 9	1.7	22714.6426
Lapis 10	1.6	18937.345
Lapis 11	1.5	15603.8915
Lapis 12	1.4	12686.5417
Lapis 13	1.3	10157.5554

Tabel 4.9 Daya kinetic air panjang kanal 390 meter

Nama	Kec. Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.2383
Lapis 2	2.4	63913.5395
Lapis 3	2.3	56252.6067
Lapis 4	2.2	49229.6997
Lapis 5	2.1	42817.0782
Lapis 6	2	36987.002
Lapis 7	1.9	31711.7308
Lapis 8	1.8	26963.5245

Lapis 9	1.7	22714.6426
Lapis 10	1.6	18937.345
Lapis 11	1.5	15603.8915
Lapis 12	1.4	12686.5417
Lapis 13	1.3	10157.5554
Lapis 14	1.2	7989.19243
Lapis 15	1.1	6153.71246
Lapis 16	1	4623.37525
Lapis 17	0.9	3370.44056
Lapis 18	0.8	2367.16813
Lapis 19	0.7	1585.81771

#### 4.7. Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 20 Meter

##### 4.7.1. Perhitungan RPM Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan RPM turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.10 Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM)

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	81,1	110,0	136,0	162,0	188,0
80 x 80	41,4	55,0	68,0	81,0	94,0
160 x 160	21,1	27,5	34,0	40,5	47,0
320 x 320	10,8	13,8	17,0	20,3	23,5
640 x 640	5,5	6,9	8,5	10,1	11,8

Pada desain terdapat ukuran turbin yaitu diameter 170 cm. Dalam tugas akhir ini menggunakan turbin yang memiliki dimensi turbin dengan diameter 170 cm yang memiliki potensi daya ketika arus kanal dengan maksimal sebesar kurang lebih 3,5 kilo watt pada output generator. Untuk mengetahui berapa kecepatan putaran turbin dapat dilakukan dengan cara interpolasi dari hasil tabel simulasi pada kecepatan arus kanal yang mengalami penurunan yaitu 2,4 m/s.

Untuk mendapatkan kecepatan arus 2,4 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

a. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 40,5 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 47 - 40,5$$

$$Y = 40,5 + 0,4 \times 6,5$$

$$Y = 40,5 + 2,6$$

$$Y = 43,1$$

b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 20,3 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 23,5 - 20,3$$

$$Y = 20,3 + 0,4 \times 3,2$$

$$Y = 20,3 + 1,28$$

$$Y = 21,58$$

c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 45,7 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 22,86 - 45,7$$

$$Y = 45,7 + \frac{10}{160} \times -22,84$$

$$Y = 45,7 + (-1,427)$$

$$Y = 44,273$$

Dari hasil interpolasi didapatkan kecepatan putaran turbin dengan diameter 170 cm pada saat arus maksimal sebesar 44,273 RPM

#### 4.7.2. Perhitungan Torsi Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan torsi turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil Simulasi Torsi Terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	1,0	3,7	8,2	14,5	22,6
80 x 80	6,9	27,4	63,1	88,7	92,8
160 x 160	64,7	265,1	597,3	1060,1	1653,4
320 x 320	307,7	1291,3	2891,5	5411,6	8985,9
640 x 640	1115,1	4785,2	10685,9	20457,0	34815,3

Untuk mendapatkan Torsi dengan kecepatan arus 2,4 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

- a. Interpolasi Torsi dengan kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 1060,1 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 1653,4 - 1060,1$$

$$Y = 1060,1 + \frac{0,4}{0,5} \times 593,3$$

$$Y = 1060,1 + 474,64$$

$$Y = 1534,74$$

- b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 5411,6 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 8985,9 - 5411,6$$

$$Y = 5411,6 + \frac{0,4}{0,5} \times 3.574,3$$

$$Y = 5411,6 + 2859,44$$

$$Y = 8271,04$$

- c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 1534,74 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times \frac{8271,04}{4} - 1534,74$$

$$Y = 1534,74 + \frac{10}{160} \times 6736,3$$

$$Y = 1534,74 + 421,021$$

$$Y = 1955,76 \text{ Nm}$$



Dari hasil interpolasi didapatkan torsi yang bekerja pada turbin dengan diameter 170 cm sebesar 1955,76 Nm pada saat arus 2,4 m.s. Selain menggunakan hasil interpolasi, besarnya nilai torsi dapat dihitung dengan cara membagi antara daya turbin dengan kecepatan sudut turbin tersebut.

#### 4.7.3. Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$P = \text{Daya} \quad (\text{watt})$$

$$T = \text{Torsi} \quad (\text{N.m})$$

$$\omega = \text{Kecepatan Angular (rad/s)}$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = T \times \frac{2 \pi n}{60}$$

$$P = 1955,76 \times \frac{2 \times 3,14 \times 44,273}{60}$$

$$P = 1955,76 \times 4,6339$$

$$P = 90629 \text{ watt}$$

$$P = 9 \text{ kW}$$

#### 4.7.4. Perhitungan Daya Generator

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

Dimana :

$$P = \text{Kapasitas daya pembangkit turbin (kW)}$$

$$\eta = \text{Efisiensi Turbin (0,3)}$$

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

$$P_{\text{gen}} = 9.062,9 \times 0,3$$

$$P_{\text{gen}} = 2.718,9 \text{ watt}$$

$$P_{\text{gen}} = 2.718,9 \text{ watt} \times \text{total generator}$$

$$P_{\text{gen}} = 2.718,9 \text{ watt} \times 3$$

$$P_{\text{gen}} = 8.156,69 \text{ watt}$$

$$P_{\text{gen}} = 8,15 \text{ kW}$$

#### 4.7.5. Perhitungan Total Daya Generator

Pada hasil dari simulasi di dapatkan total perhitungan secara numerik dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter sebagaia berikut :

Tabel 4.12 Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Anguler	P. Turbin	P Gen	Total P. Gen
Lapis 1	2.5	72240.2383	2111.65	4.77	10063.01	3018.90	9056.71
Lapis 2	2.4	63913.5395	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
Lapis 3	2.3	56252.6067	1799.8	4.50	8102.94	2430.88	7292.64
Lapis 4	2.2	49229.6997	1643.9	4.37	7184.43	2155.33	6465.99
Lapis 5	2.1	42817.0782	1487.991	4.24	6306.97	1892.09	5676.27
Lapis 6	2	36987.002	1332.069	4.11	5470.69	1641.21	4923.62
Lapis 7	1.9	31711.7308	1218.793	3.98	4844.74	1453.42	4360.27
Lapis 8	1.8	26963.5245	1095.516	3.84	4210.23	1263.07	3789.21
Lapis 9	1.7	22714.6426	977.238	3.71	3626.79	1088.04	3264.12
Lapis 10	1.6	18937.345	858.963	3.58	3074.56	922.37	2767.11
Lapis 11	1.5	15603.8915	740.688	3.45	2553.53	766.06	2298.18
Lapis 12	1.4	12686.5417	658.398	3.32	2183.07	654.92	1964.77
Lapis 13	1.3	10157.5554	575.901	3.18	1833.65	550.09372	1650.28
Total		460215.396			68517.61		61665.85

Tabel 4.13 Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air	Torsi	Kec. Angular	P. Turbin	P. Gen	Total P. Gen
Lapis 1	2.5	72240.24	2111.65	4.77	10063.01	3018.90	9056.71
Lapis 2	2.4	63913.54	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
Lapis 3	2.3	56252.61	1799.8	4.50	8102.94	2430.88	7292.64
Lapis 4	2.2	49229.70	1643.9	4.37	7184.43	2155.33	6465.99
Lapis 5	2.1	42817.08	1487.991	4.24	6306.97	1892.09	5676.27
Lapis 6	2	36987.00	1332.069	4.11	5470.69	1641.21	4923.62
Lapis 7	1.9	31711.73	1218.793	3.98	4844.74	1453.42	4360.27
Lapis 8	1.8	26963.52	1095.516	3.84	4210.23	1263.07	3789.21
Lapis 9	1.7	22714.64	977.238	3.71	3626.79	1088.04	3264.12
Lapis 10	1.6	18937.35	858.963	3.58	3074.56	922.37	2767.11
Lapis 11	1.5	15603.89	740.688	3.45	2553.53	766.06	2298.18
Lapis 12	1.4	12686.54	658.398	3.32	2183.07	654.92	1964.77
Lapis 13	1.3	10157.56	575.901	3.18	1833.65	550.09	1650.28
Lapis 14	1.2	7989.19	493.818	3.05	1507.22	452.17	1356.50
Lapis 15	1.1	6153.71	411.525	2.92	1201.74	360.52	1081.56
Lapis 16	1	4623.38	329.238	2.79	918.16	275.45	826.34
Lapis 17	0.9	3370.44	279.368	2.66	742.88	222.87	668.60
Lapis 18	0.8	2367.17	229.498	2.53	580.56	174.17	522.50
Lapis 19	0.7	1585.82	179.628	2.40	431.13	129.34	388.01
Total		486305.102			73899.30		66509.37

Total daya turbin yang di dapat sebanyak kanal itu adalah 32 lapis turbin dan total daya generator yang di dapatkan dari kanal 260 meter dan 390 meter adalah 129 kW

#### 4.8. Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 25 Meter

Daya yang dihasilkan air dengan memanfaatkan dari energy kinetic dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1025 \times 9,021 \text{ m}^2 \times 2.3^3$$

$$P = 56.252, 61 \text{ watt}$$

$$P = 56,2 \text{ kW}$$

Berikut adalah perhitungan dari jumlah total daya kinetic air dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter.

Tabel 4.14 Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.24
Lapis 2	2.3	56252.61
Lapis 3	2.3	56252.61
Lapis 4	2.3	56252.61
Lapis 5	2.3	56252.61
Lapis 6	2.3	56252.61
Lapis 7	2.3	56252.61
Lapis 8	2.3	56252.61
Lapis 9	2.3	56252.61
Lapis 10	2.3	56252.61

Tabel 4.15 Daya kinetic air panjang kanal 390 meter

Nama	Kec. Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.23828
Lapis 2	2.3	56252.60667
Lapis 3	2.3	56252.60667
Lapis 4	2.3	56252.60667
Lapis 5	2.3	56252.60667
Lapis 6	2.3	56252.60667
Lapis 7	2.3	56252.60667
Lapis 8	2.3	56252.60667
Lapis 9	2.3	56252.60667
Lapis 10	2.3	56252.60667
Lapis 11	2.3	56252.60667

## 4.9. Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 25 Meter

### 4.9.1. Perhitungan RPM Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan RPM turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.16 Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM)

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	81,1	110,0	136,0	162,0	188,0
80 x 80	41,4	55,0	68,0	81,0	94,0
160 x 160	21,1	27,5	34,0	40,5	47,0
320 x 320	10,8	13,8	17,0	20,3	23,5
640 x 640	5,5	6,9	8,5	10,1	11,8

Pada desain terdapat ukuran turbin yaitu diameter 170 cm Dalam tugas akhir ini menggunakan turbin yang memiliki dimensi turbin dengan diameter 170 cm yang memiliki potensi daya ketika arus kanal dengan maksimal sebesar kurang lebih 3,5 kilo watt pada output generator. Untuk mengetahui berapa kecepatan putaran turbin dapat dilakukan dengan cara interpolasi dari hasil tabel simulasi pada kecepatan arus laut yaitu 2,3 m/s.

Untuk mendapatkan kecepatan arus 2,3 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

- a. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 40,5 + \frac{2,3 - 2}{2,5 - 2} \times (47 - 40,5)$$

$$Y = 40,5 + \frac{0,3}{0,5} \times 6,5$$

$$Y = 40,5 + 3,9$$

$$Y = 44,4$$

- b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 20,3 + \frac{2,3 - 2}{2,5 - 2} \times (23,5 - 20,3)$$

$$Y = 20,3 + \frac{0,3}{0,5} \times 3,2$$

$$Y = 20,3 + 1,92$$

$$Y = 22,22$$

c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$\begin{aligned}
 Y &= Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1 \\
 Y &= 44,4 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 22,2 - 44,4 \\
 Y &= 44,4 + \frac{10}{160} \times -22,18 \\
 Y &= 44,4 + -1,386 \\
 Y &= 43,014
 \end{aligned}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan kecepatan putaran turbin dengan diameter 170 cm pada saat arus maksimal sebesar 43,014 RPM

#### 4.9.2. Perhitungan Torsi Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan torsi turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.17 Hasil Simulasi Torsi Terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	1,0	3,7	8,2	14,5	22,6
80 x 80	6,9	27,4	63,1	88,7	92,8
160 x 160	64,7	265,1	597,3	1060,1	1653,4
320 x 320	307,7	1291,3	2891,5	5411,6	8985,9
640 x 640	1115,1	4785,2	10685,9	20457,0	34815,3

Untuk mendapatkan Torsi dengan kecepatan arus 2,3 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

a. Interpolasi Torsi dengan kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$\begin{aligned}
 Y &= Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1 \\
 Y &= 1060,1 + \frac{2,3 - 2}{2,5 - 2} \times 1653,4 - 1060,1 \\
 Y &= 1060,1 + \frac{0,3}{0,5} \times 593,3 \\
 Y &= 1060,1 + 355,98 \\
 Y &= 1416,08
 \end{aligned}$$

b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 5411,6 + \frac{2,3 - 2}{2,5 - 2} \times 8985,9 - 5411,6$$

$$Y = 5411,6 + \frac{0,3}{0,5} \times 3574,3$$

$$Y = 5411,6 + 2144,58$$

$$Y = 7.556,18$$

c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 1416,08 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 7556,18 - 1416,08$$

$$Y = 1416,08 + \frac{10}{160} \times 6.140,1$$

$$Y = 1416,08 + 383,756$$

$$Y = 1799,83 \quad \text{Nm}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan torsi yang bekerja pada turbin dengan diameter 170 cm sebesar 1799,83 Nm pada saat arus 2,3 m/s. Selain menggunakan hasil interpolasi, besarnya nilai torsi dapat dihitung dengan cara membagi antara daya turbin dengan kecepatan sudut turbin tersebut.

#### 4.9.3. Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$P = \text{Daya} \quad (\text{watt})$$

$$T = \text{Torsi} \quad (\text{N.m})$$

$$\omega = \text{Kecepatan Angular} \quad (\text{rad/s})$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = T \times \frac{2 \pi n}{60}$$

$$P = 1799,83 \times \frac{2 \times 3,14 \times 43.014}{60}$$

$$P = 1799,83 \times 4,5021$$

$$P = 8.103,099 \text{ watt}$$

$$P = 8,1 \text{ kW}$$

#### 4.9.4. Perhitungan Daya Generator

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

Dimana :

P = Kapasitas daya pembangkit turbin (kW)

$\eta$  = Efisiensi Turbin (0,3)

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

$$P_{\text{gen}} = 8.103,09 \times 0,3$$

$$P_{\text{gen}} = 2.430,93 \text{ watt} \times \text{Total Generator}$$

$$P_{\text{gen}} = 2.430,93 \text{ watt} \times 3$$

$$p_{\text{gen}} = 7.292,79 \text{ watt}$$

$$P_{\text{gen}} = 7,3 \text{ kW}$$

#### 4.9.5. Perhitungan Total Daya Generator

Pada hasil dari simulasi di dapatkan total perhitungan secara numerik dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter sebagaia berikut :

Tabel 4.18 Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Anguler	P. Turbin	P Gen	Total P.Gen
Lapis 1	2.5	72240.24	2111.65	4.765473333	10063.01	3018.9035	9056.71
Lapis 2	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 3	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 4	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 5	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 6	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 7	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 8	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 9	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Lapis 10	2.3	56252.61	1799.836	4.502132	8103.10	2430.9298	7292.79
Total		578513.70			82990.91		74691.81

Tabel 4.19 Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Angular	P. Turbin	P. Gen	Total P.Gen
Lapis 1	2.5	72240.24	2111.65	4.76	10063.0	3018.9035	9056.71
Lapis 2	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 3	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 4	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 5	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 6	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 7	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 8	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 9	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 10	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Lapis 11	2.3	56252.61	1799.836	4.50	8103.1	2430.9298	7292.79
Total		634766.3049			91094.0043		81984.6

Total daya turbin yang di dapat sebanyak kanal itu adalah 21 lapis turbin dan total daya generator yang di didapatkan dari kanal 260 meter dan 390 meter adalah 157 kW

#### 4.10. Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 30 Meter

Daya yang dihasilkan air dengan memanfaatkan dari energy kinetic dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1025 \times 9,021 \text{ m}^2 \times 2.4^3$$

$$P = 63.913,54 \text{ watt}$$

Berikut adalah perhitungan dari jumlah total daya kinetic air dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter.

Tabel 4.20 Daya Kinetik Air Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.238
Lapis 2	2.4	63913.539
Lapis 3	2.4	63913.539
Lapis 4	2.4	63913.539
Lapis 5	2.4	63913.539
Lapis 6	2.4	63913.539
Lapis 7	2.4	63913.539
Lapis 8	2.4	63913.539



Tabel 4.21 Daya Kinetik Air Panjang Kanal 390 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.238
Lapis 2	2.4	63913.539
Lapis 3	2.4	63913.539
Lapis 4	2.4	63913.539
Lapis 5	2.4	63913.539
Lapis 6	2.4	63913.539
Lapis 7	2.4	63913.539
Lapis 8	2.4	63913.539
Lapis 9	2.4	63913.539
Lapis 10	2.4	63913.539
Lapis 11	2.4	63913.539
Lapis 12	2.4	63913.539
Lapis 13	2.4	63913.539

#### 4.11. Perhitungan Daya Turbin Variasi Jarak 30 Meter

##### 4.11.1. Perhitungan RPM Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan RPM turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.22 Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM)

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	81,1	110,0	136,0	162,0	188,0
80 x 80	41,4	55,0	68,0	81,0	94,0
160 x 160	21,1	27,5	34,0	40,5	47,0
320 x 320	10,8	13,8	17,0	20,3	23,5
640 x 640	5,5	6,9	8,5	10,1	11,8

Pada desain terdapat ukuran turbin yaitu diameter 170 cm Dalam tugas akhir ini menggunakan turbin yang memiliki dimensi turbin dengan diameter 170 cm yang memiliki potensi daya ketika arus kanal dengan maksimal sebesar kurang lebih 3,5 kilo watt pada output generator. Untuk mengetahui berapa kecepatan putaran turbin dapat dilakukan dengan cara interpolasi dari hasil tabel simulasi pada kecepatan arus kanal yang mengalami penurunan yaitu 2,4 m/s.

Untuk mendapatkan kecepatan arus 2,4 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

a. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$\begin{aligned}
 Y &= Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1 \\
 Y &= 40,5 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 47 - 40,5 \\
 Y &= 40,5 + \frac{0,4}{0,5} \times 6,5 \\
 Y &= 40,5 + 5,2 \\
 Y &= 45,7
 \end{aligned}$$

b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$\begin{aligned}
 Y &= Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1 \\
 Y &= 20,3 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 23,5 - 20,3 \\
 Y &= 20,3 + \frac{0,4}{0,5} \times 3,2 \\
 Y &= 20,3 + 2,56 \\
 Y &= 22,86
 \end{aligned}$$

c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$\begin{aligned}
 Y &= Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1 \\
 Y &= 45,7 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 22,86 - 45,7 \\
 Y &= 45,7 + \frac{10}{160} \times -22,84 \\
 Y &= 45,7 + (-1.427) \\
 Y &= 44,273
 \end{aligned}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan kecepatan putaran turbin dengan diameter 170 cm pada saat arus maksimal sebesar 44,273 RPM

#### 4.11.2. Perhitungan Torsi Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan torsi turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.23 Hasil Simulasi Torsi terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	1,0	3,7	8,2	14,5	22,6
80 x 80	6,9	27,4	63,1	88,7	92,8
160 x 160	64,7	265,1	597,3	1060,1	1653,4
320 x 320	307,7	1291,3	2891,5	5411,6	8985,9
640 x 640	1115,1	4785,2	10685,9	20457,0	34815,3

Untuk mendapatkan Torsi dengan kecepatan arus 2,4 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

- a. Interpolasi Torsi dengan kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 1060,1 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times (1653,4 - 1060,1)$$

$$Y = 1060,1 + \frac{0,4}{0,5} \times 593,3$$

$$Y = 1060,1 + 474,64$$

$$Y = 1534,74$$

- b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 5411,6 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times (8985,9 - 5411,6)$$

$$Y = 5411,6 + \frac{0,4}{0,5} \times 3574,3$$

$$Y = 5411,6 + 2859,44$$

$$Y = 8271,04$$

c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 1534,74 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 8271,04 - 1534,74$$

$$Y = 1534,74 + \frac{10}{160} \times 6736,3$$

$$Y = 1534,74 + 421,018$$

$$Y = 1955,759 \quad \text{Nm}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan torsi yang bekerja pada turbin dengan diameter 170 cm sebesar 1955,759 Nm pada saat arus 2,4 m.s. Selain menggunakan hasil interpolasi, besarnya nilai torsi dapat dihitung dengan cara membagi antara daya turbin dengan kecepatan sudut turbin tersebut.

#### 4.11.3. Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$P = \text{Daya} \quad (\text{watt})$$

$$T = \text{Torsi} \quad (\text{N.m})$$

$$\omega = \text{Kecepatan Angular} \quad (\text{rad/s})$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = T \times \frac{2 \pi n}{60}$$

$$P = 1955,759 \times \frac{2 \times 3,14 \times 44,273}{60}$$

$$P = 1955,759 \times 4,634$$

$$P = 9062,806 \text{ watt}$$

$$P = 9 \text{ kW}$$

#### 4.11.4. Perhitungan Daya Generator

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

Dimana :

$$P = \text{Kapasitas daya pembangkit turbin} \quad (\text{kW})$$

$$\eta = \text{Efisiensi Turbin} \quad (0,3)$$

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

$$P_{\text{gen}} = 9062,806 \times 0,3$$

$$P_{\text{gen}} = 2.718,898 \text{ watt} \times \text{Total generator}$$

$$P_{\text{gen}} = 2.718,898 \text{ watt} \times 3$$

$$P_{\text{gen}} = 8.156,696 \text{ watt}$$

$$P_{\text{gen}} = 8,2 \text{ kW}$$

#### 4.11.5. Perhitungan Total Daya Generator

Pada hasil dari simulasi di dapatkan total perhitungan secara numerik dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter sebagaia berikut :

Tabel 4.24 Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Angular	P. Turbin	P Gen	Total P.Gen
Lapis 1	2.5	72240.238	2111.65	4.77	10063.012	3018.90	9056.71
Lapis 2	2.4	63913.539	1955.8	4.63	9062.996	2718.90	8156.70
Lapis 3	2.4	63913.539	1955.8	4.63	9062.996	2718.90	8156.70
Lapis 4	2.4	63913.539	1955.8	4.63	9062.996	2718.90	8156.70
Lapis 5	2.4	63913.539	1955.8	4.63	9062.996	2718.90	8156.70
Lapis 6	2.4	63913.539	1955.8	4.63	9062.996	2718.90	8156.70
Lapis 7	2.4	63913.539	1955.8	4.63	9062.996	2718.90	8156.70
Lapis 8	2.4	63913.539	1955.8	4.63	9062.996	2718.90	8156.70
TOTAL		519635.01			73503.984		66153.59

Tabel 4.25 Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Angular	P. Turbin	P. Gen	Total P.Gen
Lapis 1	2.5	72240.238	2111.65	4.77	10063.01	3018.90	9056.71
Lapis 2	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 3	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 4	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 5	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 6	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 7	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 8	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 9	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 10	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 11	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 12	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 13	2.4	63913.539	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
TOTAL		839202.71			118816.68		106935.02

Total daya turbin yang di dapat sebanyak kanal itu adalah 21 lapis turbin dan total daya generator yang di dapatkan dari kanal 260 meter dan 390 meter adalah 173 kW

#### 4.12. Perhitungan Daya Kinetik Air Variasi Jarak 35 Meter

Daya yang dihasilkan air dengan memanfaatkan dari energy kinetic dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1025 \times 9,021 \text{ m}^2 \times 2.4^3$$

$$P = 63.913,54 \text{ watt}$$

Berikut adalah perhitungan dari jumlah total daya kinetic air dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter.

Tabel 4.26 Daya Kinetic Air Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kecepatan Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.24
Lapis 2	2.4	63913.54
Lapis 3	2.4	63913.54
Lapis 4	2.4	63913.54
Lapis 5	2.4	63913.54
Lapis 6	2.4	63913.54
Lapis 7	2.4	63913.54

Tabel 4.27 Daya Kinetic Air Panjang Kanal 390 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air
Lapis 1	2.5	72240.24
Lapis 2	2.4	63913.54
Lapis 3	2.4	63913.54
Lapis 4	2.4	63913.54
Lapis 5	2.4	63913.54
Lapis 6	2.4	63913.54
Lapis 7	2.4	63913.54
Lapis 8	2.4	63913.54
Lapis 9	2.4	63913.54
Lapis 10	2.4	63913.54
Lapis 11	2.4	63913.54

#### 4.12.1. Perhitungan RPM Turbin

Pada penyimulasian turbin didapatkan RPM turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.28 Hasil Simulasi Kecepatan Rotasi (RPM)

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	81,1	110,0	136,0	162,0	188,0
80 x 80	41,4	55,0	68,0	81,0	94,0
160 x 160	21,1	27,5	34,0	40,5	47,0
320 x 320	10,8	13,8	17,0	20,3	23,5
640 x 640	5,5	6,9	8,5	10,1	11,8

Pada desain terdapat ukuran turbin yaitu diameter 170 cm Dalam tugas akhir ini menggunakan turbin yang memiliki dimensi turbin dengan diameter 170 cm yang memiliki potensi daya ketika arus kanal dengan maksimal sebesar kurang lebih 3,5 kilo watt pada output generator. Untuk mengetahui berapa kecepatan putaran turbin dapat dilakukan dengan cara interpolasi dari hasil tabel simulasi pada kecepatan arus kanal yang mengalami penurunan yaitu 2,4 m/s.

Untuk mendapatkan kecepatan arus 2,4 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

a. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 40,5 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 47 - 40,5$$

$$Y = 40,5 + \frac{0,4}{0,5} \times 6,5$$

$$Y = 40,5 + 5,2$$

$$Y = 45,7$$

b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 20,3 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times 23,5 - 20,3$$

$$Y = 20,3 + \frac{0,4}{0,5} \times 3,2$$

$$Y = 20,3 + 2,56$$

$$Y = 22,86$$

c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 45,7 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 22,86 - 45,7$$

$$Y = 45,7 + \frac{10}{160} \times -22,84$$

$$Y = 45,7 + (-1,427)$$

$$Y = 44,273$$

Dari hasil interpolasi didapatkan kecepatan putaran turbin dengan diameter 170 cm pada saat arus maksimal sebesar 44,273 RPM

**4.12.2. Perhitungan Torsi Turbin**

Pada penyimulasian turbin didapatkan torsi turbin sesuai tabel dibawah dengan beberapa variasi kecepatan arus yang berbeda dan dimensi ukuran turbin yang sama dari simulasi tersebut didapatkan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.29 Hasil Simulasi Torsi terhadap Dimensi Turbin dan Kecepatan Arus

Dimensi Turbin (cm)	Kecepatan Arus (m/s)				
	0,5	1,0	1,5	2	2,5
40 x 40	1,0	3,7	8,2	14,5	22,6
80 x 80	6,9	27,4	63,1	88,7	92,8
160 x 160	64,7	265,1	597,3	1060,1	1653,4
320 x 320	307,7	1291,3	2891,5	5411,6	8985,9
640 x 640	1115,1	4785,2	10685,9	20457,0	34815,3

Untuk mendapatkan Torsi dengan kecepatan arus 2,4 m/s dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada kecepatan aliran yang terdapat pada tabel diatas.

- a. Interpolasi Torsi dengan kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 160 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 1060,1 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times (1653,4 - 1060,1)$$

$$Y = 1060,1 + \frac{0,4}{0,5} \times 593,3$$

$$Y = 1060,1 + 474,64$$

$$Y = 1534,74$$

- b. Interpolasi kecepatan arus antara 2 m/s dengan 2,5 m/s (diameter 320 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 5411,6 + \frac{2,4 - 2}{2,5 - 2} \times (8985,9 - 5411,6)$$

$$Y = 5411,6 + \frac{0,4}{0,5} \times 3574,3$$

$$Y = 5411,6 + 2859,44$$

$$Y = 8271,04$$



c. Interpolasi kecepatan aliran 2,4 m/s (diameter 170 cm)

$$Y = Y1 + \frac{X - X1}{X2 - X1} \times Y2 - Y1$$

$$Y = 1534,74 + \frac{170 - 160}{320 - 160} \times 8271,04 - 1534,74$$

$$Y = 1534,74 + \frac{10}{160} \times 6736,3$$

$$Y = 1534,74 + 421,018$$

$$Y = 1955,759 \text{ Nm}$$

Dari hasil interpolasi didapatkan torsi yang bekerja pada turbin dengan diameter 170 cm sebesar 1955,759 Nm pada saat arus 2,4 m.s. Selain menggunakan hasil interpolasi, besarnya nilai torsi dapat dihitung dengan cara membagi antara daya turbin dengan kecepatan sudut turbin tersebut.

#### 4.12.3. Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin air dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana :

$$P = \text{Daya} \quad (\text{watt})$$

$$T = \text{Torsi} \quad (\text{N.m})$$

$$\omega = \text{Kecepatan Angular} \quad (\text{rad/s})$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = T \times \frac{2 \pi n}{60}$$

$$P = 1955,759 \times \frac{2 \times 3,14 \times 44,273}{60}$$

$$P = 1955,759 \times 4,634$$

$$P = 9062,99 \text{ watt}$$

$$P = 9 \text{ kW}$$

#### 4.12.4. Perhitungan Daya Generator

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

Dimana :

$$P = \text{Kapasitas daya pembangkit turbin} \quad (\text{kW})$$

$$\eta = \text{Efisiensi Turbin} \quad (0,3)$$

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{turbin}} \times \eta$$

$$P_{\text{gen}} = 9062,99 \times 0,3$$

$$P_{\text{gen}} = 2.718,898 \text{ watt} \times \text{Total generator}$$

$$P_{\text{gen}} = 2.718,898 \times 3$$

$$P_{\text{gen}} = 8.156,696 \text{ watt}$$

$$P_{\text{gen}} = 8,2 \text{ kW}$$

#### 4.12.5. Perhitungan Total Daya Generator

Pada hasil dari simulasi di dapatkan total perhitungan secara numerik dengan panjang kanal 260 meter dan 390 meter sebagaia berikut :

Tabel 4.30 Total Pembangkit Panjang Kanal 260 Meter

Nama	Kec. Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Angular	P. Turbin	P Gen	Total P. Gen
Lapis 1	2.5	72240.24	2111.65	4.77	10063.01	3018.90	9056.71
Lapis 2	2.4	63913.54	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
Lapis 3	2.4	63913.54	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
Lapis 4	2.4	63913.54	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
Lapis 5	2.4	63913.54	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
Lapis 6	2.4	63913.54	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
Lapis 7	2.4	63913.54	1955.8	4.63	9063.00	2718.90	8156.70
TOTAL		455721.5			64440.99		57996.89

Tabel 4.31 Total Pembangkit Panjang Kanal 390 Meter

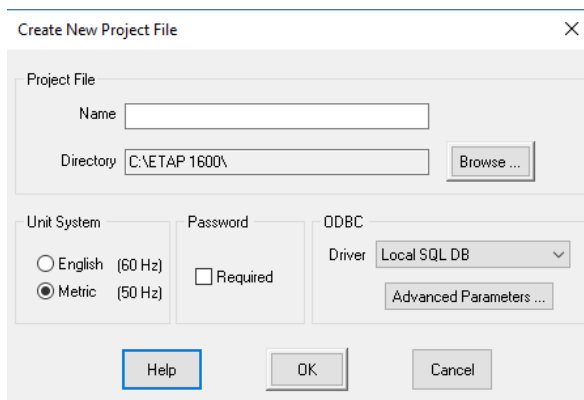
Nama	Kec. Air	P. Air	Torsi	Kecepatan Angular	P. Turbin	P. Gen	Total P. Gen
Lapis 1	2.5	72240.24	2111.65	4.77	10063.01	3018.90	9056.71
Lapis 2	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 3	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 4	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 5	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 6	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 7	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 8	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 9	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 10	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
Lapis 11	2.4	63913.54	1955.76	4.63	9062.81	2718.84	8156.53
TOTAL		711375.6			100691.07		90621.96

Total daya turbin yang di dapat sebanyak kanal itu adalah 18 lapis turbin dan total daya generator yang di dapatkan dari kanal 260 meter dan 390 meter adalah 149 kW

## 4.13. Langkah Langkah Simulasi Elektrikal

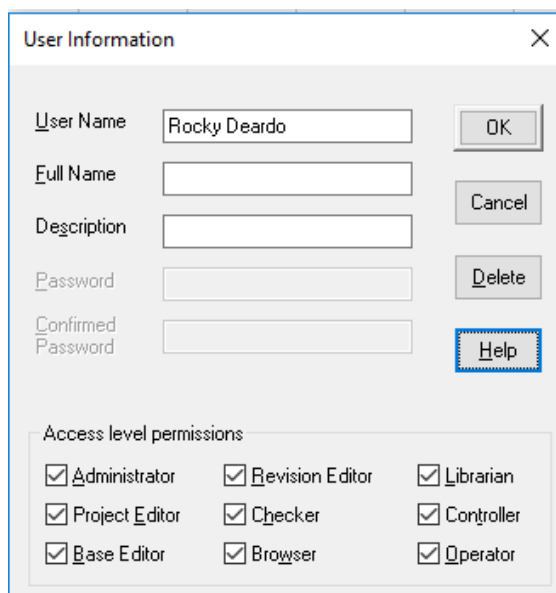
### 4.13.1. Pembuatan *New Project*

Setelah muncul tampilan awal, selanjutnya memilih menu new project. Pada tampilan *new project* seperti gambar dibawah akan muncul opsi yang harus diisi, lalu ada pilihan untuk frekuensi yang akan digunakan untuk *English* (60Hz) dan *Metric* (50Hz).



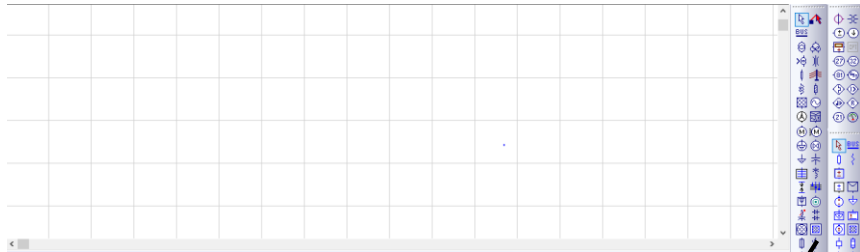
Gambar 4.10 *New Project*

Lalu setelah itu akan ada tampilan untuk *user information* dengan pengisian data user. Lalu setelah itu klik OK.



Gambar 4.11 *User New Project*

Setelah itu akan muncul lembaran *New Project* seperti gambar dibawah. Pada lembaran dibawah beberapa tools komponen, dimana terdapat komponen – komponen yang akan digunakan untuk membuat *design layout*. Terdapat komponen untuk AC dan DC serta beberapa alat ukur yang terdapat pada tanda panah komponen - komponen.



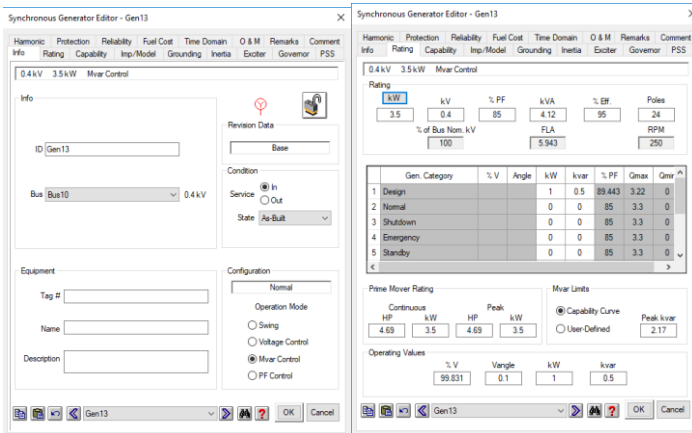
Gambar 4.12 Sheet New Project

Komponen - komponen

**4.13.2. Setting Generator**

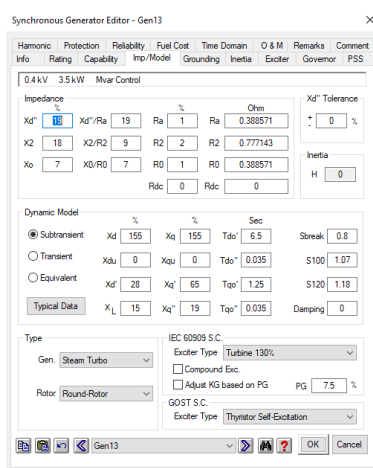
Setelah itu pada saat pemilihan komponen generator, akan ada tampilan seperti gambar dibawah untuk memasukkan data info yang dibutuhkan dalam synchronous generator, sebagai berikut :

- Mode Operasi ( *Swing, Voltage Control, Mvar Control, dan PF Control* ).
- KV nominal
- % V dan sudut mode *swing*
- *Type Generator (Steam Turbo, Hydro, Hydro w/o damping, Gas Turbo, Diesel, Kombined Cycle)*.
- *Dynamic Model ( Equivalent, Transient, Subtransient)*.



Gambar 4.13 Info Generator (Kiri) dan Rating Generator (Kanan)

Pada Imp/Model ada beberapa parameter yang harus dipilih yaitu pada dynamic model ada beberapa jenis (*Subtransient*, *Transient*, dan *Equivalent*). Lalu terdapat typical data dimana data yang dimasukkan akan secara otomatis, lalu terdapat berbagai tipe generator dengan jenis penggeraknya masing – masing.

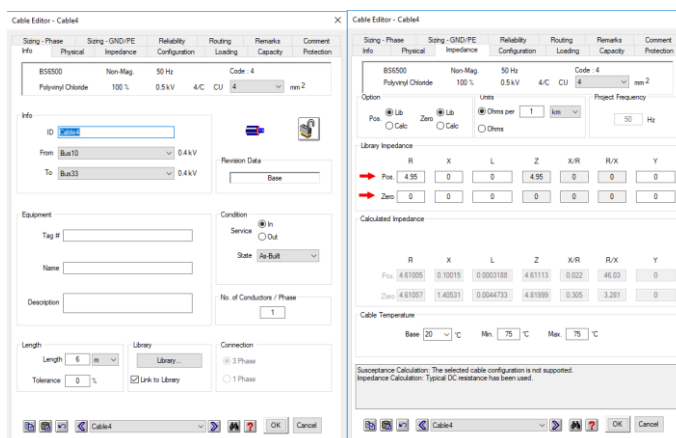


Gambar 4.14 Impedance/Mode

#### 4.13.3. Cable Editor

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan kabel, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dan impedance yang dibutuhkan dalam *cable editor*, sebagai berikut :

- Panjang kabel, *library* (jenis kabel), satuan dari kabel.
- Base kV, Impedansi, *Capacity* (*user-defined*).



Gambar 4.15 Cable Editor Info (Kiri) dan Impedance (Kanan)

#### 4.13.4. Switch

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen switch, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam switch editor, sebagai berikut :

- Status *Switch*
- Rating (*Voltage, Arus*)

Gambar 4.16 *Switch Editor*

#### 4.13.5. Fuse

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *fuse*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *fuse editor*, sebagai berikut :

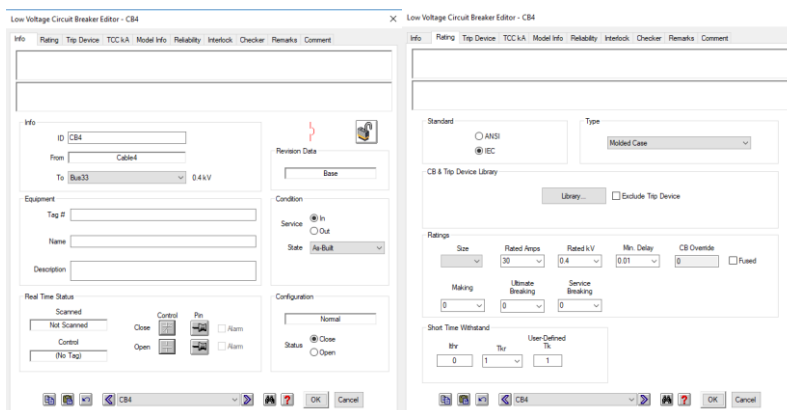
- Info (Status *Fuse* : *Close, Open* )
- Rating ( *Voltage, Arus, Standar* : *ANSI, IEC*).

Gambar 4.17 *Fuse Editor Info (Kiri) dan Rating (Kanan)*

#### 4.13.6. *Circuit Breaker*

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *Circuit Breaker*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *circuit breaker editor*, sebagai berikut:

- Info (Status Fuse : Close, Open )
- Rating ( *Voltage*, Arus, Standar : *ANSI, IEC* ).

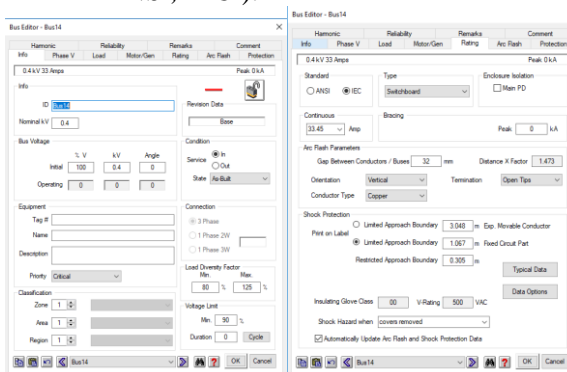


Gambar 4.18 *Circuit Breaker* Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

#### 4.13.7. *Bus*

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *Bus*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *Bus editor*, sebagai berikut:

- Info (*Bus Voltage*, Nominal kV)
- Rating ( Arus, Standar : *ANSI, IEC* ).

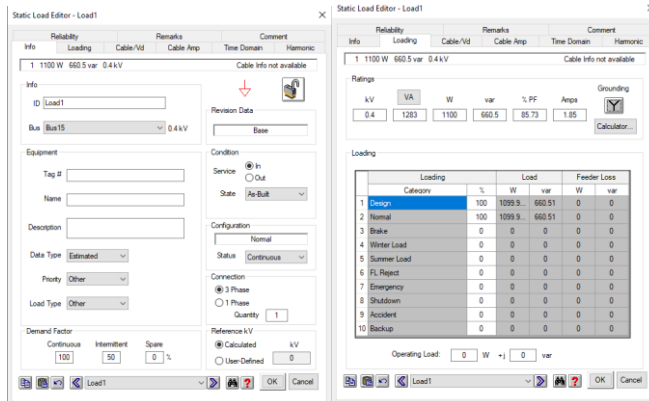


Gambar 4.19 *Bus Editor* Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

**4.13.8. *Statistic Load***

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *Static Load*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *Static Load editor*, sebagai berikut :

- Info (*Connection* : 1 Phase, 3 Phase)
- Loading ( Rating : Voltage, Arus, Daya).

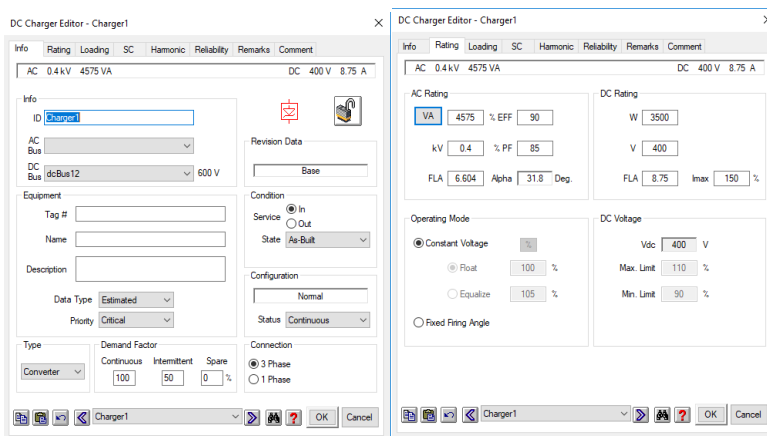


Gambar 4.20 *Static Load Editor* Info (Kiri) dan *Loading* (Kanan)

**4.13.9. *AC-DC Converter***

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *Converter AC - DC*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *Converter AC – DC editor*, sebagai berikut :

- Info (*Type* : Converter, Charger, *Connection* : 3 Phase, 1 Phase)
- Rating (AC Rating, DC Rating).



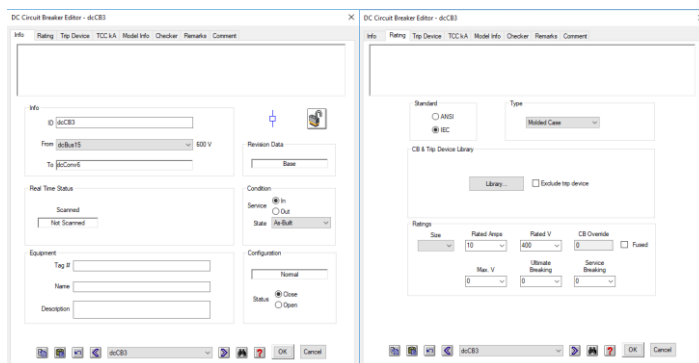
Gambar 4.21 *AC – DC Converter* Info (Kiri) dan *Rating* (Kanan)



#### 4.13.10. DC Circuit Breaker

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *DC Circuit Breaker*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *DC Circuit Breaker editor*, sebagai berikut :

- Info (Status : *Close, Open*).
- Rating (Standard : *ANSI, IEC*, Rating : *Arus, Voltage*).

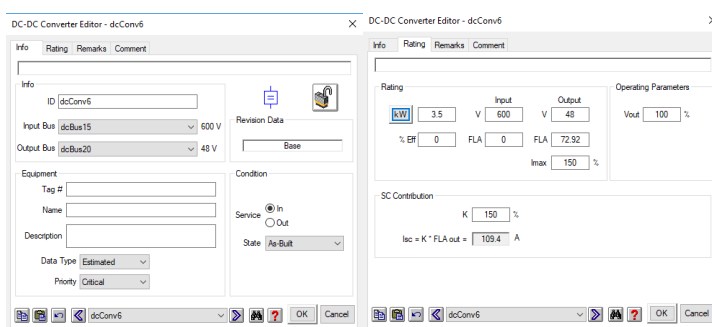


Gambar 4.22 *DC Circuit Breaker* Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

#### 4.13.11. DC-DC Converter

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *DC-DC Converter*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *DC-DC Converter editor*, sebagai berikut:

- Info (Info : *Input & Output Bus, Condition : Service*).
- Rating (*Daya, Tegangan Input, Tegangan Output*).

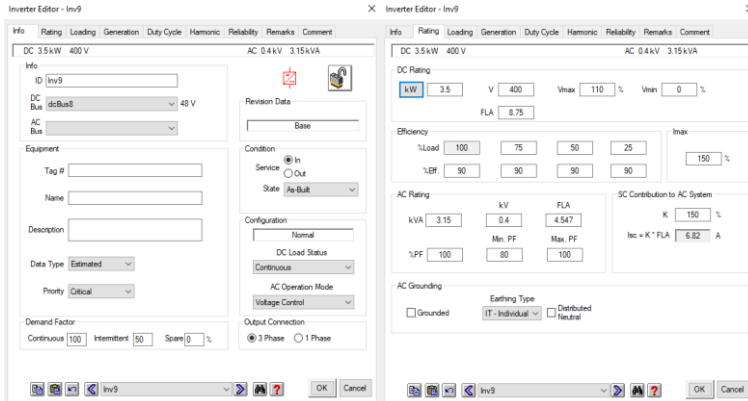


Gambar 4.23 *DC-DC Converter* Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

#### 4.13.12. DC-AC Inverter

Setelah itu pada saat pemilihan pemilihan memilih komponen *DC-AC Inverter*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *DC-AC Inverter editor*, sebagai berikut:

- Info (Info : *Input & Output Bus, Configuration*).
- Rating (DC Rating : Daya, Tegangan, AC Rating : Tegangan).



Gambar 4.24 *DC-AC Inverter Info (Kiri) dan Rating (Kanan)*

### 4.14. Perhitungan Komponen

#### 4.14.1. Generator

- d. Total Power Output = 3.5 Kw  
 Cos Phi = 0.8  
 V line = 400 V  
 V Phase = 231 V  
 I Total =  $\frac{P}{3 \times V \times \cos \varphi}$   
 $= \frac{3500}{3 \times 231 \times 0.8}$   
 = 6.3 A
- e. Pengaman Miniature Circuit Breaker (MCB) =  $\frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$   
 $= \frac{3500}{231 \times \sqrt{3} \times 0.8}$   
 = 10 A
- f. Pengaman Fuse = 16 A

#### 4.14.2. Perhitungan Pengaman MPPT DC

- a. Total Power = 3.5 Kw  
 Tegangan DC = 400 V

$$\begin{aligned}
 I \text{ Total} &= \frac{P}{V_{dc}} \\
 &= \frac{3500}{400} \\
 &= 8.75 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{b. Pengaman MCB} = 10 \text{ A}$$

#### 4.14.3. Pengaman Inverter DC to AC

$$\text{a. Total Power} = 3.5 \text{ Kw}$$

$$\text{Tegangan DC} = 48 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 I \text{ Total} &= \frac{P}{V_{dc}} \\
 &= \frac{3500}{48} \\
 &= 72.9 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{b. Pengaman MCB} = 80 \text{ A}$$

#### 4.14.4. Perhitungan Busbar

$$\begin{aligned}
 \text{a. P Total} &= \text{Total daya yang diperlukan (Pr + Ps + Pt)} \\
 &= 4416 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan (V)} = 220 \text{ volt}$$

$$\text{Cos Phi} = 0.8$$

$$\begin{aligned}
 I \text{ Total} &= \frac{P}{3 \times V \times \text{Cos } \phi} \\
 &= \frac{4416}{3 \times 220 \times 0.8} \\
 &= 8.36 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$4 \times I \text{ Total} = 4 \times 8.36$$

$$= 33.45 \text{ A}$$

$$\text{Busbar} = 4 \times 1 (12 \times 2)$$

### 4.15. Simulasi Percobaan

#### 4.15.1. Line Diagram

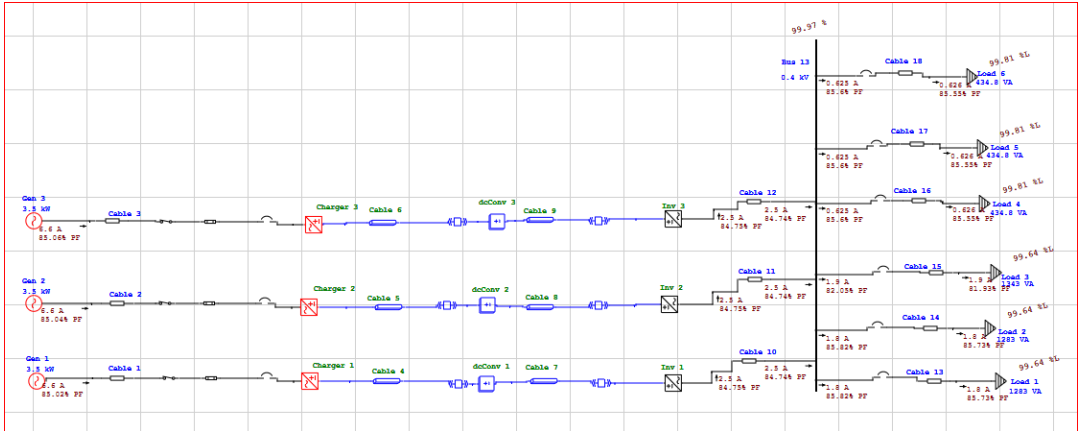
Berikut adalah line diagram pada simulasi dengan berbagai macam beban. Pada line diagram ini nilai setiap komponennya sesuai dengan perhitungan yang terdapat diatas.



Gambar 4.25 Line Diagram

### 4.15.2. Load Flow

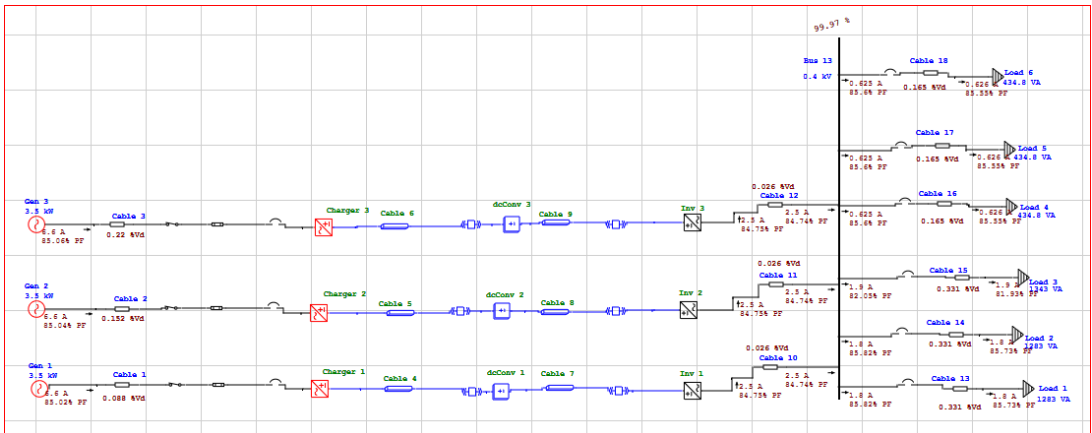
Berikut adalah simulasi dari Load Flow pada simulasi. Pada simulasi ini terdapat macam – macam beban. Dimana pada load flow ini akan melihat bagaimana system yang bekerja akan sesuai perencanaan. Pada seimulasi load flow ini terdapat nilai arus yang mengalir pada setiap komponen yang telah dirancang.



Gambar 4.26 Simulasi Load Flow

### 4.15.3. Drop Voltage

Berikut adalah simulasi dari Drop Voltage pada line diagram dengan berbagai macam beban. Pada simulasi drop voltage ini terdapat hasil dari persentase drop voltage komponen yang direncanakan.



Gambar 4.27 Simulasi Drop Voltage

#### 4.16. Perhitungan Drop Voltage

Kestabilan tegangan atau yang biasa disebut dengan tegangan jatuh dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Dimana :

R = Resistansi

$\rho$  = Resistivitas Penghantar

$l$  = Panjang Kabel

A = Luas Penampang

$$\Delta V = I_s \times (R + jX_l)$$

$$= I \times Z$$

Dimana :

I = Arus

Z = Impedansi

$$Z = R = \rho \frac{l}{A}$$

$\rho$  = Tahanan Jenis Kabel tembaga ( $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ )

$l$  = Panjang Kabel (m)

A = Luas Penampang

Perhitungan Impedansi Berdasarkan Panjang Kabel

$$\begin{aligned} \text{Kabel } 6 \text{ m} &= \rho \frac{l}{A} \\ &= 1,68 \times 10^{-8} \frac{6}{4 \times 10^{-6}} \\ &= 2,52 \times 10^{-2} \Omega = 0,0252 \Omega \end{aligned}$$

#### 4.16.1. Perhitungan Drop Voltage

##### 4.16.1.1. Berdasarkan Panjang Kabel

$$\begin{aligned} \Delta V &= I \times Z \\ &= 6,3 \times 0,252 \\ &= 0,158 \text{ V} \end{aligned}$$

Maka besar nilai presentase (%) rugi tegangan adalah :

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$$

$\Delta V\%$  = Rugi Tegangan Dalam % (V)

V = Tegangan Beroperasi (V)

$\Delta V$  = Rugi Tegangan (V)

$$\begin{aligned} \Delta V\% &= \frac{0,158}{400} \times 100\% \\ &= 0,039\% \end{aligned}$$

Tabel 4.32 Tabel Perhitungan Numerik Drop Voltage

Kabel	Panjang Kabel	Luas Penampang	Impedansi	$\Delta V$	$\% \Delta V$
Cable 1	6 m	4	0.0252	0.159	0.040
Cable 2	11 m	4	0.0462	0.291	0.073
Cable 3	16 m	4	0.0672	0.423	0.106
Cable 10	5 m	4	0.0210	0.184	0.046
Cable 11	5 m	4	0.0210	0.184	0.046
Cable 12	5 m	4	0.0210	0.184	0.046
Cable 13	30 m	1.5	0.3360	0.638	0.160
Cable 14	30 m	1.5	0.3360	0.638	0.160
Cable 15	30 m	1.5	0.3360	0.638	0.160
Cable 16	30 m	1	0.5040	0.316	0.079
Cable 17	30 m	1	0.5040	0.316	0.079
Cable 18	30 m	1	0.5040	0.316	0.079

Tabel 4.33 Tabel Hasil Simulasi

Kabel	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses
Cable 1	26.4	0.09	0.0047
Cable 2	26.4	0.15	0.0081
Cable 3	26.4	0.22	0.0117
Cable 10	10	0.03	0.0005
Cable 11	10	0.03	0.0005
Cable 12	10	0.03	0.0005
Cable 13	7.4	0.33	0.0049
Cable 14	7.4	0.33	0.0049
Cable 15	7.7	0.33	0.0054
Cable 16	2.5	0.16	0.0008
Cable 17	2.5	0.16	0.0008
Cable 18	2.5	0.16	0.0008

#### 4.16.1.2. Berdasarkan Beban

Data yang diperoleh : I = 1.845 A; P = 1.1 kW; Vs = 400 V

- Mencari nilai Vr =

$$V_r = \frac{P}{\sqrt{3} \times I \times \cos \theta}$$

$$V_r = \frac{1100}{\sqrt{3} \times 1.845 \times 8}$$

$$V_r = \frac{1100}{25.565}$$

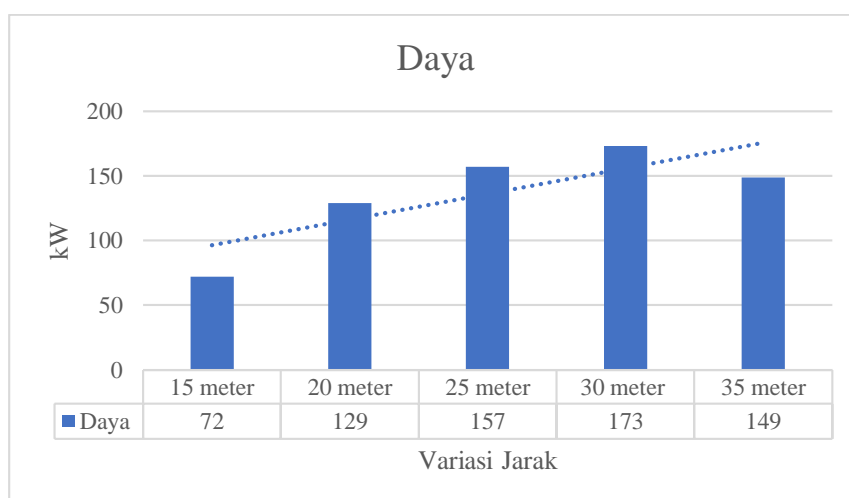
$$V_r = 430,27 \text{ v}$$

- Mencari  $\Delta V$   
 $\Delta V = V_s - V_r$   
 $\Delta V = 400 - 430,27$   
 $\Delta V = -30,27$
- Mencari  $\Delta V\%$   
 $\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\%$   
 $\Delta V\% = \frac{-30,27}{400} \times 100\%$   
 $\Delta V\% = +0,0756 \%$

Tabel 4.34 Tabel Hasil Simulasi

Load	Vs	kW	Watt	Amp	cos	Vr	Drop/over	$\Delta V$	$\Delta V\%$
Load 1	400	1.1	1100	1.845	0.8	430.2746	Over	-30.2746	0.07569
Load 2	400	1.1	1100	1.845	0.8	430.2746	Over	-30.2746	0.07569
Load 3	400	1.1	1100	1.932	0.8	410.8989	Over	-10.8989	0.02725
Load 4	400	0.372	372	0.626	0.8	428.8624	Over	-28.8624	0.07216
Load 5	400	0.372	372	0.626	0.8	428.8624	Over	-28.8624	0.07216
Load 6	400	0.372	372	0.626	0.8	428.8624	Over	-28.8624	0.07216

#### 4.17 Grafik antara Variasi Jarak dengan Total Daya



Gambar 4.28 Variasi Jarak dan Total Daya

Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa dari setiap variasi jarak minimal 15 meter sampai dengan 30 meter mengalami kenaikan daya pada pembangkit sedangkan pada variasi jarak 35 meter mengalami penurunan total daya ini dipengaruhi oleh pada variasi jarak 35 meter membutuhkan total susunan turbin yang lebih sedikit dibandingkan dengan variasi jarak 30 meter. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi dari hasil total daya pada pembangkit listrik. Pada pembangkit listrik tenaga air dijelaskan bahwa dipengaruhi dengan debit aliran dan kapasitas dari aliran air. Pada variasi jarak ini di jarak 15 meter mengalami penurunan kecepatan aliran air pada susunan setiap turbinnya sepanjang kanal sebesar 0,2 m/s, di jarak 20 meter mengalami penurunan setiap susunan turbinnya sebesar 0,1 m/s, pada jarak 25 meter mengalami penurunan 0,2 m/s tetapi untuk susunan turbin selanjutnya mengalami konstan dengan 2,3 m/s sepanjang kanal, lalu pada jarak 30 dan 35 meter mengalami penurunan kecepatan aliran air sebesar 0,1 m/s dan aliran susunan turbin konstan 2,4 m/s sepanjang kanal. Disini menjelaskan bahwa pada setiap variasi jarak memberikan penurunan kecepatan air yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi pada debit aliran air dan total susunan turbin yang akan dirancang. Sehingga pada kecepatan menurun rumus daya turbin terdapat parameter rpm, dimana rpm ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran air. Sehingga kecepatan aliran air konstan dan lebih tinggi akan memberikan daya pembangkit listrik yang besar juga.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian adalah :

1. Karakteristik dari simulasi rangkaian listrik adalah terjadi drop voltage terbesar yaitu 0,33 % pada kabel 13-15 dan *drop voltage* terkecil pada kabel 10-12 yaitu 0,03%. Drop volatge ini dipengaruhi oleh impedansi pada panjang kabel dan juga luas penampang dari kabel yang digunakan. Dan pada beban *drop voltage* terbesar terjadi adalah 0,0757 %. Dari hasil *drop voltage* ini masih sesuai dengan standard IEC 60634 sebesar +/- 5%
2. Dari hasil simulasi turbin air pada aliran fluida jarak minimum yang efektif adalah 35 meter dengan mengalami penurunan kecepatan aliran airnya pada setiap susunan turbin sepanjang kanal sebesar 0,1 m/s. Sehingga kecepatan aliran yang semula 2,5 m/s menjadi 2,4 m/s secara konstan sepanjang kanal. Jika dibandingkan dengan variasi jarak 25 meter dan 30 meter, variasik jarak 35 meter membutuhkan total susunan turbin yang lebih sedikit dibandingkan variasi yang lainnya dengan menghasilkan total daya pada pembangkit listrik yang hampir sama.
3. Pada asumsi panjang kanal 260 meter mendapatkan susunan total turbin sebanyak 7 buah, dan pada asumsi panjang kanal 390 meter mendapatkan susunan total turbin sebanyak 11 buah. Sehingga pada variasi susunan turbin jarak 35 meter mendapatkan total daya terbesar yaitu 149 kW.

#### **5.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan setelah dilakukannya penelitian ini yaitu :

1. Dilakukan studi lapangan agar mendapatkan data yang lebih detail lagi sehingga dapat menganalisa faktor eksternal yang mempengaruhi kecepatan aliran menurun.
2. Menghitung dan mendesain variasi dimensi turbin untuk susunan turbin selanjutnya, agar dapat mendapatkan kecepatan yang lebih konstan dan desain turbin yang lebih efektif karena parameter-parameter pada daya pembangkit listrik yang menggunakan turbin air dipengaruhi oleh dimensi turbin.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

1. Agung, Achmad Imam. 2013. “Potensi Sumber Energi Alternatif Dalam Mendukung Kelistrikan Nasional”.
2. A, Hidayat; D, Hidayat. Mei 2015. “Aplikasi Pembangkit Listrik Mikrohidro Untuk Penerangan Lingkungan Masyarakat Di Kecamatan Ciwidey Kabupaten Bandung”.
3. Alamsyah, Fitrah; Notosudjono, Didik. 2017. “Studi Kinerja Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air UBRUG Sukabumi”.
4. Ariadi, M. Hishom. 2011. “Studi Numerik dan Eksperimental Performansi Turbin Arus Air Tipe Vertikal Aksis Dengan Variasi Jumlah Blade dan Efek Aspect Ratio”.
5. Asy’ari, Hasyim; Jatmiko. 16 Januari 2012. “Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB)”
6. Bachtiar, Antonov; Hayattul, Wahyudi. 1 Januari 2018. “Analisa Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Nagin Nusantara (LAN) Ciheras”.
7. Dimiyati, Ari Maghfur. “Studi Kelayakan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Desa Setren Kecamatan Slogoimo Kabupaten Wonogiri”.
8. Effendy, Machmad. September 2012. “Rancang Bangun Alat Kontrol Beban Elektronik Digital Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Off Grid”.
9. Firdausy, Choirun Nisaa; Hantoro, Ridho. 2018. Analisis Pengaruh Mekanisme Passive Variable-Pitch pada Turbin Sumbu Vertikal Darrieus Cascade Terhadap Efisiensi Turbin Hidrokinetik Berbasis Computational Fluid Dynamics”.
10. Hantoro, Ridho dkk. 2018. “Numerical and Experimental Study on Side-by-Side Darrieus Cascade Turbines Array”.
11. Hantoro, Ridho; Prananda, Juniarko dkk. 2018. “(Innovation in Vertical Axis Hydrokinetic Turbine Straight Blade Cascade (VAHT-SBC) design and Testing for Low Current Speed Power Generation”.
12. Hariyanto, Slamet Dwi. 2016. :Perancangan Konstruksi Support Turbin Air Untuk Sistem Teknologi Energi Arus Laut”.
13. Imanuddin, Fahmi. 2016. “Studi Numerik Pengaruh Jumlah Hydrofoil Terhadap Karakteristik Turbin Arus Laut Vertikal Aksis Jenis Straight Blade Berbasis Computational Fluid Dynamics”.
14. Irsyadillah, Rifqi Yurid. 2018. “Analisa gangguan Hubung Singkat Sistem Tenaga Listrik Di Pusat Penampungan Produksi Menggung Pertamina Asset IV Field Cepu Dengan Menggunakan Metode ETAP 12.6”.

15. Lopulalan, Ricardo M; Sarwito, Sardono; Koenhardono, Eddy.S. “Desain Blade Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Banyuwangi Berbasis CFD”.
16. Mahmashani, Ahmad Wildan; Hantoro, Ridho dkk. 2018. “Impact of Sizing VAHT-SBC to the Channel Blockage”.
17. Purnama, Adia Cahya; Hantoro, Ridho dkk. 2013. “ Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Savonius dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran”.
18. Putra, I Kadek Yamuna Gangga. 2015. “Analisis Performansi Turbin Arus Laut Vertikal Aksis Jenis V-Straight Dan V-Helical Terhadap Perubahan Dimensi Berbasis CFD”.
19. Ratnata, Wayan; Surya, Wasimudin. 14 November 2013. “Analisa Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Saluran Air Sekitar Universitas Pendidikan Indonesia”.
20. Septyaningrum, E dkk. 2019. “Performance Analysis of Multi-Row Vertical axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascade (VAHT-SBC) turbines array”.
21. Suparman; Suyono, Hadi; 2 Oktober, 2017. “ Desain Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Terapung (PLTPHT) ”.

**LAMPIRAN**

### Hasil Data Simulasi Pada Beban

ID	Rating/Limit	Rated kV	kW	kvar	Amp	% PF	% Loading	Vtermal
Load 1	1.28 kVA	0.4	1.09	0.656	1.845	85.73	99.6	99.64
Load 2	1.28 kVA	0.4	1.09	0.656	1.845	85.73	99.6	99.64
Load 3	1.34 kVA	0.4	1.09	0.765	1.932	81.93	99.6	99.64
Load 4	0.435 kVA	0.4	0.371	0.224	0.626	85.55	99.8	99.81
Load 5	0.435 kVA	0.4	0.371	0.224	0.626	85.55	99.8	99.81
Load 6	0.435 kVA	0.4	0.371	0.224	0.626	85.55	99.8	99.81

### Hasil Data Simulasi Drop Voltage Pada Kabel

ID	From Bus	To Bus	Type	kW Flow	kvar Flow	Amp Flow	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses
Cable 1	Bus 1	Bus 4	Cable	3.89	2.41	6.603	26.4	0.09	0.0047
Cable 2	Bus 2	Bus 5	Cable	3.88	2.41	6.602	26.4	0.15	0.0081
Cable 3	Bus 3	Bus 6	Cable	3.89	2.4	6.602	26.4	0.22	0.0117
Cable 10	Bus 7	Bus 13	Cable	1.46	0.916	2.491	10	0.03	0.0005
Cable 11	Bus 8	Bus 13	Cable	1.46	0.916	2.491	10	0.03	0.0005
Cable 12	Bus 9	Bus 13	Cable	1.46	0.916	2.491	10	0.03	0.0005
Cable 13	Bus 13	Bus 10	Cable	1.09	0.653	1.838	7.4	0.33	0.0049
Cable 14	Bus 13	Bus 11	Cable	1.09	0.653	1.838	7.4	0.33	0.0049
Cable 15	Bus 13	Bus 12	Cable	1.09	0.762	1.923	7.7	0.33	0.0054
Cable 16	Bus 13	BUS 13	Cable	0.371	0.224	0.625	2.5	0.16	0.0008
Cable 17	Bus 13	Bus 14	Cable	0.371	0.224	0.625	2.5	0.16	0.0008
Cable 18	Bus 13	Bus 15	Cable	0.371	0.224	0.625	2.5	0.16	0.0008





Address: No. 57 Jintong Road,  
Binhai Industrial Park,  
Xiangshan, Ningbo, Zhejiang, 315712, China  
Tel: (+86) 574 6578 1806  
Fax: (+86) 574 6578 1606  
Emails: [Info@ginlong.com](mailto:Info@ginlong.com), [Ginlong\\_cn@hotmail.com](mailto:Ginlong_cn@hotmail.com)  
(Please send your enquiries to both Email addresses to avoid any possibility of misdirected Emails.)  
Website: <http://www.ginlong.com>



PM Generator  
Grid Tie Inverter  
Mechanical Parts



# Introduction

At a loss when it comes to wind turbine components?

Not any more with Ginlong Technologies...

Ginlong Technologies is a company, which has taken the leading market position in manufacturing generators, grid-tied inverters and other components for small scale wind turbines. In today's climate, where fossil fuel resources are dwindling and energy demand is increasing in every nation, people are simultaneously paying more attention to the environment and the value of clean energy. This has brought renewable energy to the forefront of people's attention. As the most cost effective form of renewable energy technology, wind turbine is starting to gain popularity. Small visually unobtrusive wind turbines are winning over even who might otherwise object to large scale wind farms.

With our machinery and electrical products manufacturing background going back over 20 years, we have a team of dedicated engineers experienced in renewable energy, devoted to providing you with top quality, world class wind turbine parts and components, which may be from a standard range or, if the client so chooses, as a specially customised design.

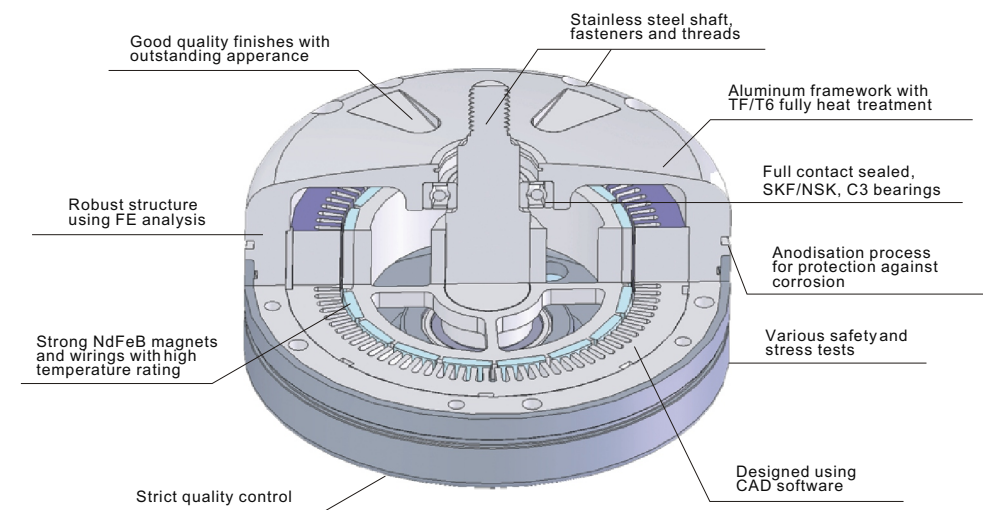
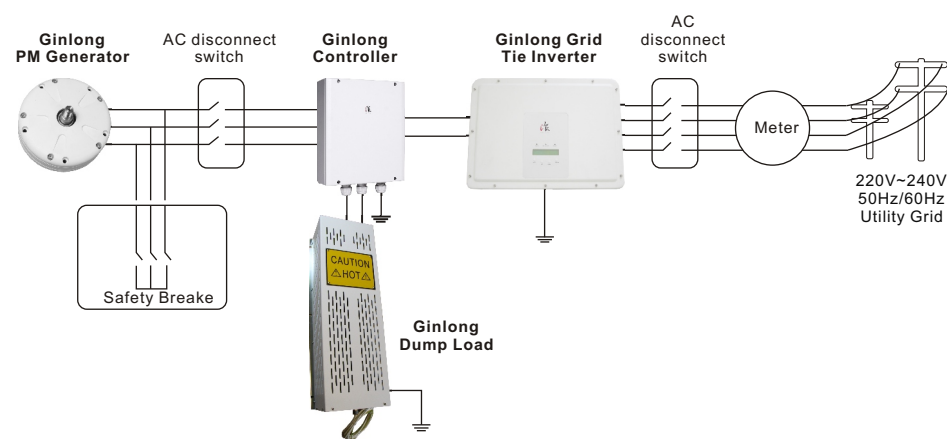
Ginlong manufactures, provides consultation and design services for a broad range of small wind turbine parts and systems (<30kW), including Permanent Magnet Generators, Grid-Connected Inverters, Controllers and numerous other wind turbine Mechanical Parts. We have some of the latest equipment, new factories and up to date production management techniques. We not only excel at large scale production but also have the ability to help small businesses to develop designs and products that suit them.

Where we differ from traditional manufacturing companies is our very strong Research and Development (R&D) ability. Our R&D team consists of several Ph.D. holders and industry experts to spear head the team. They all have many years of experience in their respective areas of research and expertise which is crucial to the solving of the clients R&D and production problems, some of it resulting in new patents for the company in order to protect the product and design. This has form the basis for several government projects for valuable scientific contribution and achievements. More importantly, as a manufacturer, we take this R&D one step further with our highly capable staff to come up with easy to manufacture design for large production volumes. In the R&D and experimental phase, we regularly design specialised test equipment, e.g. we designed a dedicated generator test set for the testing and quality control of our PMGs and assembled expensive test equipment to perform specialised inverter testing to perform stringent tests which is demanded in various standards around the world to ensure safety and performance. As a result our inverters have already passed world most popular standard testings (e.g. VDE0126-1-1, UL1741 AS4777, G83/1, DK5940)

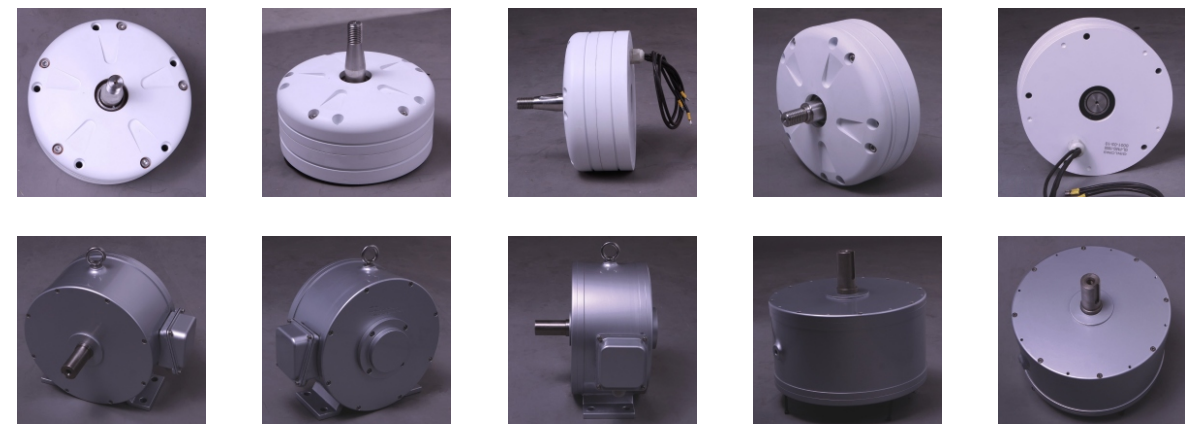
We have an extremely strict quality control procedure. Although we offer world class design and quality in our products, our price is still extremely competitive globally. We warmly welcome you to contact us to discuss about your product and design and allow us to answer any questions you may have.



# Permanent Magnet Generator



Ginlong Technologies' range of GL series Permanent Magnet Generators (PMG) has been specially designed for small wind turbine manufacturers to incorporate into their wind turbine designs. Designed with a understanding of wind turbine systems, the PMGs come either in low voltage version specially targeted toward battery charging systems and high voltage models especially suitable for grid connected inverter systems. The PMGs run at low RPM to optimise the tip-speed ratio and also for low rotational noise considerations for turbine designers.



- Low start up speed due to low cogging and resistive torque design.
- Gearless, direct drive, low RPM generator.
- High standard, quality components for use in harsh and extreme environments.
- High efficiency and low mechanical resistance energy loss.
- Excellent heat dissipation and special internal structure.
- High strength from the specially designed structure and fully heat treatment Aluminium.
- Generator is designed using specialised material and treated to resist corrosion and oxidation.
- Designed for reliable and long operational lifetime under long-term full output.
- Designed for 20-year operation life.
- Patent protected design.

For a small scale domestic or light industrial solution, wind turbine is one of the most common forms of renewable energy options. Wind turbines utilise the power of the wind, harnessed by specially designed turbine blades, which causes the Permanent Magnet Generator to turn and convert mechanical power to electrical power. The choice of PMGs is important as it determines the efficiency, performance, rotational speed and noise of the turbine. Our PMGs are specially designed to operate efficiently at low speeds so that the acoustic signature of the turbine can be minimised, which is important as most countries are beginning to legislate the amount of noise a domestic turbine may emit in a urban area.

A grid tie inverter system performs in a similar fashion to a normal inverter but is of a much higher specification and is thus able to interface with the electrical grid network and export power to the grid without degrading and interfering with the network's performance. Countries around the world are starting to legislate this

very carefully and our grid tie inverters have been designed to pass these requirements. The use of a grid tie inverter allows the end-user to avoid spending money on batteries to store electrical energy which is very inefficient and environmentally unfriendly. Using our grid tie inverters allow the owner to generate electrical power which is used directly within the premises when the local demand is higher than what the wind turbine is producing, therefore reducing the amount of electricity that the owner has to buy from the grid. During times of low electricity consumption but high generation (eg. during windy nights), the excess electrical energy produced will be exported back to the grid. More and more countries are now paying owners for the electricity they are generating and buying back any excess energy exported to the grid.

The following pages feature Ginlong Technology products which help manufacturers select the most appropriate to integrate into their renewable energy offering to their clients.



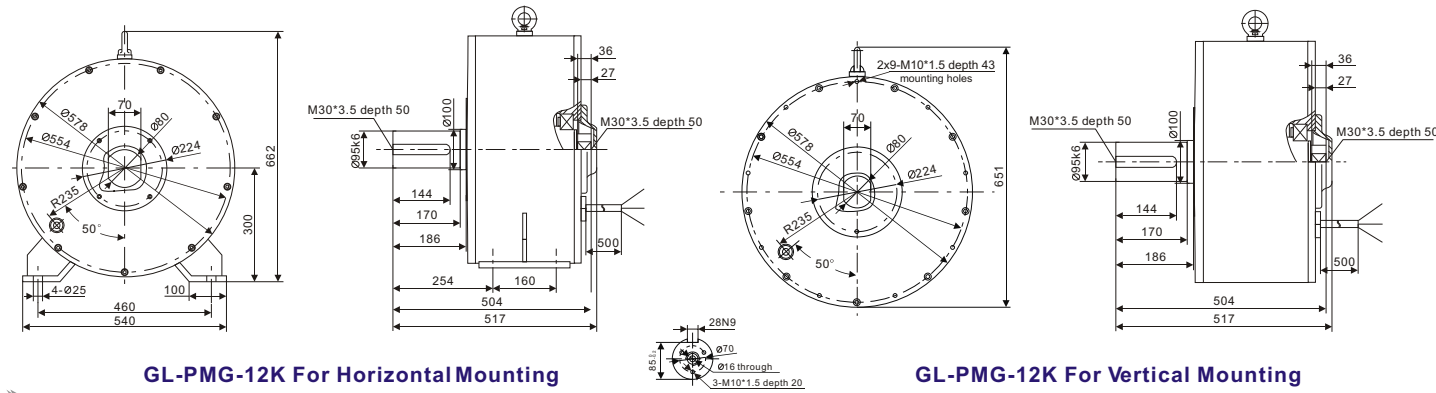




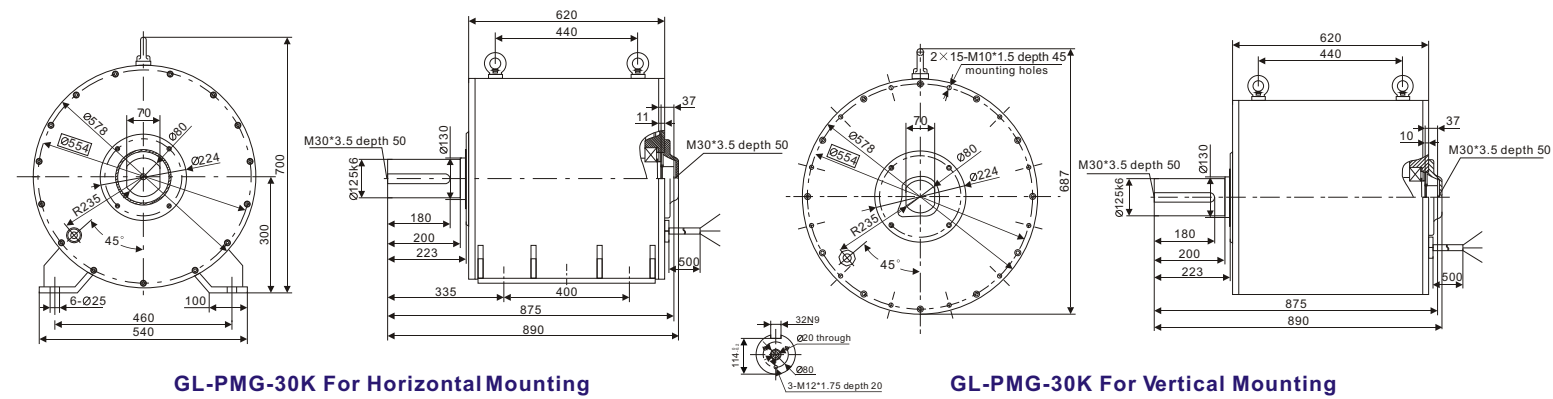
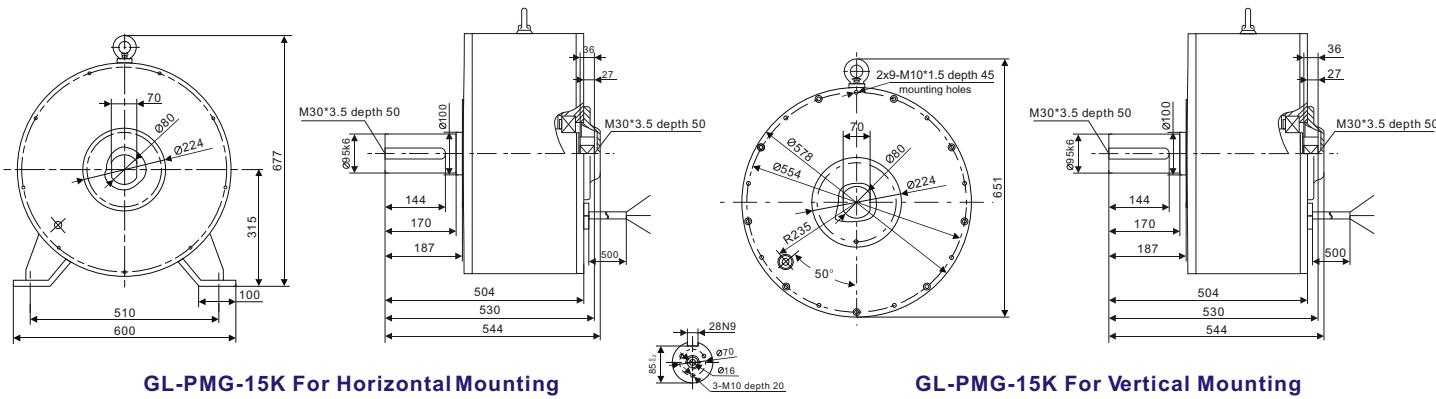
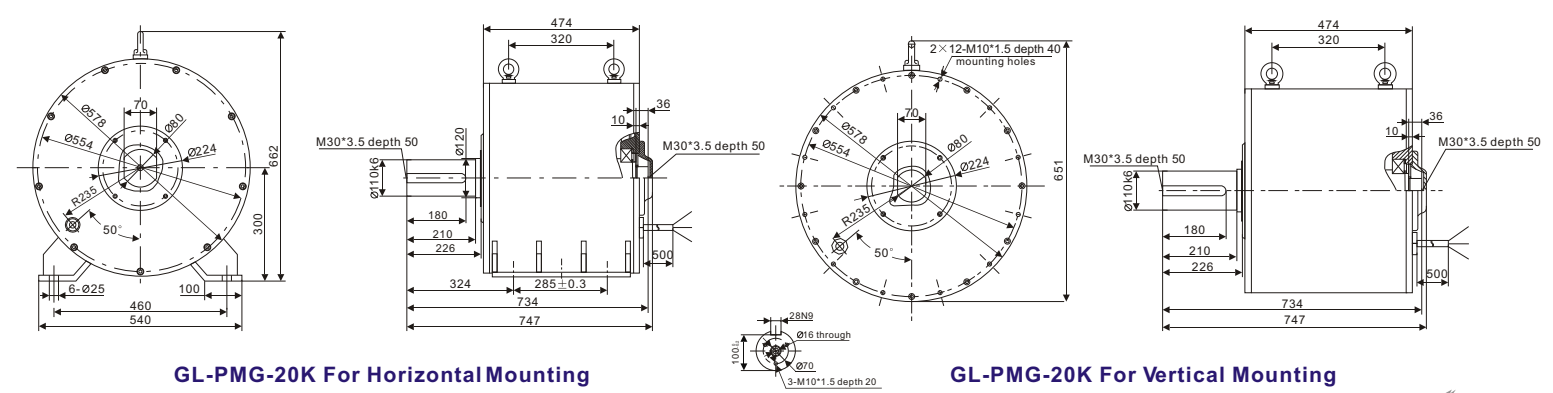
## GL-PMG-12K, 15K Specifications

## GL-PMG-20K, 30K Specifications

### Outer Dimensions and Mounting Dimensions



### Outer Dimensions and Mounting Dimensions

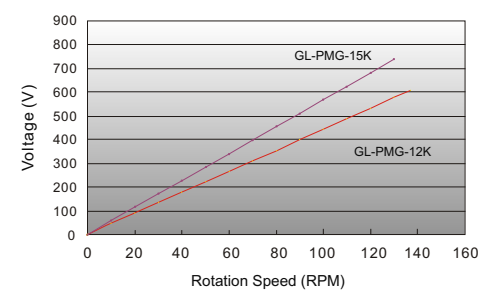


Model	GL-PMG-12K		GL-PMG-15K	
Rated Output Power (W)	12K		15K	
Rated Rotation Speed (RPM)	135		125	
Mounting Method	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Weight (kg)	350	340	375	363
Shaft Bearing	High standard NSK bearing			
Fasteners (Nuts and Bolts)	High standard Stainless Steel			
Lamination Stack	High specification cold-rolled Steel			
Windings Temperature Rating	180 degrees Celsius			
Magnet Material	NdFeB (Neodymium Iron Boron)			
Magnets Temperature Rating	150 degrees Celsius			
Generator Configuration	3 Phase star connected AC output			
Interface	Unique bottom interface available for extension for mechanical brake or other usage			

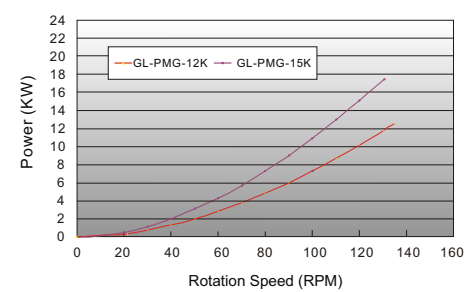
Model	GL-PMG-20K		GL-PMG-30K	
Rated Output Power (W)	20K		30K	
Rated Rotation Speed (RPM)	100		100	
Mounting Method	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Weight (kg)	585	565	760	748
Shaft Bearing	High standard NSK bearing			
Fasteners (Nuts and Bolts)	High standard Stainless Steel			
Lamination Stack	High specification cold-rolled Steel			
Windings Temperature Rating	180 degrees Celsius			
Magnet Material	NdFeB (Neodymium Iron Boron)			
Magnets Temperature Rating	150 degrees Celsius			
Generator Configuration	3 Phase star connected AC output			
Interface	Unique bottom interface available for extension for mechanical brake or other usage			

\* All of the data regarding GL-PMG-20K and GL-PMG-30K is not finally confirmed, please check with us for updated information.

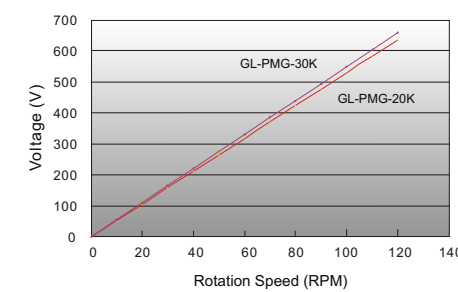
### Unloaded Voltage



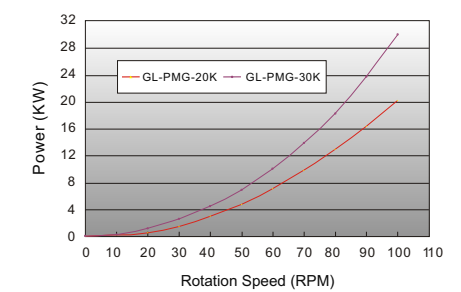
### Power Curve



### Unloaded Voltage



### Power Curve



# Inverters

The GCI series of Grid Connected(Grid-Tied) Inverters have been created to handle both wind and PV applications. They are designed to convert the power from wind and PV into utility-grade power that can be used by the home or sold to the local electrical utility. With output powers ranging from 2kW to 30kW and a wide input voltage range (30V to 750V), these inverters can handle almost any wind turbine or PV system. With new sophisticated, programmable control and fast responding algorithms, the wind turbine versions outperform any other non-dedicated inverters. MPPT algorithms also allow maximum performance when used with PV systems. Maximise your output and minimise your payback period with a Ginlong GCI inverter today.



## Leading Features

- 40 point programmable, linearly extrapolated power curve, via inverter display, to match the output of a specific wind turbine.
- Ultra wide input voltage range.
- Able to respond to very quick input voltage change and very fast output power response as well.
- Use current controlled PWM inverter technology.
- Compact and light design, one-person easy installation.
- IP65, visually pleasing, suitable for installing in a domestic environment.
- Maximum efficiency greater than 97%.
- Use our wind turbine specific grid-connection controlling algorithm, running with high efficiency, safety and reliability.
- Stackble for possible multi-units use.
- Highly reliable, numerous protection functions.
- Provides both LCD and LED displays for monitoring various parameters.

Model	GCI-1.5K		GCI-2K		GCI-3K		GCI-3.6K		GCI-4.6K		GCI-5K		GCI-10K											
	Wind	PV	Wind	PV	Wind	PV	Wind	PV	Wind	PV	Wind	PV	Wind	PV										
Energy source																								
Max. DC input voltage(V)	450		600		600		600		600		600		1000											
MPPT operating range(V)	30-400	100-400	30-540	100-500	30-540	100-500	30-540	100-500	30-540	100-500	30-540	100-500	30-750	250-800										
Rated DC voltage(V)	250		400																					
Max. DC input current(A)	9		9		20		10+10		24		10+10		25		15+15		25		15+15		33		22+15	
Number of MPP/Max. strings per MPPT	1/1		1/1		1/1		2/1		1/1		2/1		1/1		2/1		1/1		2/1		1/1		2/3	
Rated output power(kW)	1.5		2		3.0		3.6		4.6		5.0		10											
Max. transient power(kW)	1.7		2.1		3.3		3.8		5.0		5.5		11											
Rated AC grid voltage(V)	230												400											
AC grid voltage range(V)	180-270(adjustable)												340-450(adjustable)											
Operating phase	Single												Three phase											
Rated AC grid output current(A)	6.25		8.7		13.0		15.7		20		21.7		14.5											
Output power factor	>0.99																							
Grid current THD	Total THD<4%																							
DC injection current(mA)	<10				<20				<50				<10											
Rated grid frequency	50/60Hz																							
Max. efficiency	>95%				>96.5%				>97.5%				>97%		>97.5%									
Protection	DC reverse-polarity protection; AC short circuit protection; islanding protection; temperature protection. Etc.																							
Size(mm)	520W×385H×120D				520W×385H×150D				400W×580H×170D				400W×740H×170D		400W×800H×170D×2									
Weight(kG)	12.7				16				18				23		40									
Topology	Transformerless																							
Internal consumption	<5W (NO wind)	<1W (Night)	<6W (NO wind)	<1W (Night)	<6W (NO wind)	<1W (Night)	<6W (NO wind)	<1W (Night)	<6W (NO wind)	<1W (Night)	<6W (NO wind)	<1W (Night)	<6W (NO wind)	<1W (Night)										
Running temperature	-25C ~60C																							
Ingress protection	IP65																							
Interface	RS485						RS485 and Bluetooth																	
Designed lifetime	>20 years																							
Operating range utility frequency(Hz)	47-52 or 57-62 (ajustable)																							
Utility monitoring	Islanding protection V <sub>AC</sub> , F <sub>AC</sub> in accordance with UL1741, G83/1, As4777, VDE 0126-1-1																							
Operating surroundings humidity	0~95%																							
EMC	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007																							





The Ginlong controller with dump load is used to rectify frequency-variable output voltage of the wind turbine generator to DC voltage before feeding into the grid tie inverter. It is not only protecting against overvoltage for the wind turbine system, but providing the replaced load when the grid is down. There are three different voltage protecting points you can set in the controller.

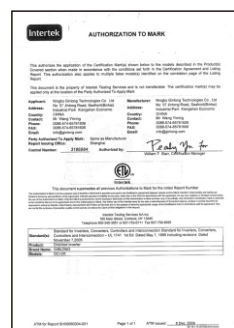
Item	Parameter		
Product	Controller		
Model	GCB-5K	GCB-20K	GCB-60K
Rated input power(kW)	5	20	60
Max. AC inputvoltage(V)	500	500	500
Max. AC inputcurrent(A)	10	40	80
Rated DC output power(kW)	2	12	30
Max. DC output voltage(V)	750	750	750
Max. DC output current(A)	10A	40A	75A
Optional DC diversion voltage(V)	1.300-400V 2.400-500V 3.500-600V	1.300-400V 2.400-500V 3.500-600V	1.300-400V 2.400-500V 3.500-600V
Rated Dump load outputpower(kW)	4	8	30
Max. DC dump loadoutput voltage(V)	750	750	750
Max. DC dump loadoutput current(A)	15	30	75
Efficiency	>99.3%	>99.3%	>99.3%
Operating environment temperature	-25~60℃	-25~60℃	-25~60℃
Protection degree	IP65	IP65	IP65
Width/height/depth(mm)	276*370*117	276*370*135	450*391*150
Weight(kG)	5	7	12



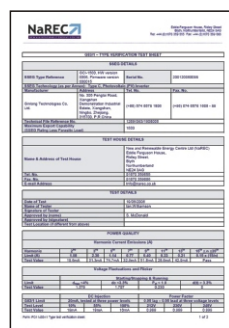
Our wind version's GCI series of inverters differ from what our competitor can offer due to the fact that our inverters have been designed primarily to work with wind turbines, which is technically more demanding, and not only PV systems. Our inverters feature a multi-point power curve which allows any wind turbine manufacturer to define to a much better fit to their blades. In addition, the power curve setting is computer-free configuration via front-panel LCD buttons. Our system allows manufacturers to modify the power curve settings by themselves to allow them to redefine the performance of the inverter as the blade sets are improved without returning the unit for modifications. The control system for the inverter is able to respond much quicker to input changes, than one for a PV inverter, to allow better energy capture and faster safety response.



CE Certificate



UL 1741 Certificate



G83/1 Certificate



AS 4777 Certificate



VDE Certificate

Item	Parameter	Parameter
Product	Dump Load	Dump Load
Model	GLL-4K	GLL-5K
Rated input power(kW)	4	5
Rated DC Input voltage(V)	510	390
Rated DC input current(A)	7.8	12.8
Resistance(ohm)	65	30
Operating environment temperature	-50~60℃	-50~60℃
Protection degree	IP54	IP54
Width/height/depth(mm)	830*285*180	850*390*265
Weight(kG)	24.2	24.5
Connected wire(mm <sup>2</sup> )	2.5	2.5



## Mechanical Parts

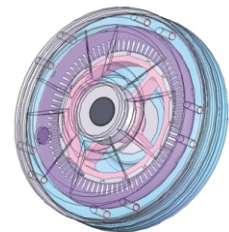
With a long and established history in casting, machining and moulding, we have the capability to mass manufacture customised parts for most components. Equipped with modern machinery, we are able to make almost any part to a customer's requirements. For example, we can make nacelles, yaw mounting plates, blade hub plates, furling mechanism etc. We assemble in-house and are therefore able to maintain quality assurance throughout. If required, we can perform stress and fatigue analysis using finite element analysis software to minimise design errors for complicated designs. Using the latest 3D CAD rendering software, we are able to give the client an impression of the final part / product before any tooling is even made. We also perform mould flow simulations prior to mould manufacture in order to minimise cast failures and material wastage. Potential clients are encouraged to contact us with details of their designs for mass production for a competitive quote.



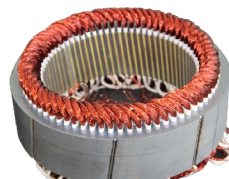
## Customisation



We understand that most wind turbine manufacturers have slightly different requirements when it comes to components due to either technical design criteria or aesthetic requirements. Although, we endeavour to create a standardised series of wind turbine parts to allow manufacturers to get the best quality products at the lowest price, we still offer the client to opportunity to customise their parts or components depending on the volume required.



For example, we can also customise and make new end covers for the PMGs, this allows the clients to create a turbine with a unique identity while still keeping the same electrical performance of the system. The client may also prefer different shaft designs depending on their turbine's hub plate and rotor design. We can even make the internal winding structure different should the client have the need, in order to make the unit suit another application while still keeping with the same high quality and standard of our standardised product range which clients have come to appreciate and depend upon. We can design and make new design inverter enclosures to fit in with the client's products' collective look or perhaps even modify control strategies to adapt the GCI inverters to suit special applications. The options are almost limitless and most things can be considered for a suitably large volume production. Please contact us for more details on how we can be of service to help you business grow.



# DROP VOLTAGE STANDARD

## 6 – ELECTRICAL PARAMETERS

For power, low voltage and medium voltage cables, cross section nominal areas are calculated in taking into account several parameters as:

- permissible current carrying capacities
- voltage drop
- short circuit values

### 6-1 Permissible current carrying capacities:

Permissible current carrying capacities are stated by the rules of the vessel approval authority and in line with IEC 60092-352 and IEC 61894-4 standards.

These values are applicable for DC and AC with a nominal frequency of 50 Hz or 60Hz.

For higher frequency, current ratings shall be calculated with appropriate method.

First, these values depend on the temperature class of the cable, and mainly on the maximum service temperature suitable for the insulation compound. Nowadays, in shipbuilding industry, 90°C rated cables are mostly installed on board.

Other important parameters are to be taken into account for the choice of the nominal cross section areas of conductors:

- ambient temperature
- mutual heating effect due to cables grouping
- short time duty
- solar radiation

#### 6-1-1 Ambient temperature

For other ambient air temperatures, correction factors have to be applied.

Ambient temperature									
35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C
1.10	1.05	1.00	0.94	0.88	0.82	0.74	0.67	0.58	0.47

#### 6-1-2 Cables grouping

When cables are installed in group, due to thermal effect, a correction factor 0.85 must be applied to reduce the current carrying capacities.

Current ratings are recommended as being applicable to both unarmoured and armoured cables laid in free air as a group of 4 bunched together. These ratings may be

This catalogue gives only an extract of IEC 60092-352 standard that selected 2 methods for the determination of current carrying capacities for continuous service. These methods are derived from experimental data and from IEC 60287 (Electric cables- Calculation of current rating).

*Method A: calculation with the formula*

$$I = A S^m - B S^n \quad \text{where}$$

*I is the current rating capacity (in Ampere).*

*S is the nominal cross section area of conductor (in mm<sup>2</sup>).*

*A and B are coefficients, m and n are exponents according to cable type and method of installation.*

This method allows for greater choice of use in different installation configurations (see IEC 60092-352 and/or IEC 60364-5-52).

*Method B: calculation with the formula*

$$I = A S^{0.625} \quad \text{where}$$

*I is the current rating capacity (in Ampere).*

*S is the nominal cross section area of conductor (in mm<sup>2</sup>).*

*A is a coefficient depending on the conductor temperature class, e.g. A = 18 for MPRX and MPRXCX cables.*

considered applicable, without correction factors for a group of maximum 6 cables bunched together on cable trays, operating simultaneously at their full rated capacity, without free air circulation around them.

When, it is to be expected that air temperature around cables could be higher than 45°C (due to heat transfer or in compartments where heat is produced) the current rating given in the table shall be reduced.



### 6-1-3 Short time duty

Correction factor could be also applied to maximise current ratings when cables are operating during a short period (less than 1 hour).

This factor depends on the cable time constant and also on the cable diameter.

For more details, see IEC 60092-352.

### 6-1-4 U.V. solar radiation

We recommend shielding cables from direct solar exposition, but in case of solar radiation, a correction factors must be applied to the current carrying capacities given in the table:

- 0.8 for black colour of outer sheath
- 0.9 for light colour of outer sheath (e.g. light grey).

### 6-2 Voltage drop:

Current carrying in an electrical link induces a voltage drop. This value is the difference between the measured voltages at both ends of the link.

In general, accepted values (in percentage) are 3% for lighting and 5% for motors or other uses.

Voltage drop depends on:

- type of current: direct current (DC) or alternative current (AC) in single or tri-phased systems
- length of the link : directly proportional
- carrying current (amperage) and power factor (cos phi)

- cable and conductor electrical parameters: electrical resistance and inductance.

*In direct current system:*  $U = 2 L R I$

*In single phased alternative current system:*

$$U = 2 L I (R \cos \phi + Z \sin \phi)$$

*In tri-phased alternative current system:*

$$U = L I \sqrt{3} (R \cos \phi + Z \sin \phi)$$

*where*

- $U$  voltage drop (in Volts).
- $R$  electrical conductor resistance in operating temperature (in Ohm/km).
- $L$  cable length (in km).
- $I$  current rating value (in Ampere).
- $\cos \phi$  power factor, if no details, power factor is  $\cos \phi = 0.8$  and  $\sin \phi = 0.6$ .
- $Z$  reactance (in Ohm/km).

For a quick calculation, the following table gives the voltage drop for most of low voltage cables with XLPE (90°C temperature class) and for various values of  $\cos \phi$ .

Values are for a tri-phased system (3 or 4 conductor cable, or 3 single core cables).

Cross-section area (mm <sup>2</sup> )	Voltage drop (V/ A x km)			
	cos $\phi$ = 1	cos $\phi$ = 0.9	cos $\phi$ = 0.8	cos $\phi$ = 0.6
1.5	26.00	24.20	21.50	16.20
2.5	15.50	14.40	12.80	9.60
4	10.00	9.00	8.00	6.10
5	6.60	6.10	5.40	4.20
10	3.90	3.60	3.20	2.50
16	2.50	2.30	2.10	1.50
25	1.60	1.50	1.35	1.10
35	1.15	1.10	1.00	0.85
50	0.85	0.80	0.75	0.65
70	0.57	0.60	0.55	0.50
120	0.35	0.35	0.36	0.34
95	0.42	0.45	0.42	0.40
150	0.28	0.30	0.32	0.31
185	0.23	0.25	0.28	0.24
240	0.18	0.21	0.26	0.23
300	0.14	0.18	0.24	0.21

### 6-3 Short circuit values:

Cables and their insulated conductors must withstand the thermal effect produced by the short circuit which can flow in the circuit.

As the duration is low, normally less than 5 seconds, adiabatic heating in insulation compound is only considered.

The short circuit current rating calculation is based on the difference of conductor temperature before and at the end of the short circuit.

These temperatures are depending on the insulation compound, e.g. for XLPE, initial temperature is 90°C (maximum operating conductor temperature) and final max temperature is 250°C.

Short circuit current ratings are also depending on the duration of the short circuit before the setting off the electrical protection (circuit breaker or fuse).

The following table gives values for cables insulated with XLPE, HEPR and HF90 compounds as MPRX®, MPRXCX®, MPRX® 331 and MPRXCX® 331.

Cross sectional area (mm <sup>2</sup> )	Short circuit current ratings (A)			
	Time duration (s)			
	0.1s	0.2s	0.5s	1s
1.0	453	320	202	143
1.5	680	480	304	215
2.5	1 133	800	506	358
4	1 810	1 280	810	572
6	2 720	1 920	1 210	860
10	4 520	3 200	2 020	1 430
16	7 250	5 100	3 240	2 290
25	11 300	7 950	5 050	3 570
35	15 800	11 200	7 070	5 000
50	22 600	16 000	10 100	7 150
70	31 600	22 300	14 100	10 000
95	43 300	30 600	19 300	13 700
120	54 100	38 200	24 200	17 100
150	67 700	47 800	30 200	21 400
185	83 500	59 000	37 300	26 400
240	108 000	76 700	48 500	34 300
300	135 000	96 000	60 600	42 900

*For other short circuit duration, the maximum short circuit rating is calculated with the formula:*

$$I_{sc} = A / \sqrt{t}$$

where

$I_{sc}$

is the short circuit rating during "t" second.

t

is the short circuit duration.

A

is the short circuit rating for 1 second.

The following table gives current carrying capacities in continuous service for 90°C rated cables for an ambient air temperature of 45°C.

Nominal cross-sectional area mm <sup>2</sup>	Current carrying capacity		
	Single core (A)	2 cores (A)	3 or 4 cores (A)
1.5	21	18	15
2.5	28	24	20
4	38	32	27
6	49	42	34
10	67	57	47
16	91	77	64
25	120	102	84
35	148	126	104
50	184	156	129
70	228	194	160
95	276	235	193
120	319	271	223
150	367	312	257
185	418	355	293
240	492	418	344
300	565	480	396

## 7 – ELECTRICAL PARAMETERS FOR INSTRUMENTATION CABLES

For instrumentation cables, main electrical parameters are:

- electrical resistance and loop resistance
- current ratings
- voltage drop
- mutual capacitance
- loop inductance and L/R ratio

- insulation resistance (conductors, screen, armour)

All these values are given in the following table for Nexans TX® and TCX® range with bare copper conductor.

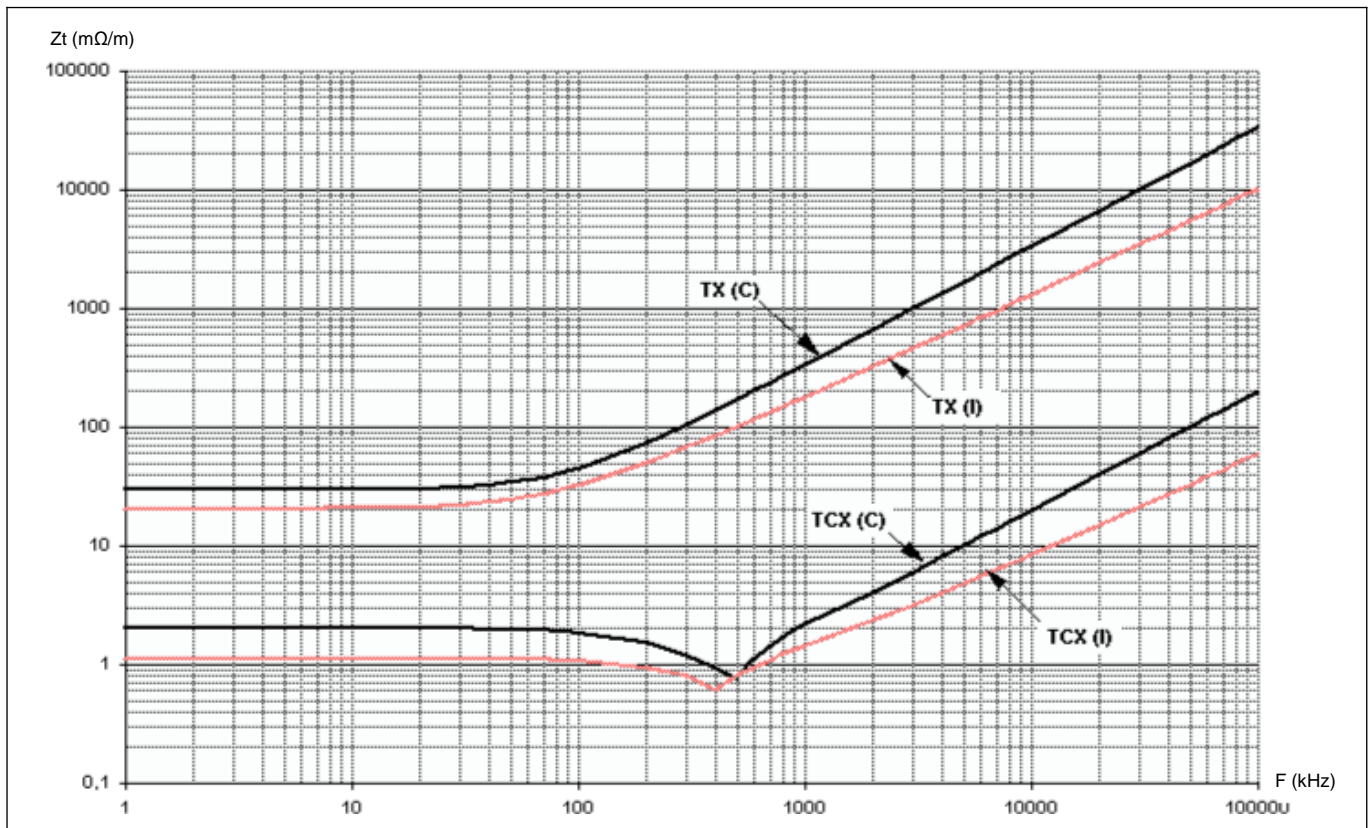
	Number of pairs	0.5 mm <sup>2</sup>	0.75 mm <sup>2</sup>	1.5 mm <sup>2</sup>
Electrical conductor resistance in DC at 20°C (Ohm/km) Loop resistance (Ohm/km)		40.4 80.8	26.0 52.0	12.8 25.6
Current carrying capacity (A)	" 4 p > 4 p	8 4	12 6	14 7
Voltage drop in DC (V/A.km)		52	39	26
Capacitance at 1 kHz Individual screen (nF/km)		81	82	92
Capacitance at 1 kHz Collective screen (nF/km)	2 p 4 p 7 p to 24 p	63 53 51 to 49 p	62 52 51 to 48 p	69 56 54 to 52 p
Capacitance for 331 types with HF 90 compound Individual screen (nF/km)		-	100	115
Loop Inductance (mH/km) at 1 kHz		0.63	0.64	0.60
L/R ratio at 20°C		0.0078	0.0123	0.0234
Cores insulation resistance (M Ohm - km) Screen insulation resistance (M Ohm - km) Screen/Armour insulation resistance (M Ohm - km)		> 1000 > 1 > 0.25	> 1000 > 1 > 0.25	> 800 > 1 > 0.25

Permissible current carrying capacity is given for an ambient temperature of 45°C and for a maximum conductor temperature of 90°C.

An other important parameter for these instrumentation cables could be the screen efficiency and the transfer impedance value designated by Zt.

Nexans has studied screening efficiency for TX® and TCX® range. Curves (transfer impedance related to frequency) have been established for various 7 pairs.

## Transfer impedance Value (Zt) according to the frequency (F)



- **TX®(C):**

*(Unarmoured, collective screen)*

Electromagnetic screening of the TX (C) cable is simple and shows a medium protection in polluted electromagnetic surroundings.

- **TX®(I):**

*(Unarmoured, individual screen)*

TX (I) is an excellent compromise between TX (C) and TCX (C) cables.

- **TCX®(C):**

*(Armoured, collective screen)*

The TCX (C) cable shows a low transfer impedance in low frequency and an effective screening in high frequency. TCX (C) would be recommended in polluted electromagnetic surroundings.

- **TCX®(I):**

*(Armoured, individual screen)*

This cable type shows an excellent protection in both low and high frequency runs.



IEC 60038

Edition 7.0 2009-06

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

HORIZONTAL STANDARD  
NORME HORIZONTALE

---

**IEC standard voltages**

**Tensions normales de la CEI**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)  
Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

### A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)  
Tél.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60038

Edition 7.0 2009-06

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

HORIZONTAL STANDARD

NORME HORIZONTALE

**IEC standard voltages**

**Tensions normales de la CEI**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

**M**

ICS 29.020

ISBN 2-8318-1047-0



## CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references .....	5
3 Terms and definitions .....	5
4 Standard voltages .....	7
4.1 AC systems having a nominal voltage between 100 V and 1 000 V inclusive and related equipment.....	7
4.2 DC and a.c. traction systems.....	8
4.3 AC three-phase systems having a nominal voltage above 1 kV and not exceeding 35 kV and related equipment .....	8
4.4 AC three-phase systems having a nominal voltage above 35 kV and not exceeding 230 kV and related equipment .....	9
4.5 AC three-phase systems having a highest voltage for equipment exceeding 245 kV.....	10
4.6 Equipment having a nominal voltage below 120 V a.c. or below 750 V d.c.....	11
Annex A (informative) Highest and lowest voltage values at supply and utilization terminals for a.c. systems having a nominal voltage between 100 V and 1 000 V.....	12
Bibliography.....	13
Table 1 – AC systems having a nominal voltage between 100 V and 1 000 V inclusive and related equipment .....	7
Table 2 – DC and a.c. traction systems <sup>a</sup> .....	8
Table 3 – AC three-phase systems having a nominal voltage above 1 kV and not exceeding 35 kV and related equipment <sup>a</sup> .....	9
Table 4 – AC three-phase systems having a nominal voltage above 35 kV and not exceeding 230 kV and related equipment <sup>a</sup> .....	10
Table 5 – AC three-phase systems having a highest voltage for equipment exceeding 245 kV <sup>a</sup> .....	10
Table 6 – Equipment having a nominal voltage below 120 V a.c. or below 750 V d.c.....	11
Table A.1 – Highest and lowest voltage values at supply and utilization terminals for a.c. systems having a nominal voltage between 100 V and 1 000 V .....	12

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## IEC STANDARD VOLTAGES

## FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60038 has been prepared by IEC technical committee 8: System aspects for electrical energy supply.

This seventh edition supersedes the sixth edition (1993), its Amendment 1 (1994) and its Amendment 2 (1997). It constitutes a technical revision. The significant technical changes are:

- a clarification of the scope;
- the addition of the values of 230 V (50 Hz) and 230/400 V (60 Hz) to Table 1;
- the update of Table 1 to take into account the end of the transition period for the values of 230/400 V and 400/690 V;
- the replacement of the utilization voltage range at LV by a reference to the relevant standard and an informative annex;
- the addition of the value of 30 kV to Table 3;
- the replacement of the value of 1 050 kV by 1 100 kV in Table 5.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
8/1260/FDIS	8/1264/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

It has the status of a horizontal standard in accordance with IEC Guide 108.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

## IEC STANDARD VOLTAGES

### 1 Scope

This publication applies to

- a.c. transmission, distribution and utilization systems and equipment for use in such systems with standard frequencies 50 Hz and 60 Hz having a nominal voltage above 100 V;
- a.c. and d.c. traction systems;
- a.c. and d.c. equipment having nominal voltages below 120 V a.c. or below 750 V d.c., the a.c. voltages being intended (but not exclusively) for 50 Hz and 60 Hz applications; such equipment covers batteries (from primary or secondary cells), other power supply devices (a.c. or d.c.), electrical equipment (including industrial and communication), and appliances.

This publication does not apply to voltages representing or transmitting signals or measured values.

This publication does not apply to standard voltages of components and parts used within electrical devices or items of equipment.

This publication specifies standard voltage values which are intended to serve

- as preferential values for the nominal voltage of electrical supply systems, and
- as reference values for equipment and system design.

NOTE 1 Two main reasons have led to the values specified in this standard:

The values of nominal voltage (or highest voltage for equipment) specified in this standard are mainly based on the historical development of electrical supply systems throughout the world, since these values turned out to be the most common ones, and have achieved worldwide recognition;

The voltage ranges mentioned in this standard have been recognized to be the most appropriate ones as a basis for design and testing of electrical equipment and systems.

NOTE 2 It is nevertheless the task of system and product standards to define appropriate testing values, testing conditions and acceptance criteria.

### 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60364-5-52: *Electrical installations of buildings – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

For alternating voltages, the voltages stated below are r.m.s. values.

**3.1****nominal system voltage**

a suitable approximate value of voltage used to designate or identify a system

[IEV 601-01-21, modified]

**3.2****highest voltage of a system  
(excluding transient or abnormal conditions)**

the highest value of operating voltage which occurs under normal operating conditions at any time and at any point on the system

NOTE It excludes transient overvoltages, such as those due to switching operations, and temporary variations of voltage.

[IEV 601-01-23, modified]

**3.3****lowest voltage of a system  
(excluding transient or abnormal conditions)**

the lowest value of operating voltage which occurs under normal operating conditions at any time and at any point on the system

NOTE It excludes transient voltages, such as those due to switching operations, and temporary variations of voltage.

[IEV 601-01-24, modified]

**3.4****supply terminals**

point in a transmission or distribution network designated as such and contractually fixed, at which electrical energy is exchanged between contractual partners

**3.5****supply voltage**

the phase-to-phase or phase-to-neutral voltage at the supply terminals

NOTE An equivalent definition is: the line-to-line or line-to-neutral voltage at the supply terminals.

**3.6****supply voltage range**

the voltage range at the supply terminals

**3.7****utilization voltage**

the phase-to-phase or phase-to-neutral voltage at the outlets or at the points where utilisation equipment is intended to be connected to the fixed installation

NOTE An equivalent definition is: the line-to-line or line-to-neutral voltage at the outlets or at the points where utilisation equipment is intended to be connected to the fixed installation.

**3.8****utilization voltage range**

the voltage range at the outlets or at the points where utilisation equipment is intended to be connected to the fixed installation

NOTE Attention is drawn to the fact that in some equipment standards (for example, IEC 60335-1 and IEC 60071), the term "voltage range" has a different meaning.

**3.9**

**highest voltage for equipment**

highest voltage for which the equipment is specified regarding:

- a) the insulation;
- b) other characteristics which may be linked to this highest voltage in the relevant equipment recommendations.

NOTE Equipment may only be used on systems having a highest system voltage less than or equal to its highest voltage for equipment.

**4 Standard voltages**

**4.1 AC systems having a nominal voltage between 100 V and 1 000 V inclusive and related equipment**

The nominal voltage of an a.c. system in the range from 100 V to 1 000 V should be selected from the values given in Table 1.

**Table 1 – AC systems having a nominal voltage between 100 V and 1 000 V inclusive and related equipment**

Three-phase four-wire or three-wire systems		Single-phase three-wire systems
Nominal voltage V		Nominal voltage V
50 Hz	60 Hz	60 Hz
–	120/208	120/240 <sup>d</sup>
230 <sup>c</sup>	240 <sup>c</sup>	–
230/400 <sup>a</sup>	230/400 <sup>a</sup>	–
–	277/480	–
–	480	–
–	347/600	–
–	600	–
400/690 <sup>b</sup>	–	–
1 000	–	–

<sup>a</sup> The value of 230/400 V is the result of the evolution of 220/380 V and 240/415 V systems which has been completed in Europe and many other countries. However, 220/380 V and 240/415 V systems still exist.

<sup>b</sup> The value of 400/690 V is the result of the evolution of 380/660 V systems which has been completed in Europe and many other countries. However, 380/660 V systems still exist.

<sup>c</sup> The value of 200 V or 220 V is also used in some countries.

<sup>d</sup> The values of 100/200 V are also used in some countries on 50 Hz or 60 Hz systems.

In Table 1, the three-phase four-wire systems and single-phase three-wire systems include single-phase circuits (extensions, services, etc.) connected to these systems.

The lower values in the first and second columns are voltages to neutral and the higher values are voltages between phases. When one value only is indicated, it refers to three-wire systems and specifies the voltage between phases. The lower value in the third column is the voltage to neutral and the higher value is the voltage between lines.

Voltages in excess of 230/400 V are intended for heavy industrial applications and large commercial premises.

Concerning supply voltage range, under normal operating conditions, the supply voltage should not differ from the nominal voltage of the system by more than ±10 %.

For the utilization voltage range, in addition to the voltage variations at the supply terminals, voltage drops may occur within the consumer's installations. For more information, see IEC 60364-5-52. This utilization voltage range should be taken into account by product committees.

NOTE The highest and lowest voltage values at supply terminals and at utilization terminals, as they can be derived from the above and from IEC 60364-5-52:2001, are provided for information in Annex A.

#### 4.2 DC and a.c. traction systems

The voltages of a d.c. or a.c. traction system should be selected from the values given in Table 2.

**Table 2 – DC and a.c. traction systems <sup>a</sup>**

	Voltage			Nominal frequency of a.c. systems Hz
	Lowest V	Nominal V	Highest V	
DC systems	(400) 500 1 000 2 000	(600) 750 1 500 3 000	(720) 900 1 800 3 600 <sup>b</sup>	
AC single-phase systems	(4 750) 12 000 19 000	(6 250) 15 000 25 000	(6 900) 17 250 27 500	50 or 60 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> 50 or 60
<p>a The values indicated in parentheses should be considered as non-preferred values. It is recommended that these values should not be used for new systems to be constructed in future. In particular for a.c. single-phase systems, the nominal voltage 6 250 V should be used only when local conditions make it impossible to adopt the nominal voltage 25 000 V.</p> <p>The values indicated in the table above are the values agreed by the international mixed committee on electric traction equipment (C.M.T.) and by IEC technical committee 9, Electrical equipment and systems for railways.</p> <p>b In certain European countries, this voltage may reach 4 000 V. The electrical equipment of vehicles operating international services in these countries shall be capable of withstanding this absolute maximal voltage for brief periods of up to 5 min.</p>				

#### 4.3 AC three-phase systems having a nominal voltage above 1 kV and not exceeding 35 kV and related equipment

The voltages for an a.c. three-phase system having a nominal voltage above 1 kV and not exceeding 35 kV should be selected from the values given in Table 3.

**Table 3 – AC three-phase systems having a nominal voltage above 1 kV and not exceeding 35 kV and related equipment <sup>a</sup>**

Series I			Series II	
Highest voltage for equipment kV	Nominal system voltage kV		Highest voltage for equipment kV	Nominal system voltage kV
3,6 <sup>b</sup>	3,3 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	4,40 <sup>b</sup>	4,16 <sup>b</sup>
7,2 <sup>b</sup>	6,6 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	–	–
12	11	10	–	–
–	–	–	13,2 <sup>c</sup>	12,47 <sup>c</sup>
–	–	–	13,97 <sup>c</sup>	13,2 <sup>c</sup>
–	–	–	14,52 <sup>b</sup>	13,8 <sup>b</sup>
(17,5)	–	(15)	–	–
24	22	20	–	–
–	–	–	26,4 <sup>c,e</sup>	24,94 <sup>c,e</sup>
36 <sup>d</sup>	33 <sup>d</sup>	30 <sup>d</sup>	–	–
–	–	–	36,5 <sup>c</sup>	34,5 <sup>c</sup>
40,5 <sup>d</sup>	–	35 <sup>d</sup>	–	–

NOTE 1 It is recommended that in any one country, the ratio between two adjacent nominal voltages should be not less than two.

NOTE 2 In a normal system of series I, the highest voltage and the lowest voltage do not differ by more than approximately ±10 % from the nominal voltage of the system. In a normal system of series II, the highest voltage does not differ by more than +5 % and the lowest voltage by more than –10 % from the nominal voltage of the system.

<sup>a</sup> These systems are generally three-wire systems, unless otherwise indicated. The values indicated are voltages between phases.  
The values indicated in parentheses should be considered as non-preferred values. It is recommended that these values should not be used for new systems to be constructed in future.

<sup>b</sup> These values should not be used for new public distribution systems.

<sup>c</sup> These systems are generally four-wire systems and the values indicated are voltages between phases. The voltage to neutral is equal to the indicated value divided by 1,73.

<sup>d</sup> The unification of these values is under consideration.

<sup>e</sup> The values of 22,9 kV for nominal voltage and 24,2 kV or 25,8 kV for highest voltage for equipment are also used in some countries.

Two series of highest voltages for equipment are given above, one for 50 Hz and 60 Hz systems (series I), the other for 60 Hz systems (series II – North American practice). It is recommended that only one of the series should be used in any one country.

It is also recommended that only one of the two series of nominal voltages given for series I should be used in any one country.

**4.4 AC three-phase systems having a nominal voltage above 35 kV and not exceeding 230 kV and related equipment**

The voltages for an a.c. three-phase system having a nominal voltage above 35 kV and not exceeding 230 kV should be selected from the values given in Table 4.



## BIODATA PENULIS



**Rocky Deardo** merupakan nama yang diberikan oleh Bapak Gersom Limbong dan Ibu Seminartauli Girsang. Dilahirkan di Jakarta pada tanggal 15 Mei 1996. Penulis merupakan anak tunggal dari Bapak Gersom dan Ibu Seminartauli dengan menempuh pendidikan formal tingkat dasar mulai dari taman kanak-kanak di TK Kasih Nanda IV kemudian melanjutkan pendidikan jenjang sekolah dasar di SDS Budhaya II Santo Agustinus Jak-Tim lulus tahun 2008, kemudian melanjutkan di SMPN 236 Jak-Tim lulus tahun 2011, kemudian melanjutkan di SMAN 103 Jak-Tim lulus tahun 2014, kemudian penulis melanjutkan ke jenjang diploma di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) dengan jurusan D3 Teknik Elektro untuk program studi Elektronika Industri lulus tahun 2017. Selama masa perkuliahan di D3 penulis aktif dalam kegiatan akademis maupun non-akademis. Untuk kegiatan non-akademis penulis aktif diluar kampus sebagai anggota Forum Komunikasi Himpunan Mahasiswa Elektro Indonesia (FKHMEI) Wilayah VI, pengurus IMABA, serta cabang Olahraga seperti Futsal dan bola basket, dan berhasil memenangkan beberapa kejuaraan bola basket Juara 2 dan 1 Olimpiade Politeknik cabang bola basket. Pada tahun ajaran 2017/2018 semester genap penulis diterima sebagai mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS melalui program Lintas Jalur. Sebelum melanjutkan kuliah di Departemen Sistem Perkapalan FTK ITS, penulis pernah mengikuti pelatihan di Balai Besar Pengembangan Latihan Kerja (BBPLK) Kemnaker, Bekasi. Penulis mengambil Laboratorium Marine Electrical and Aautomation System (MEAS).