

**TUGAS AKHIR - ME184834**

**ANALISIS PERENCANAAN *FRESHWATER*  
*GENERATOR* DENGAN MEMANFAATKAN *ELECTRIC*  
*POWER PHOTOVOLTAIC ARRAY* PADA RANCANGAN  
KAPAL *YACHT* 58 METER**

**RAMA ANDREAS WIJAYA**

**NRP 04211840000040**

Dosen Pembimbing

**Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**

**NIP 196003191987011001**

**Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., CENG.**

**NIP 196809281991021001**

**Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan**

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**TUGAS AKHIR - ME184834**

**ANALISIS PERENCANAAN *FRESHWATER*  
GENERATOR DENGAN MEMANFAATKAN *ELECTRIC*  
*POWER PHOTOVOLTAIC ARRAY* PADA RANCANGAN  
KAPAL *YACHT* 58 METER**

**RAMA ANDREAS WIJAYA**

**NRP 04211840000040**

Dosen Pembimbing

**Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**

**NIP 196003191987011001**

**Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., CENG.**

**NIP 196809281991021001**

**Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan**

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**FINAL PROJECT - ME184834**

**ANALYSIS OF FRESHWATER GENERATOR PLANS  
UTILIZING ELECTRIC POWER FROM PHOTOVOLTAIC  
ARRAYS ON 58 METERS OF YACHT DESIGN**

**RAMA ANDREAS WIJAYA**

**NRP 04211840000040**

Advisor

**Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**

**NIP 196003191987011001**

**Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., CENG.**

**NIP 196809281991021001**

**Study Program Bachelor of Marine Engineering**

Department of Marine Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PERENCANAAN *FRESHWATER GENERATOR* DENGAN MEMANFAATKAN *ELECTRIC POWER PHOTOVOLTAIC ARRAY* PADA RANCANGAN KAPAL *YACHT 58 METER*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **RAMA ANDREAS WIJAYA**

NRP. 04211840000040

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

Pembimbing

2. Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., CENG.

Ko-pembimbing

3. Dr. Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T.

Penguji

4. Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng.

Penguji

5. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc.

Penguji

**SURABAYA**

**07 Juli, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

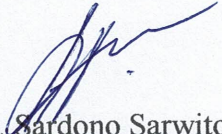
Nama mahasiswa / NRP : Rama Andreas Wijaya  
Program studi : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. / 196003191987011001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perencanaan *Freshwater Generator* Dengan Memanfaatkan *Electric Power Photovoltaic Array* Pada Rancangan Kapal *Yacht 58 Meter*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

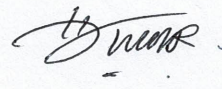
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 07 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

  
Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
NIP. 196003191987011001

Mahasiswa

  
Rama Andreas Wijaya  
NRP. 0421184000040

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

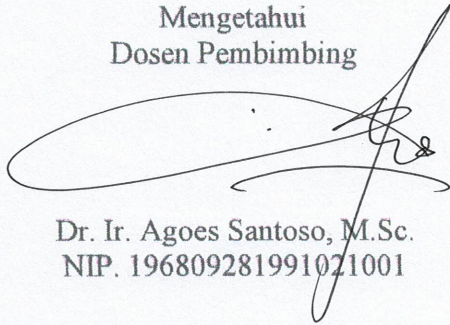
Nama mahasiswa / NRP : Rama Andreas Wijaya  
Program studi : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc. / 196809281991021001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perencanaan *Freshwater Generator* Dengan Memanfaatkan *Electric Power Photovoltaic Array* Pada Rancangan Kapal *Yacht 58 Meter*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

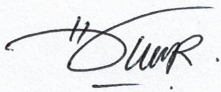
Surabaya, 07 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc.  
NIP. 196809281991021001

Mahasiswa



Rama Andreas Wijaya  
NRP. 0421184000040

## PENGHARGAAN

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perencanaan *Freshwater Generator* dengan Memanfaatkan *Electric Power Photovoltaic Array* pada Rancangan Kapal *Yacht 58 Meter*”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan kelulusan program sarjana strata 1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan bantuan, semangat, dan doa dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Orang tua saya Ibu Herliana dan empat kakak saya yang selalu memberikan dukungan moral maupun material sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Dr. Ir. Sardono Sarwito, S.T., M.Sc. dan Bapak Dr. Ir. Agoes Santoso, S.T., M.Sc., M.Phil., CENG. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi ilmu, motivasi dan bimbingan yang luar biasa kepada penulis.
3. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE selaku dosen layaknya orang tua saya sendiri yang telah mengajarkan banyak ilmu serta membantu penulis dalam menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
5. Bapak Prof. Ir. Agung Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D selaku dosen wali yang selalu memberikan dukungan dan motivasi selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
7. Kakak alumni Voyage'16 di EPC Office (Mas Jamal, Mas Maung, Mas Teguh, Mas Fyan, Mba Nina, Mba Triska) yang telah memberi dukungan moral serta banyak ilmu dan pengalaman.
8. Sahabat-sahabat saya pada BAPERING, Siskal Agung Sejagad, TELEGRAM serta khususnya Jeryco dan Baghaskara yang selalu memberikan dukungan dan menghibur penulis.
9. Teman-teman Cakrawala'18 yang selalu memberi dukungan dan saling memberi doa satu sama lain.
10. Seluruh Pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum mencapai akata sempurna. Oleh sebab itu saran dan kritik yang membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bangsa Indonesia.

Surabaya, 16 Juli 2022

Penulis

## ABSTRAK

### ANALISIS PERENCANAAN *FRESHWATER GENERATOR* DENGAN MEMANFAATKAN *ELECTRIC POWER PHOTOVOLTAIC ARRAY* PADA RANCANGAN KAPAL YACHT 58 METER

**Nama Mahasiswa / NRP** : Rama Andreas Wijaya / 0421184000040  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., CENG.

#### Abstrak

Kapal *yacht* sebagai kapal penumpang memiliki peran penting untuk industri pariwisata di daerah Kepulauan Riau, Batam. Pemenuhan kebutuhan air tawar pada kapal penumpang sangatlah penting guna aktivitas penumpang seperti mandi, cuci, ataupun dikonsumsi. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan sistem desalinasi dengan memanfaatkan daya listrik dari sistem *photovoltaic array* pada spesifikasi *photovoltaic module* 660Wp sebanyak 40 unit, sehingga mampu menghasilkan energi minimal dari sistem sebesar 26.4 kW. Dengan perancangan *freshwater generator* yang menggunakan *immersion coil water heater* sebagai sumber pemanas pada proses evaporasinya, kemudian pada bagian kondensor merupakan *heat exchanger* berjenis *shell and tube* untuk kapasitas produksi 800 kg/hari. Dari 4 ton tangki air tawar pada kapal *yacht* 58 meter, sistem desalinasi yang dirancang mampu memenuhi sekitar 20% dari total kapasitas tangki. Sehingga mampu untuk memenuhi kebutuhan air minum pada kapal saat melakukan pelayaran. Melalui sebuah simulasi menggunakan *software* simulasi proses untuk dapat mengetahui laju produksi air tawar serta laju aliran yang dibutuhkan untuk penentuan spesifikasi pompa pada sistem *freshwater generator* yang sudah direncanakan. Selain itu, komponen utama yang diperlukan pada perancangan *freshwater generator* yaitu evaporator dengan diameter 0.85 m dan tinggi 1.38 m pada kondisi vakum 20 kPa sehingga titik didih evaporasi sebesar 60°C, kondensor dengan panjang *tube* 0.75 m dan diameter *shell* 0.118 m, dua buah *immersion water heater* 600W 48VDC, serta 10 buah baterai 48VDC, 100A untuk dapat menyimpan 48 kW daya dari *photovoltaic array*.

**Kata kunci:** *Desalinasi, Kapal Penumpang, Evaporator, Kondensor, Photovoltaic Array.*



## ABSTRACT

### ANALYSIS OF FRESHWATER GENERATOR PLANS UTILIZING ELECTRIC POWER FROM PHOTOVOLTAIC ARRAYS ON 58 METERS OF YACHT DESIGN

**Student Name / NRP** : Rama Andreas Wijaya / 0421184000040  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS  
**Advisor** : Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., CENG.

#### Abstract

Yachts as passenger ships have an important role for the tourism industry in the Riau Archipelago, Batam. Fulfilling the need for fresh water on passenger ships is very important for passenger activities such as bathing, washing, or consuming. In this study, a desalination system was planned by utilizing electrical power from the photovoltaic array system on the photovoltaic module specifications of 660Wp as many as 40 units, so as to produce a minimum energy of 26.4 kW from the system. By designing a freshwater generator that uses an immersion coil water heater as a heating source for the evaporation process, then the condenser is a shell and tube heat exchanger with a production capacity of 800 kg/day. From the 4 tonnage fresh water tank on the 58 meters yacht, the designed desalination system is able to meet about 20% of the total tank capacity. So that it is able to meet the needs of drinking water on ships when sailing. Through a simulation using Simulation Process Software, we can find out the production rate of fresh water and the flow rate needed to determine the pump specifications for the planned freshwater generator system. In addition, the main components needed in the design of a freshwater generator are an evaporator with a diameter of 0.85 m and a height of 1.38 m at a vacuum of 20 kPa so that the evaporation boiling point is 60°C, a condenser with a tube length of 0.75 m and a shell diameter of 0.118 m, two immersion waters. heater 600W 48VDC, as well as 10 pieces of battery 48VDC, 100A to be able to store 48 kW of power from the photovoltaic array.

**Keywords:** *Desalination, Passenger Ships, Evaporator, Condenser, Photovoltaic Array*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	v
PENGHARGAAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR SINGKATAN .....	viii
DAFTAR SIMBOL .....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Pernyataan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	4
2.1 Pendahuluan .....	4
2.2 Studi Terkait .....	4
2.3 Desalinasi Air Laut .....	5
2.4 Kalor dan Sumber Energi Panas .....	6
2.4.1 <i>Tubular Element Heater</i> .....	9
2.5 <i>Heat Exchangers</i> .....	10
2.6 <i>Evaporator</i> .....	13
2.7 <i>Condenser</i> .....	14
2.7.1 <i>Central Flow Surface Condenser</i> .....	15
2.7.2 <i>Evaporative Surface Condenser</i> .....	15
2.8 <i>Fouling Factor</i> .....	15
2.9 <i>Pressure Drop</i> .....	16
2.9.1 <i>Tube Side Pressure Drop</i> .....	16
2.9.2 <i>Shell Side Pressure Drop</i> .....	16
2.10 <i>Photovoltaic Module (Solar Cell)</i> .....	17
2.11 Perhitungan Teknis <i>Photovoltaic</i> .....	19
2.11.1 Perhitungan Daya Listrik .....	20
2.11.2 <i>Fill Factor Photovoltaic</i> .....	21
2.11.3 Perhitungan <i>Watt Peak</i> .....	22
2.11.4 Perhitungan Luasan <i>Photovoltaic Array</i> .....	22
2.11.5 Perhitungan Jumlah Unit <i>Photovoltaic Module</i> .....	23
2.12 <i>Software Analisis Aspen Hysys</i> .....	23
2.13 Komponen – Komponen Pada Sistem .....	23
2.13.1 <i>Photovoltaic Module</i> .....	23

2.13.2	<i>Solar Charge Controller</i> .....	25
2.13.3	Baterai Penyimpanan .....	25
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN .....	26
3.1	Pendahuluan .....	26
3.2	Diagram Alir Penelitian .....	26
3.3	Identifikasi Masalah .....	27
3.4	Studi Literatur .....	27
3.5	Pengumpulan Data .....	27
3.6	Studi Empiris .....	27
3.7	Perhitungan dan Perancangan Sistem <i>Freshwater Generator</i> .....	28
3.8	Perhitungan dan Perencanaan <i>Photovoltaic Array</i> .....	28
3.9	Analisis Sistem <i>Freshwater Generator</i> dan <i>Photovoltaic Array</i> .....	28
3.10	Simulasi <i>Software Aspen Hysys</i> .....	28
3.11	Pembuatan P&ID Sistem Pada <i>General Arrangement Kapal</i> .....	28
3.12	Kesimpulan dan Saran .....	28
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1	Pendahuluan .....	29
4.2	Spesifikasi Data Kapal Yacht 58 Meter .....	29
4.3	Kebutuhan Air Tawar di Kapal .....	30
4.4	Perancangan <i>Freshwater Generator</i> .....	30
4.5	Perancangan Bagian Evaporator .....	31
4.5.1	Temperatur.....	31
4.5.2	Perhitungan Daya Evaporator.....	33
4.5.3	Perhitungan Tekanan dan Penentuan Evaporator .....	34
4.6	Perancangan Bagian Kondensor .....	36
4.6.1	Temperatur Kondensor .....	36
4.6.2	Kalor Uap Air Laut (Pendingin Uap) .....	36
4.6.3	Jumlah Air Pendingin .....	37
4.6.4	Tube Side Pada Kondensor.....	37
4.6.4.1	Perencanaan Awal Desain Tube .....	37
4.6.4.2	LMTD.....	37
4.6.4.3	<i>Temperature Correction Factor</i> .....	38
4.6.4.4	<i>Mean Temperature Difference</i> .....	39
4.6.4.5	<i>Provisional Area</i> .....	39
4.6.4.6	Penentuan Jumlah Tube.....	40
4.6.4.7	<i>Tube Pitch</i> .....	40
4.6.4.8	<i>Tube Bundle</i> .....	41
4.6.4.9	<i>Number of tubes per pass</i> .....	41
4.6.4.10	<i>Mass velocity tube side</i> .....	41
4.6.4.11	<i>Velocity tube side</i> .....	42
4.6.4.12	Reynold Number.....	42
4.6.4.13	Prandtl Number.....	42
4.6.4.14	Nusselt Number .....	43
4.6.4.15	Koefisien Perpindahan Panas Pada <i>Tube</i> .....	43
4.6.5	<i>Shell Side</i> Pada Kondensor .....	43
4.6.5.1	Diameter <i>Shell</i> .....	43
4.6.5.2	<i>Baffle Spacing</i> .....	44

4.6.5.3	<i>Cross Flow Area</i> .....	44
4.6.5.4	<i>Mass Velocity Pada Shell</i> .....	45
4.6.5.5	<i>Equivalent Diameter Pada Shell</i> .....	45
4.6.5.6	Reynold Number .....	45
4.6.5.7	Prandtl Number .....	46
4.6.5.8	Nusselt Number.....	46
4.6.5.9	Koefisien Perpindahan Panas Pada Shell .....	47
4.6.6	<i>Fouling Factor</i> .....	47
4.6.7	<i>Clean Overall Heat Transfer Coefficient (Uc)</i> .....	48
4.6.8	<i>Design Overall Heat Transfer Coefficient (U)</i> .....	48
4.6.9	<i>Pressure Drop (Tube)</i> .....	49
4.6.10	<i>Pressure Drop (Shell)</i> .....	49
4.7	Perencanaan <i>Photovoltaic Array</i> .....	50
4.7.1	<i>Global Solar Irradiation</i> .....	51
4.7.2	Perencanaan Daya dari PV .....	52
4.7.2.1	Daya Maksimum <i>Photovoltaic Module</i> .....	53
4.7.2.2	Daya Puncak.....	54
4.7.2.3	Perhitungan Luas <i>PV Array</i> .....	55
4.7.2.4	Perencanaan Jumlah Unit <i>Photovoltaic Module</i> .....	55
4.7.2.5	Daya <i>Charging Battery</i> .....	55
4.7.3	Perencanaan Baterai .....	58
4.7.4	Perencanaan <i>Solar Charge Controller</i> .....	59
4.8	Simulasi <i>Software Aspen Hysys</i> .....	60
4.8.1	Pengaruh Jumlah Produksi Air Tawar Terhadap Beban Energi Listrik.....	62
4.8.2	Hasil Produksi Air Tawar Dengan Daya Listrik .....	64
4.9	Prinsip Kerja Sistem <i>Freshwater Generator</i> yang Direncanakan .....	66
4.10	Komponen Lainnya Terkait <i>Freshwater Generator</i> .....	67
4.10.1	Penentuan Pompa.....	67
4.10.1.1	Perhitungan <i>Ejector Pump</i> .....	67
4.10.1.2	Perhitungan <i>Distillate Pump</i> .....	68
4.10.2	Sistem Perpipaan .....	69
4.10.2.1	Perhitungan Pipa Air Laut ( <i>Sea Chest to Evaporator</i> ).....	69
4.10.2.2	Perhitungan Pipa Air Tawar ( <i>Kondensor to Freshwater Tank</i> ) .....	70
4.11	P&ID Sistem <i>Freshwater Generator</i> Pada Kapal Yacht 58 Meter.....	72
4.12	Komponen Kelistrikan.....	73
4.12.1.1	Kabel dari PV Array menuju SCC .....	73
4.12.1.2	Kabel dari SCC menuju Baterai .....	74
4.12.1.3	Kabel dari SCC menuju Beban .....	74
BAB 5	KESIMPULAN.....	76
5.1	Kesimpulan .....	76
5.2	Saran .....	77
DAFTAR	PUSTAKA .....	79
LAMPIRAN	.....	81
BIODATA	PENULIS .....	93

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan studi penelitian terkait .....	4
Tabel 2.2 Kalor Jenis Zat (Setiawan, 2017) .....	7
Tabel 2.3 <i>Efficiency ranges for commercial PV modules</i> (Hankins, 2010).....	18
Tabel 4.1 Spesifikasi perencanaan evaporator .....	31
Tabel 4.2 Temperatur Kerja pada Evaporator dibawah 1 atm.....	31
Tabel 4.3 Spesifikasi pompa vakum evaporator.....	32
Tabel 4.4 Daya Kebutuhan Listrik Evaporator 700 kg.....	34
Tabel 4.5 Daya Kebutuhan Listrik Evaporator 800 kg.....	34
Tabel 4.6 Daya Kebutuhan Listrik Evaporator 900 kg.....	34
Tabel 4.7 Tekanan Evaporator pada Temperatur Tertentu.....	35
Tabel 4.8 Pengaturan temperatur pada kondensor .....	36
Tabel 4.9 Perencanaan Awal Ukuran Desain Tube.....	37
Tabel 4.10 Data untuk Input Perhitungan Perencanaan PV .....	52
Tabel 4.11 Tabel Rerata Bulanan Radiasi Matahari Batam (Global Solar Atlas, 2022) .....	52
Tabel 4.12 Data Spesifikasi Modul PV yang dipilih.....	53
Tabel 4.13 Daya Puncak PV Array .....	54
Tabel 4.14 Data <i>Direct Normal Irradiance</i> / Jam Penyinaran tertentu (Jan – Jun).....	56
Tabel 4.15 Data <i>Direct Normal Irradiance</i> / Jam Penyinaran tertentu (Jul – Dec).....	56
Tabel 4.16 Daya untuk Charging Baterai pada Jam tertentu (Jan – Jun) .....	56
Tabel 4.17 Daya untuk Charging Baterai pada Jam tertentu (Jul – Dec) .....	56
Tabel 4.18 Data Spesifikasi Baterai untuk Sistem PV Array .....	58
Tabel 4.19 Data Spesifikasi <i>Charge Controller</i> .....	59
Tabel 4.20 Data Persiapan Simulasi Evaporator .....	60
Tabel 4.21 Data Persiapan Simulasi Kondensor .....	61
Tabel 4.22 Spesifikasi <i>Ejector Pump</i> .....	67
Tabel 4.23 Spesifikasi <i>Distillate Pump</i> .....	68
Tabel 4.24 Spesifikasi Pipa Air Laut.....	70
Tabel 4.25 Spesifikasi Pipa Air Distilasi.....	71
Tabel 4.26 Kabel untuk <i>Photovoltaic Array</i> .....	73
Tabel 4.27 Kabel untuk Rangkaian Baterai & SCC .....	74
Tabel 4.28 Kabel untuk Beban <i>Water Heater</i> .....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi teknologi desalinasi air (Abdulloh, 2015) .....	6
Gambar 2.2 Grafik Perubahan Wujud .....	6
Gambar 2.3 Elemen Pemanas <i>Tubular</i> .....	9
Gambar 2.4 <i>Tubular Immersion heater</i> .....	9
Gambar 2.5 Klasifikasi <i>Heat Exchangers</i> (Shah & Sekulic, 2003) .....	10
Gambar 2.6 <i>Shell and tube Heat Exchanger</i> (Shah & Sekulic, 2003) .....	11
Gambar 2.7 <i>Parallel flow</i> dan <i>counterflow</i> (Shah & Sekulic, 2003) .....	11
Gambar 2.8 <i>Parallel flow</i> (Shah & Sekulic, 2003) .....	12
Gambar 2.9 <i>Counter flow</i> (Shah & Sekulic, 2003) .....	12
Gambar 2.10 <i>Multi pass</i> dan <i>crossflow</i> (Shah & Sekulic, 2003) .....	13
Gambar 2.11 <i>Submerged Evaporator</i> (El-Dessouky & Ettouney, 2002) .....	13
Gambar 2.12 Skema diagram <i>single effect evaporator</i> (Singh & Heldman, 2001) .....	14
Gambar 2.13 Klasifikasi <i>condensers</i> (Shah & Sekulic, 2003) .....	14
Gambar 2.14 <i>Surface Condenser</i> (Rafiee, Siadatan, Afjei, & Abadi, 2012) .....	15
Gambar 2.15 <i>Evaporative Surface Condenser</i> (Asthana, 2020) .....	15
Gambar 2.16 U-tube heat exchanger, flow tube side .....	16
Gambar 2.17 U-tube heat exchanger, flow shell side .....	17
Gambar 2.18 Skema diagram <i>stand-alone PV system</i> (Pearsall, 2016) .....	17
Gambar 2.19 <i>Photovoltaic solar system</i> untuk beban DC (Pearsall, 2016) .....	19
Gambar 2.20 Rangkaian <i>photovoltaic array</i> (Hankins, 2010) .....	20
Gambar 2.21 Beberapa tipe dari <i>silicon solar cells</i> (Hankins, 2010) .....	24
Gambar 2.22 <i>Solar cell</i> , <i>photovoltaic module</i> dan <i>array</i> (Hankins, 2010) .....	24
Gambar 2.23 <i>Charge controller</i> pada sistem PV <i>off-grid</i> (Hankins, 2010) .....	25
Gambar 2.24 Bagian-bagian baterai <i>lead-acid</i> (Hankins, 2010) .....	25
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 4.1 Desain Rancangan Kapal Yacht 58 meter .....	29
Gambar 4.2 <i>Freshwater Generator Tipe Heat Exchanger Shell and Tube</i> .....	30
Gambar 4.3 Temperatur permukaan air laut Batam .....	32
Gambar 4.4 Vacuum Pump SHB-III .....	33
Gambar 4.5 Grafik <i>Temperature Correction Factor</i> .....	38
Gambar 4.6 <i>Overall Heat Transfer Coefficients</i> .....	39
Gambar 4.7 <i>Tube layout</i> pada <i>Shell and tube heat exchanger</i> .....	40
Gambar 4.8 Nilai Konstanta $K_1$ dan $n_1$ .....	41
Gambar 4.9 <i>Shell-bundle Clearance</i> .....	44
Gambar 4.10 <i>Shell-side heat transfer factors</i> .....	47
Gambar 4.11 <i>Typical values of Fouling factor coefficients</i> .....	48
Gambar 4.12 Sun deck dan Navigation deck kapal Yacht .....	51
Gambar 4.13 Data <i>Global Solar Irradiation</i> melalui <i>Global Solar Atlas</i> .....	51
Gambar 4.14 Kurva Pengisian Baterai pada Januari - Juni .....	57
Gambar 4.15 Kurva Pengisian Baterai pada Juli – Desember .....	57
Gambar 4.16 Skema Aliran Fluida pada Evaporator .....	60
Gambar 4.17 Aliran Fluida pada Simulasi Evaporator .....	60
Gambar 4.18 <i>Worksheet</i> Hasil Simulasi Evaporator .....	61
Gambar 4.19 Skema Aliran Fluida pada Kondensor .....	61
Gambar 4.20 Aliran Fluida pada Simulasi Kondensor .....	62
Gambar 4.21 <i>Worksheet</i> Hasil Simulasi Kondensor .....	62
Gambar 4.22 <i>Worksheet</i> Hasil Simulasi Evaporator 700kg/hari .....	62
Gambar 4.23 <i>Worksheet</i> Hasil Simulasi Evaporator 900kg/hari .....	63

Gambar 4.24 <i>Worksheet</i> Hasil Simulasi Kondensor 700kg/hari .....	63
Gambar 4.25 <i>Worksheet</i> Hasil Simulasi Kondensor 900kg/hari .....	63
Gambar 4.26 Perbandingan <i>Mass Flow Rate</i> Evaporasi .....	64
Gambar 4.27 Perbandingan Kebutuhan Daya Listrik Evaporasi.....	64
Gambar 4.28 Perbandingan <i>Mass Flow Rate</i> Kondensor.....	65
Gambar 4.29 Persentase Hasil Distilasi terhadap Kapasitas Tangki.....	65
Gambar 4.30 <i>Freshwater Generator Diagram</i> .....	66
Gambar 4.31 P&ID Sistem <i>Freshwater Generator</i> .....	72
Gambar 4.32 <i>General Arrangement Layout (Side View)</i> .....	73
Gambar 4.33 <i>General Arrangement Layout (Top View)</i> .....	73
Gambar 4.34 <i>Photovoltaic Array Wiring Diagram</i> .....	75

## DAFTAR SINGKATAN

PV	: Photovoltaic
FWG	: Freshwater Generator
STC	: Standard Test Conditions
TCF	: Temperature Correction Factor
SCC	: Solar Charge Controller
AC	: Alternating Current
DC	: Direct Current
PR	: Performance Ratio
PSH	: Peak Sun Hours
DNI	: Direct Normal Irradiance
FF	: Fill Factor
EVP	: Evaporator
CON	: Condenser



## DAFTAR SIMBOL

$m$	- Massa benda
$Q$	- Banyak kalor
$V_s$	- Kecepatan kapal
$c$	- massa jenis air laut
$\Delta T$	- Perubahan suhu
$\rho$	- Massa jenis
$H$	- Laju perpindahan kalor
$h$	- Koefisien konveksi termal
$k$	- Koefisien konduksi termal
$A$	- Luas permukaan
$q$	- Laju aliran volumetrik
$P$	- Daya listrik
$V$	- Tegangan listrik
$I$	- Arus listrik
$V_{oc}$	- Tegangan Open Circuit
$I_{sc}$	- Arus Short Circuit
$V_{mp}$	- Tegangan maksimum power
$I_{mp}$	- Arus maksimum power
$P_E$	- Daya untuk Evaporasi
$\eta_{PV}$	- Efisiensi Photovoltaic
$Q_{batt}$	- Kapasitas Baterai
$n_{PV\ unit}$	- Jumlah Unit Photovoltaic Module
$DNI_{day}$	- Direct Normal Irradiance Harian
$DNI_{hours}$	- Direct Normal Irradiance Pada Jam Tertentu
$E_{Daily}$	- Daya Kebutuhan Harian Untuk FWG
$P_{Peak\ (bef)}$	- Daya Puncak untuk Perencanaan PV array Kondisi Normal
$P_{Peak\ (aft)}$	- Daya Puncak untuk Perencanaan PV array Setelah Losses
$n_{batt}$	- Jumlah Unit Baterai
$n_{scc}$	- Jumlah Unit SCC
$I_{scc}$	- Arus Spesifikasi SCC

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Pentingnya ketersediaan air dalam jumlah besar bagi makhluk hidup sangatlah berdampak pada kesejahteraan manusia (Oki & Kanae, 2006). Ketersediaan air di bumi sendiri diperkirakan sebesar 1.385.984 km<sup>3</sup> dengan komposisi air tawar hanya sebanyak 35.029 km<sup>3</sup> (Shiklomanov, 1997), yang diperkirakan hanya berkisar  $\pm$  2.5% air tawar yang ada di bumi. Pada saat dunia memasuki abad ke-21, pertumbuhan jumlah penduduk mengalami peningkatan yang disertai dengan tingginya tingkat industrialisasi, sehingga kebutuhan akan air turut mengalami peningkatan permintaan. Pada data statistik oleh Badan Pusat Statistik Indonesia tahun 2020, diketahui jumlah produksi air bersih Indonesia mencapai 5262.1 juta m<sup>3</sup>, yang dibagi menjadi lima pendistribusian yaitu pada sosial pemerintahan 1.86%, bidang khusus 3.11%, niaga & industri 8.67%, non-niaga / masyarakat 55.45%, dan lainnya 30.91% (BPS, 2020).

Pada dunia maritim salah satu industri yang memiliki peranan penting pada sektor transportasi laut, yaitu pada industri kapal pesiar (Maragkogianni, 2015). Kapal pesiar merupakan sarana penting yang menunjang bidang pariwisata. Diantara tahun 2011 – 2016 permintaan pariwisata menggunakan kapal pesiar meningkat sebesar 20.5% dengan jumlah penumpang yang meningkat sebesar 25,3% (CLIA, 2018), kemudian terjadi peningkatan kembali diantara tahun 2016 – 2020 sebesar 27% (CLIA, 2020). Dengan tumbuhnya peningkatan penumpang pada kapal pesiar, maka diikuti pula kebutuhan air tawar pada kapal pesiar sebagai penunjang aktivitas penumpang dan *crew* dari kapal pesiar.

Teknologi desalinasi air laut pada kapal menjadi hal yang diperlukan dalam upaya mengurangi biaya pembelian air tawar. Desalinasi air merupakan metode pemisahan garam terlarut dan mineral lainnya dari air laut, air hasil proses desalinasi nantinya digunakan untuk kebutuhan domestik kapal (*drinking water, grey water, blackwater*) (Yuksel et al., 2019). Pada perencanaan sebuah alat untuk proses desalinasi air laut diperlukan juga perencanaan mengenai sumber energi untuk pengoperasian alat.

Sumber tenaga listrik pada semua jenis kapal menjadi hal vital untuk pada aktivitas operasi kapal, termasuk lampu, alat komunikasi dan navigasi, sistem *freshwater* begitu juga faktor keamanan dan kenyamanan dari penumpang serta anak buah kapal (Harrington, 1992). Terdapat banyak studi mengenai energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil dengan sumber energi terbarukan lain, salah satunya yang cukup menjanjikan yaitu energi terbarukan yang berasal dari energi panas matahari atau *photovoltaic* (Hamakawa, 1994). Teknologi *photovoltaic* (PV) merupakan jenis energi terbarukan yang bebas polusi saat operasi, mengurangi masalah pemanasan global, biaya perawatan dan operasional yang rendah, dan menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan teknologi energi terbarukan lainnya (Parida, Bhuvaneshwari Iniyar, Selvarasan Goic, & Ranko, 2011).

Dari banyaknya keunggulan teknologi PV, terdapat beberapa permasalahan umum dalam efisiensi sistem konversi energinya yang dipengaruhi oleh kotoran debu, hujan dan kondisi temperatur pada permukaan panel PV (Da Silva & Fernandes, 2010). Untuk setiap kenaikan

temperatur pada permukaan panel surya sebanyak 1°C akan mengurangi efisiensi sebesar 0.45%, sehingga jumlah energi listrik yang dihasilkan tidak maksimal (Ye, Nobre, Reindl, Luther, & Reise, 2013). Maka dari itu, dibutuhkan sistem pendingin untuk tetap menjaga temperatur operasional dan efisiensi kinerja dari panel surya. Analisis perbandingan kinerja panel surya dengan tiga karakteristik sistem pendingin menggunakan *water coolant*, air tawar dan air laut, disimpulkan efisiensi panel surya dengan pendingin air tawar sebesar 13.90% dan efisiensi dengan air laut sebesar 13.62%. Selain itu kesimpulan lainnya didapat mengenai peluang terjadinya korosi pada panel surya akibat kadar pH air laut yang lebih besar dibandingkan dengan air tawar (Almanda & Bhaskara, 2018). Sehingga diperlukan perancangan proses desalinasi air laut untuk pemenuhan kebutuhan air tawar bagi aktivitas para penumpang kapal serta bagi sistem pendingin *Photovoltaic (PV) array*.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka akan dilakukan penelitian terkait perencanaan alat proses desalinasi air laut atau *Freshwater Generator (FWG)* yang menerapkan pemanfaatan hasil energi listrik dari *photovoltaic array* untuk elemen pemanas pada FWG di kapal yacht 58 meter. Simulasi untuk mengetahui jumlah *freshwater* yang dihasilkan dari sistem desalinasi yaitu dengan *software*.

## 1.2 Pernyataan Masalah

Perumusan masalah yang menjadi fokus pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan *freshwater generator* sebagai suplai air tawar bagi kapal yacht 58 meter ?
2. Bagaimana perencanaan *photovoltaic array* sebagai sumber *electric power* bagi *freshwater generator* di kapal yacht 58 meter ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mendapatkan rancangan *freshwater generator* sebagai suplai air tawar bagi kapal yacht 58 meter.
2. Mengetahui perencanaan *photovoltaic array* sebagai sumber *electric power* bagi *freshwater generator* di kapal yacht 58 meter.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adanya lingkup penelitian agar penelitian lebih terfokus, maka berikut batasan masalah pada penelitian ini:

1. Analisis ekonomi dari perancangan *freshwater generator* dan *photovoltaic array* tidak diperhitungkan.
2. Tidak melakukan perancangan sistem pendingin dari *photovoltaic array*.
3. Tidak menggambar 3D *drawing* dari masing – masing komponen pada rancangan *freshwater generator* maupun sistem pendingin *photovoltaic array*.
4. Simulasi menggunakan *software Aspen Hysys*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dan kontribusi dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui performa *freshwater generator* di kapal dengan memanfaatkan *electric power* dari *photovoltaic array*.
2. Dapat menjadi referensi untuk melakukan perancangan *freshwater generator* yang memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumbernya.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Setelah mengetahui pembahasan mengenai latar belakang dan permasalahan, pada bab ini disajikan *literature review* dari berbagai sumber referensi terkait konsep teori dasar sebagai pendukung penelitian. Serta disajikan model analisis dan metode yang akan digunakan untuk menjawab tujuan penelitian.

#### 2.2 Studi Terkait

Berikut ini pada tabel 2.1 merupakan tiga ringkasan studi mengenai hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan dan dipandang relevan sebagai bahan pendukung dalam penelitian ini.

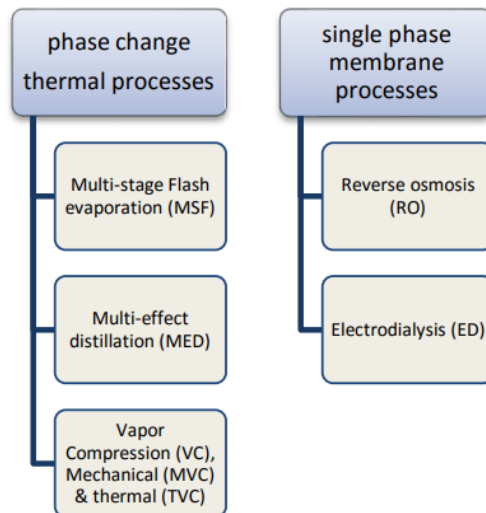
Tabel 2.1 Ringkasan studi penelitian terkait

1	<b>Perancangan Sistem Distilasi Air Laut Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Diesel Pada Kapal Penumpang KM. Nggapulu</b>	
	Author & Year	(Mustiko, 2020)
	Summary	Perancangan sebuah sistem distilasi dengan memanfaatkan energi panas dari gas buang <i>Main Diesel Engine</i> kapal KM. Nggapulu. Proses pembuatan sistem menggunakan beberapa komponen utama sebagai berikut: 1 buah <i>shell and tube evaporator</i> (FUNKE Series WRA 200) dengan diameter 1165 mm dan panjang 4383 mm, 2 buah <i>evaporator feed pump</i> (EVERGUSH EJA50) dengan kapasitas 10.8 m <sup>3</sup> /h dan head 10 m, 1 buah <i>shell and tube condenser</i> (FUNKE Series C 300) dengan diameter 540 mm dan panjang 3960 mm, dan 2 buah <i>condenser feed pump</i> (AMT 4260-98) dengan kapasitas 82.15 m <sup>3</sup> /h dan head 28.65 m. Dengan kemampuan memproduksi air tawar sebanyak 0.935 kg/s. Apabila dibandingkan dengan kebutuhan total air tawar untuk menjalankan satu rute pelayaran dengan durasi pelayaran 265 jam yaitu sebesar 2.714004 kg/s, maka sistem distilasi yang dirancang mampu memenuhi 34.4635% dari kebutuhan total air tawar.
2	<b>Analisis Perencanaan Sistem <i>Desalination Plant</i> Dengan Memanfaatkan <i>Waste Heat Recovery</i> Dari <i>Diesel Generator Set 300 KVA</i> Pada Kapal SAR 80 Meter</b>	
	Author & Year	(Nawawi, 2021)
	Summary	Dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem <i>desalination plant</i> yang memanfaatkan panas gas buang dari diesel generator set 300 KVA pada kapal SAR 800 meter. Perencanaan sistem desalinasi ini menggunakan

		<p>beberapa komponen sebagai berikut: 1 buah evaporator dengan <i>tube</i> 0.75 meter (68 buah) dan diameter dalam <i>shell</i> 0.4 meter, 1 buah kondensor dengan <i>tube</i> 0.75 meter (3 buah) dan diameter dalam <i>shell</i> 0.134 meter, 1 buah <i>ejector pump</i> (Tapflo Pump CTV-25-9.8) dengan kapasitas 5.5 m<sup>3</sup>/h, <i>head</i> 11 m, <i>power</i> 0.75 kW, 1 buah <i>distillate pump</i> (Tapflo Pump CTV-20-9) dena kapasitas 0.1 m<sup>3</sup>/h, <i>head</i> 10 m, dan <i>power</i> 0.55 kW. Kemudian kebutuhan air tawar kapal SAR 800 meter sebesar 1.1 Ton/hari, dan untuk kemampuan produksi air tawar dari dipengaruhi oleh jumlah generator set yang beroperasi. Persentase air tawar yang dihasilkan terhadap total air tawar yang dibawa kapal yaitu 4.6% ketika menggunakan 1 genset, 9.3% ketika menggunakan 2 genset, dan 14% ketika menggunakan 3 genset.</p>
3	<b>Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Solar Cell Pada Sistem Destilasi Untuk Supply Fresh Water Pada Kapal Perintis 2000 GT</b>	
	Author & Year	(Setiawan, 2017)
	Summary	<p>Melakukan analisis dan rancangan panel surya yang dibutuhkan untuk membantu proses pada alat destilasi air laut sebagai <i>supply freshwater</i> di kapal perintis 2000 GT. Sistem alat destilasi yang direncanakan tidak beroperasi secara kontinyu melainkan satu kali proses dengan kapasitas 315.45 kg air tawar yang dihasilkan selama 2 jam evaporasi. Kemudian solar cell yang direncanakan pada top deck seluas 209.08 m<sup>2</sup> sebanyak 70 unit solar cell 300 Wp yang dirangkai secara paralel, sehingga total daya yang dihasilkan selama 7 jam yaitu 28,26 kW. Setelah itu analisa ekonomis untuk investasi <i>solar cell</i> dan evaporator sebesar Rp.401.625.000 dengan <i>lifetime</i> evaporator diestimasikan selama 10 tahun.</p>

### 2.3 Desalinasi Air Laut

Sebuah proses untuk menghilangkan kadar garam dan mineral berlebih yang terkandung didalam air laut sehingga dapat menghasilkan air tawar yang dapat di konsumsi disebut desalinasi. Terdapat dua tipe teknologi desalinasi yang diklasifikasikan sebagai thermal (perubahan fasa) dan desalinasi membran, kemudian terbagi menjadi beberapa sub kategori (Al-Karaghoulis & Kazmerski, 2013). Pada gambar 2.1 dapat diketahui klasifikasi dari teknologi desalinasi air yaitu 3 jenis pada desalinasi menurut perubahan fase akibat proses thermal serta 2 jenis metode desalinasi menurut proses membran fase tunggal yaitu reverse osmosis dan electrodialisis.

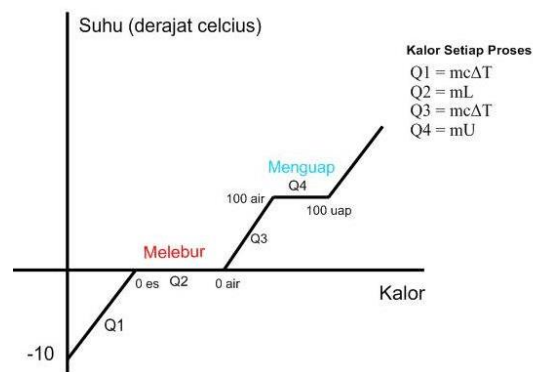


Gambar 2.1 Klasifikasi teknologi desalinasi air (Abdulloh, 2015)

Proses thermal adalah salah satu metode desalinasi tertua yang didasarkan pada penguapan air, air tawar terbentuk ketika uap kondensat terbentuk, sedangkan brine tetap dengan konsentrasi tinggi dan biasanya dibuang kembali ke laut (Nawawi, 2021). Karena metode thermal membutuhkan sumber energi panas, maka digunakan electric heater sebagai sumbernya.

## 2.4 Kalor dan Sumber Energi Panas

Kalor merupakan salah satu energi yang bergerak dari suatu benda pada suhu tinggi ke benda pada suhu lebih rendah sehingga pengukuran kalor selalu berhubungan dengan perpindahan energi. Perpindahan kalor antara benda satu ke benda lainnya dapat berupa hantaran (konduksi), penyinaran (radiasi) dan aliran (konveksi). Pada gambar 2.2 kalor akan mempengaruhi perubahan fasa dari air karena dipengaruhi oleh suhu, karena suhu adalah besaran yang menyatakan tingkatan atau derajat panas atau dingin suatu benda.



Gambar 2.2 Grafik Perubahan Wujud

Menurut SI (Standar Internasional), satuan kalor adalah joule (J) serta untuk beberapa jenis makanan menggunakan satuan kalori. Dapat dihitung bahwa nilai satu kalori adalah jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram air hangat sampai suhu bernilai 1 derajat celcius (°C). Kalor dapat disesuaikan dengan tiga faktor yaitu massa zat, kalor jenis, dan perubahan suhu, dan saling berbanding lurus karena kalor dapat menaikkan atau menurunkan suhu pada benda. Maka kalor dirumuskan pada persamaan berikut, nilai dari 1 kalori = 4,184 J ≈ 4,2 Joule



$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Dimana,

- Q - Banyak kalor yang diterima atau dilepas (J)
- m - Massa benda yang menerima atau melepas kalor (kg)
- c - Kalor jenis zat (J/kg °C)
- $\Delta T$  - Perubahan suhu (°C)

Tabel 2.2 Kalor Jenis Zat (Setiawan, 2017)

Zat	Kalor Jenis (c)	
	Kal/g.°C	J/kg.K
Air	1.00	4200
Air Laut	0.93	3900
Alkohol	0.55	230
Raksa	0.033	140
Es	0.595	2500
Alumunium	0.214	900
Kaca	0.16	670
Besi	0.11	460
Tembaga	0.093	390
Kuningan	0.90	380
Perak	0.056	230
Emas	0.031	130
Timbal	0.031	130

Kalor jenis adalah sifat zat yang menunjukkan banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu zat 1 kg massa sebesar 1°C atau 1 K. Dalam satuan internasional ditetapkan satuan kalor jenis adalah Joule/kg Kelvin, tetapi umumnya di Indonesia digunakan satuan J/kg°C. Untuk kalor jenis dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2.2)$$

Dimana,

- Q - Banyak kalor yang diterima atau dilepas (J)
- m - Massa benda yang menerima atau melepas kalor (kg)
- c - Kalor jenis zat (J/kg°C)
- $\Delta T$  - Perubahan suhu (°C)

Konveksi adalah peristiwa perpindahan panas akibat adanya perbedaan temperatur dari suatu zat ke zat lain disertai dengan gerakan partikel atau zat tersebut secara fisik. Konveksi terbagi menjadi 2 jenis, yaitu konveksi alami dan konveksi paksa. Pada konveksi alami terjadi karena perbedaan temperatur fluida, yang menyebabkan massa jenis antar fluida terdapat perbedaan. Sedangkan konveksi paksa terjadi karena gaya dari luar sistem seperti blower, pompa. Umumnya perpindahan kalor secara konveksi dirumuskan pada persamaan berikut.

$$H = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.3)$$

Dimana,

- H - Laju perpindahan kalor, terhadap waktu (J/s)
- h - Koefisien konveksi termal (J/m<sup>2</sup>s °C) / (kal/ m<sup>2</sup>s °C)
- A - Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
- ΔT - Perbedaan temperatur permukaan (°C)

Konduksi didefinisikan sebagai proses perpindahan kalor melalui zat padat, perpindahan kalor ini tidak diikuti dengan perpindahan partikel perantara. Untuk konduktivitas termal dari tiap zat memiliki kemampuan menghantarkan panas yang berbeda-beda. Suatu bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi disebut sebagai konduktor, sebaliknya jika konduktivitas termalnya rendah disebut sebagai isolator (Mustiko, 2020). Menurut Hukum Fourier dirumuskan persamaan berikut.

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \quad (2.4)$$
$$Q = k \cdot A \cdot t \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

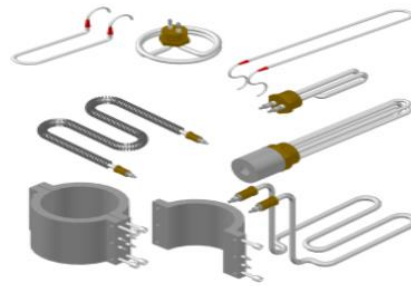
Dimana,

- Q - Kalor (J)
- H - Laju perpindahan kalor, terhadap waktu (J/s) / Watt
- k - Koefisien konduksi termal (J/ms K) / (W/m K)
- A - Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
- ΔT - Perubahan temperatur (°C)
- L - Panjang atau ketebalan (m)
- t - Waktu (s)

Energi dapat berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya, salah satunya yang cukup mudah diubah bentuk menjadi energi lain adalah energi listrik. Elemen pemanas merupakan piranti yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*, dengan menerapkan prinsip kerja pada arus listrik yang mengalir di elemen menjumpai resistansinya hingga menghasilkan panas pada elemen. Terdapat banyak jenis dan bentuk elemen pemanas yang dikategorikan menurut fungsi dan bentuknya, salah satunya yaitu elemen pemanas tubular yang tersusun dari gulungan *coil resistance wire* pada pipa dan ditutup bersama bubuk isolator (*Magnesium Oxide powder*) sehingga arus listrik tidak menembus pipa pembungkusnya, dan dapat meneruskan panas dengan baik. Berikut ini bentuk dari elemen pemanas tubular,

- Water heater
- Immersion heater
- Finned heater
- Cast in heater
- Multy form heater
- Over the sides heater

- Defrost heater
- Radiant heater



Gambar 2.3 Elemen Pemanas *Tubular*

Sumber: (pemanas.web.id)

Pada gambar 2.3 diketahui elemen pemanas coil berjenis tubular memiliki berbagai bentuk yang dapat disesuaikan dengan instalasi, serta kegunaannya. Seperti salah satunya finned heater digunakan sebagai pemanas udara, defrost heater digunakan sebagai pemanas pada lemari pendingin untuk mencairkan es.

#### 2.4.1 *Tubular Element Heater*

Jenis ini digunakan untuk memanaskan media secara radiasi atau pemanasan tidak bersentuhan langsung dengan benda yang dipanaskan, namun salah satu jenis tubular elemen pemanas yaitu *Immersion Heater* pada gambar 2.4 yaitu digunakan sebagai elemen pemanas yang instalasinya dapat dicelupkan pada pemanasan fluida berupa air maupun minyak.



Gambar 2.4 Tubular Immersion heater

Sumber: (pemanas.web.id)

Untuk menentukan kebutuhan daya listrik heater berdasarkan volume media dan jenis benda yang akan dipanaskan mengikuti persamaan (2.1). Dan untuk menentukan kebutuhan daya listrik heater berdasarkan kapasitas udara, dirumuskan pada persamaan berikut.

$$q = \frac{H}{c \cdot \rho \cdot \Delta T} \quad (2.5)$$

Dimana,

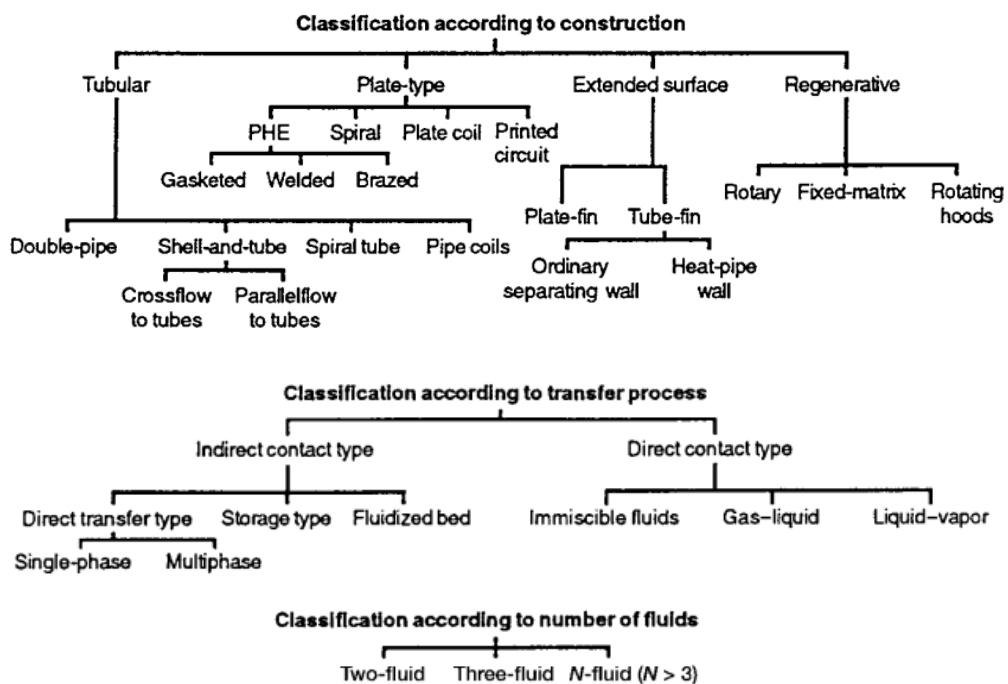
H - Laju perpindahan kalor, terhadap waktu (J/s) / Watt

q - Laju aliran volumetrik (m<sup>3</sup>/s)

- c - Kalor jenis zat (J/kg °C)
- $\Delta T$  - Perubahan temperatur (°C)
- $\rho$  - massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

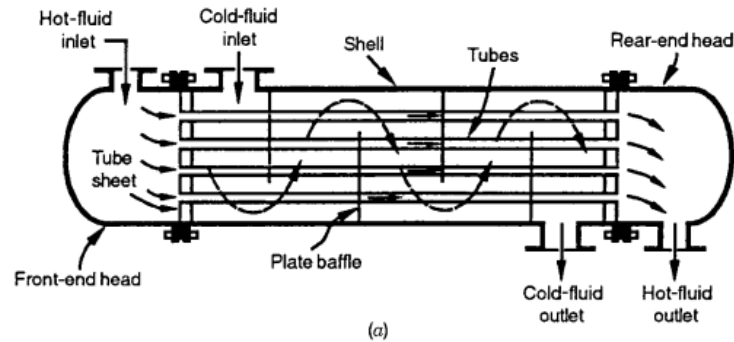
## 2.5 Heat Exchangers

*Heat exchanger* merupakan sebuah alat yang digunakan sebagai penukar energi termal (*enthalpy*) antara dua fluida atau lebih, saat terdapat perbedaan temperatur dan kontak termal pada fluida. Selain itu, *heat exchanger* juga dapat berfungsi sebagai alat untuk menguapkan fluida, pembangkit daya, mengkondensasi uap, memanfaatkan panas buang dan memperoleh aliran fluida pada temperatur yang tepat untuk proses selanjutnya. Klasifikasi *heat exchanger* berdasar jenis konstruksinya sebagai berikut.



Gambar 2.5 Klasifikasi *Heat Exchangers* (Shah & Sekulic, 2003)

Berdasarkan jenis fluida yang digunakan, *heat exchanger* terbagi menjadi dua, yaitu dengan media udara atau fluida cair. Untuk *heat exchanger* dengan media udara disebut sebagai *finfan*. Sedangkan *heat exchanger* yang menggunakan fluida cair berdasarkan konstruksinya terbagi menjadi dua jenis, yaitu jenis *shell and tube* serta jenis *plate*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5, *Shell and tube heat exchanger* terdiri dari sebuah *shell* yaitu tabung atau silinder besar dimana didalamnya terdapat suatu kumpulan pipa (*tube*) dengan diameter yang relatif kecil. Satu jenis fluida mengalir di dalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir diluar pipa tetapi masih didalam *shell*.



Gambar 2.6 *Shell and tube Heat Exchanger* (Shah & Sekulic, 2003)

Pada gambar 2.6 merupakan skema kerja dari *heat exchanger* berjenis *shell and tube* dengan contoh pertukaran kalor pada inlet bagian tube yaitu fluida panas yang mengalir untuk memanaskan fluida dingin pada bagian shell. Hal ini karena yang umumnya menjadi product fluida yang akan diberada pada bagian shell, untuk bisa ditampung dan dialirkan menuju tangki penyimpanan.

Dalam proses kerjanya terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan *heat exchanger* sebagai alat penukar kalor, dituliskan pada persamaan berikut.

$$Q = U \cdot A \cdot (LMTD) \quad (2.6)$$

Koefisien perpindahan panas menyeluruh  $Q$  ( $W/m^2K$ ) yang merupakan nilai koefisien yang berkaitan jenis fluida yang mengalir dan jenis material dari tube tempat fluida mengalir. Luas perpindahan panas  $A$  ( $m^2$ ) yang berbanding lurus dengan jumlah kalor, sehingga jika semakin luas perpindahan panas maka kalor yang diterima maupun dilepaskan akan semakin besar. Berikut ini persamaan untuk menghitung luas perpindahan panas dari *heat exchanger*.

$$A = N_t (\pi D_0) L \quad (2.7)$$

Dimana,

$A$  - Luas perpindahan panas ( $m^2$ )

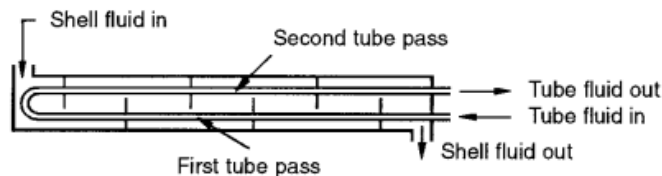
$N_t$  - Jumlah tube *heat exchanger*

$D_0$  - Diameter luar tube (m)

$L$  - Panjang tube (m)

Perbedaan temperatur logaritma (LMTD) ialah selisih temperatur dari fluida *inlet* dan *outlet heat exchanger*, berikut ini persamaan yang digunakan untuk perhitungan nilai LMTD *heat exchanger* (Sudrajat, 2017).

- Parallel flow dan counter flow



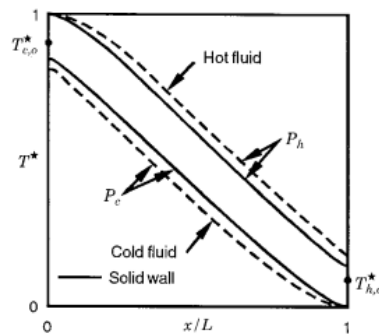
Gambar 2.7 *Parallel flow dan counterflow* (Shah & Sekulic, 2003)

$$LMTD = \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2.8)$$

Gambar 2.7 menunjukkan skema aliran fluida dengan tube mengalir secara *parallelflow* yaitu fluida panas dan fluida dingin akan memiliki arah aliran yang sama menuju *outlet tube* maupun *outlet shell*. Serta *counterflow* yaitu aliran fluida *inlet tube* akan berlawanan dengan arah dengan aliran fluida *inlet shell*.

Kemudian pada gambar 2.8 hanya menunjukkan skema aliran fluida secara *parallelflow* yang menunjukkan arah aliran fluida panas dan fluida dingin pada bagian shell dan tube akan searah menuju outlet, seperti berikut ini.

- Parallel flow

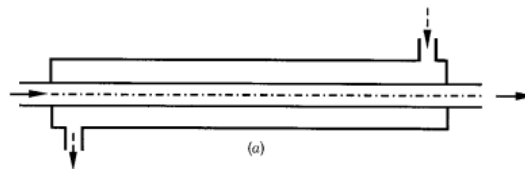


Gambar 2.8 *Parallel flow* (Shah & Sekulic, 2003)

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c1} \quad (2.9)$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c2}$$

- Counter flow



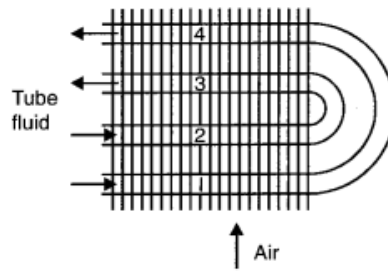
Gambar 2.9 *Counter flow* (Shah & Sekulic, 2003)

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \quad (2.10)$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1}$$

Pada tipe aliran counterflow yang ditunjukkan gambar 2.9 dapat diketahui jika arah aliran dari fluida panas dan fluida dingin akan berlawanan arah pada bagian inlet menuju outlet nya. Selanjutnya pada gambar 2.10 merupakan aliran secara *multi pass* dan *crossflow*, dimana pada fluida dingin bagian *shell* akan dilewati fluida panas bagian *tube* secara *parallel* atau tegak lurus, jika pada gambar dibawah ini menunjukkan bahwa fluida dingin akan melalui 4 tingkatan *tube* yang dialiri fluida panas sehingga perpindahan panas antara dua fluida terjadi lebih efektif.

- Multi pass dan crossflow



Gambar 2.10 *Multi pass dan crossflow* (Shah & Sekulic, 2003)

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{lm,cf} \quad (2.11)$$

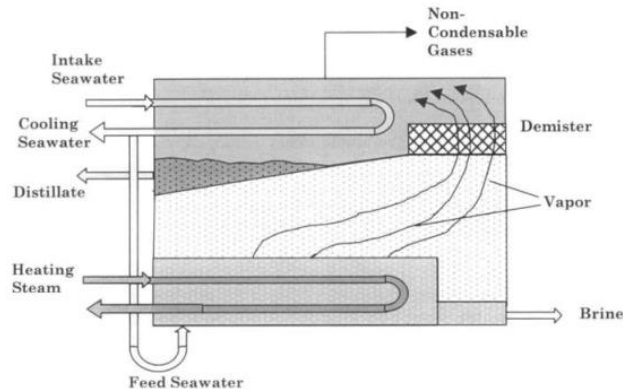
Dimana,

$F$  - Faktor koreksi,  $F < 1$

$\Delta T_{lm,cf}$  - LMTD counterflow

## 2.6 *Evaporator*

*Evaporator* adalah sebuah alat yang berfungsi mengubah sebagian atau keseluruhan sebuah pelarut dari sebuah larutan dari bentuk cair menjadi uap. *Evaporator* mempunyai dua prinsip dasar, yaitu untuk menukar panas dan untuk memisahkan uap yang terbentuk dari cairan. *Evaporator* umumnya terdiri dari tiga bagian, yaitu penukar panas, bagian evaporasi (tempat di mana cairan mendidih lalu menguap), dan pemisah untuk memisahkan uap dari cairan lalu dimasukkan ke dalam kondensor (untuk diembunkan/kondensasi) atau ke peralatan lainnya.

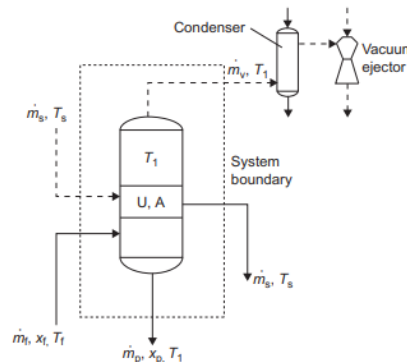


Gambar 2.11 *Submerged Evaporator* (El-Dessouky & Ettouney, 2002)

Pada gambar 2.11 diketahui jika evaporator akan terjadi evaporasi pada air laut setelah dilalui fluida panas melalui bagian tube, kemudian menguap melalui demister untuk mengurangi kadar garam pada air laut dan tahap akhir dilakukan kondensasi dengan air pendingin pada tube kondensor. Prinsip kerjanya ialah dengan penambahan panas untuk memekatkan suatu fluida yang berupa zat terlarut dengan titik didih tinggi dan zat titik didih rendah sehingga menghasilkan larutan yang fluida yang lebih pekat serta konsentrasi tinggi. Beberapa faktor yang pada proses evaporasi, (Setiawan, 2017)

- Pemekatan larutan didasarkan pada perbedaan titik didih antar zat-zatnya.
- Titik didih cairan dipengaruhi oleh tekanan.
- Dijalankan pada suhu yang lebih rendah dari titik didih normal.

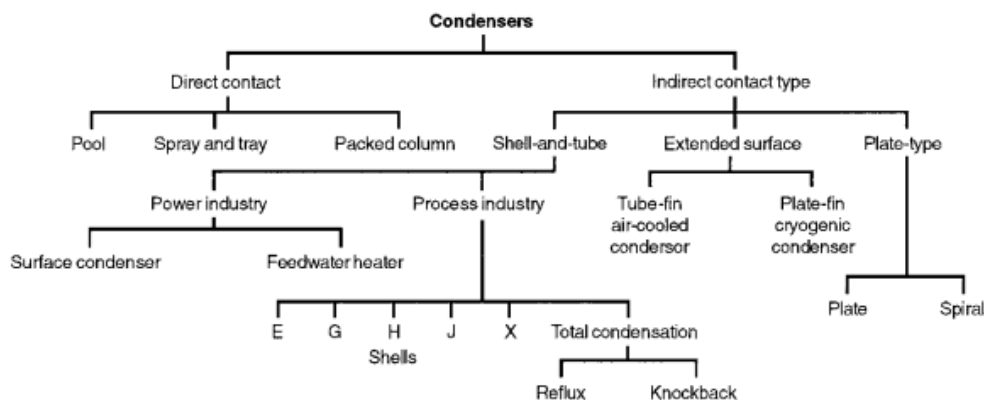
- Titik didih cairan yang mengandung zat yang tidak menguap akan tergantung tekanan dan kadar zat tersebut.
- Beda titik didih larutan dengan titik didih cairan murni disebut kenaikan titik didih



Gambar 2.12 Skema diagram *single effect evaporator* (Singh & Heldman, 2001)

Skema evaporator pada gambar 2.12 dijelaskan diagram *single effect evaporator* dengan bantuan kondisi vakum pada evaporatornya. *Vacuum* evaporator sendiri adalah alat yang memiliki fungsi untuk menguapkan air pada suhu dan tekanan rendah sehingga dapat mengurangi kadar air suatu produk. Pada penelitian desalinasi air laut dengan kondisi vakum dinyatakan bahwa kondisi vakum pada air akan mempercepat proses evaporasi saat temperatur rendah dan dengan penggunaan energi lebih sedikit daripada kondisi normal. Kondisi vakum berasal dari pompa vakum 418 watt pada evaporator agar proses desalinasi dapat bekerja pada kondisi vakum (Al-Kharabsheh & Goswami, 2003).

## 2.7 Condenser



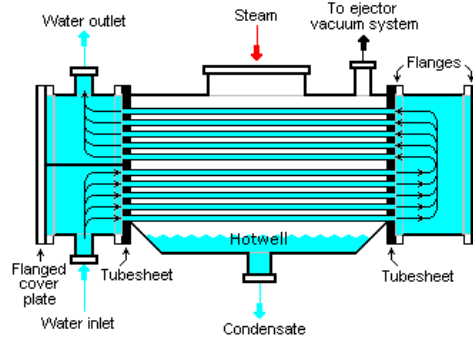
Gambar 2.13 Klasifikasi *condensers* (Shah & Sekulic, 2003)

Untuk klasifikasi kondensor seperti pada gambar 2.13 diatas dapat diketahui jika kondensor terbagi menjadi dua jenis secara umum, *direct contact* yang merupakan perpindahan panas fluida secara langsung antara dua fluida seperti dicampurkan pada wadah yang sama dan *indirect contact* yaitu perpindahan panas yang tidak terjadi kontak langsung atau media permukaan logam sebagai perantara perpindahan panas dua fluida, sehingga nantinya tidak terjadi pencampuran diantara keduanya. Uap yang telah terbentuk pada evaporator akan dilewatkan kondensor dengan fluida air bertemperatur lebih rendah. Prinsip kerja dari kondensor diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu



### 2.7.1 Central Flow Surface Condenser

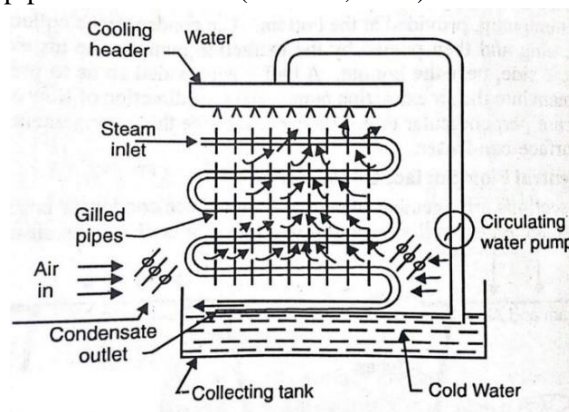
Cara kerja dari jenis alat ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14 ialah proses perubahan dilakukan dengan cara mengalirkan uap kedalam ruangan yang berisi susunan pipa dan uap tersebut akan memenuhi permukaan luar pipa sedangkan air yang berfungsi sebagai pendingin akan mengalir di dalam pipa (*tube side*), maka akan terjadi kontak antara keduanya dimana uap yang memiliki temperatur panas akan bersinggungan dengan air pendingin yang berfungsi untuk menyerap kalor dari uap tersebut, sehingga temperatur steam (uap) akan turun dan terkondensasi (Darmawan, 2018).



Gambar 2.14 *Surface Condenser* (Rafiee, Siadatan, Afjei, & Abadi, 2012)

### 2.7.2 Evaporative Surface Condenser

Kondensor seperti yang ditampilkan pada gambar 2.15 biasanya cocok dipakai pada saat terbatasnya air pendingin. Dalam kondensor ini air disemprot menggunakan nozel di atas pipa yang berisi uap. Air yang disemprotkan ini membentuk lapisan tipis di atas *tube*. Udara juga ditarik di atas permukaan pipa oleh kipas yang diinduksi, yang menyebabkan penguapan lebih cepat dengan air pendingin yang sedikit. Karena itu uap yang mengalir di dalam pipa terkondensasi. (Asthana, 2020)



Gambar 2.15 *Evaporative Surface Condenser* (Asthana, 2020)

## 2.8 Fouling Factor

*Fouling factor* adalah hambatan perpindahan panas karena adanya endapan didalam heat exchanger (Setyoko, 2008). Dalam praktiknya, *fouling factor* seringkali nilainya dlebihkan dalam upaya meminimalkan frekuensi pembersihan. Untuk kenyataannya, penggunaan *fouling factor* yang salah sebenarnya dapat mengakibatkan kebutuhan untuk pembersihan lebih sering (Hale,

2019). Pengotoran yang sebenarnya dalam heat exchanger bergantung pada beberapa karakteristik, yaitu: (Nawawi, 2021)

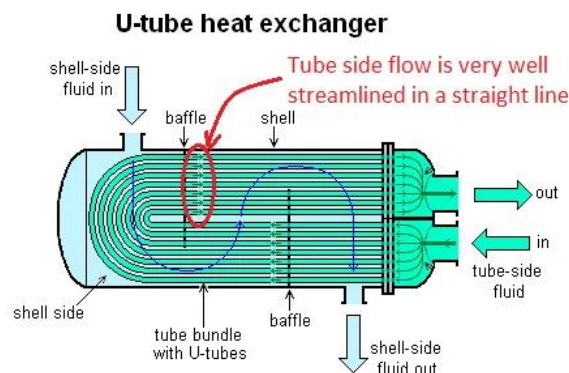
- Sifat fluida dan material yang diendapkan
- Kecepatan fluida
- Temperatur fluida
- Temperatur dinding tabung
- Material dinding tabung
- Permukaan dinding tabung (bersirip atau halus)
- Waktu sejak pembersihan terakhir

## 2.9 Pressure Drop

*Pressure drop* adalah penurunan tekanan maksimal yang diperbolehkan dalam *heat exchanger* apabila suatu fluida melaluinya. Penurunan tekanan ini semakin besar bergantung pada *fouling factor* pada *heat exchanger* karena digunakan terlalu lama.

### 2.9.1 Tube Side Pressure Drop

Pada *heat exchanger shell and tube*, *pressure drop* saat masuk dan keluar aliran *tube* umumnya diabaikan karena kontribusi cenderung kecil dibandingkan dengan *losses* pada nozel, ruang inlet dan outlet (Shah & Sekulic, 2003). Karenanya *pressure drop* pada *tube* seperti pada gambar 2.16 dapat diatur dengan mengubah ukuran tabung atau menambah dan mengurangi jumlah tabung *tube*.



Gambar 2.16 U-tube heat exchanger, flow tube side

Sumber: (enggcyclopedia.com)

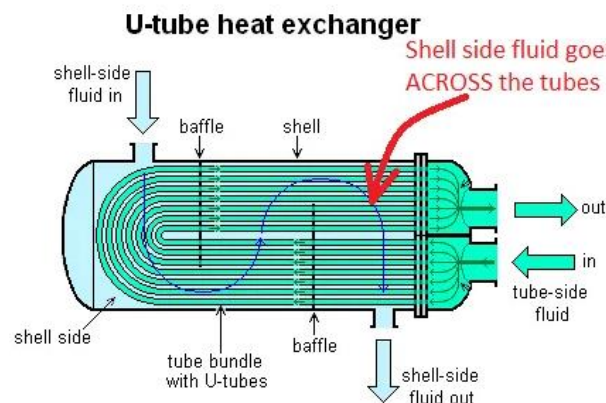
Berikut dirumuskan persamaan untuk menghitung nilai *pressure drop* pada bagian *tube*.

$$\Delta p_t = \left( 4f_t \frac{LN_p}{d_i} + 4N_p \right) \frac{\rho_t \cdot v_t^2}{2} \quad (2.12)$$

### 2.9.2 Shell Side Pressure Drop

Pada *shell and tube heat exchanger* dengan *baffles* yang ditunjukkan pada gambar 2.17 diketahui jika kecepatan fluida akan fluktuatif karena area terbatas antara *tube* yang berdekatan. *Pressure drop* pada *shell* dipengaruhi dengan jumlah persilangan antara *baffles*. Jika tidak terdapat *baffle*, maka laju aliran pada *exchanger* dan *pressure drop* dapat dihitung seperti pada aliran *tube*.

Salah satu parameter yang penting pada *pressure drop* adalah kecepatan fluida atau aliran, hal ini dapat memberi perubahan yang signifikan untuk *pressure drop* daripada perubahan pada faktor lain (Kakaç, 1991).



Gambar 2.17 U-tube heat exchanger, flow shell side

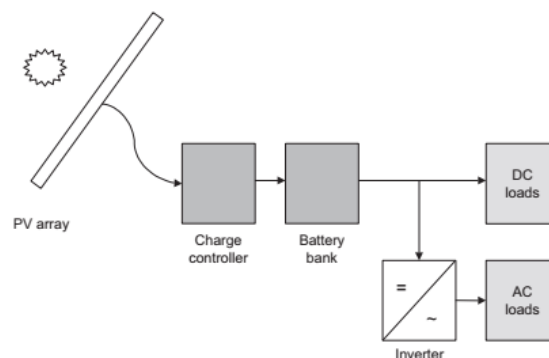
Sumber: (enggcylopedia.com)

Berikut dirumuskan persamaan untuk menghitung nilai *pressure drop* pada bagian *shell*.

$$\Delta p_s = \frac{f_s \cdot G_s^2 (N_p + 1) D_s}{2 \cdot \rho_s \cdot D_e \cdot \varphi_s} \quad (2.13)$$

## 2.10 Photovoltaic Module (Solar Cell)

*Solar Cell* adalah teknologi yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan *photovoltaics*, sistem ini mengkonversi iradiasi langsung matahari menjadi listrik dan dapat digunakan untuk berbagai pengaplikasian. Inti dari sistem ini yaitu pada *PV array*, yang mana pada jumlah kumpulan *PV module* mempengaruhi total kapasitas daya yang akan dihasilkan dari sistem. Pada performa dari sistem yang utamanya berkaitan energi dihasilkan, baik dalam kuantitas maupun waktu, dipengaruhi kondisi operasi dan konfigurasi dari sistem. Kondisi operasi yang dimaksud yaitu tempat pengoperasian sistem, sehingga tempat mempengaruhi iradiasi sinar matahari yang akan diterima, temperatur lingkungan dan aspek cuaca yang menimbulkan pengaruh pada kinerja sistem (Pearsall, 2016).



Gambar 2.18 Skema diagram *stand-alone PV system* (Pearsall, 2016)

Sistem *photovoltaic stand-alone* pada gambar 2.18 merupakan sistem yang dioperasikan secara independen dan hanya menyediakan sumber daya untuk beban spesifik yang telah ditentukan, sebagai contoh sistem pompa air, pendingin, peralatan komunikasi, dan lainnya. Pada umumnya peralatan pendukung pada sistem PV *array* terdiri dari, baterai penyimpanan, sebuah *charge controller*, dan beban spesifik yang akan disuplai oleh daya listrik. Beban yang akan disuplai harus termasuk kedalam perencanaan desain sistem, untuk memastikan jumlah PV *array* dan baterai penyimpanan sehingga cukup untuk memenuhi beban dibawah semua kondisi cuaca yang relevan (Pearsall, 2016).

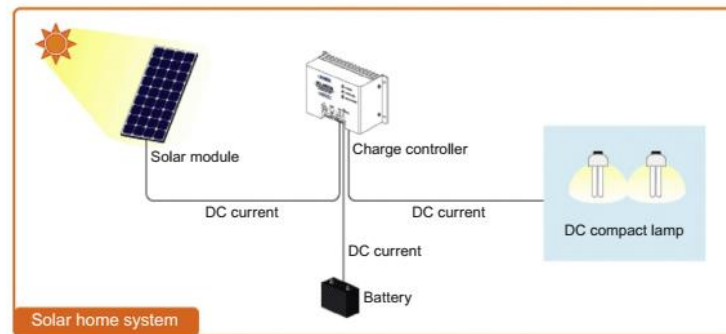
Dalam hal kinerja dari *photovoltaic* biasanya diketahui melalui salah satu dari tiga parameter, yaitu efisiensi sistem, hasil energi dan *performance ratio* (PR). Persentase efisiensi dari konversi energi adalah salah satu parameter yang nyata akibat perbedaan antara jenis PV *module* yang digunakan, untuk rentang efisiensi PV yang diperdagangkan terdapat pada tabel 2.3 berikut, (Pearsall, 2016)

Tabel 2.3 *Efficiency ranges for commercial PV modules* (Hankins, 2010)

Type of PV Technology	Maximum cell efficiency	Typical commercial module efficiency	Notes
<b>Crystalline Silicon</b>			
Monocrystalline	24 %	11 – 17 %	35 % of world production (2007)
Polycrystalline	20 %	11 – 15 %	45 % of world production (2007)
Ribbon	19 %	7 – 13 %	Fully mature Technology
<b>Thin Film</b>			
Amorphous Silicon	13 %	4 – 8 %	Initial degradation in performance
Multi-junction Amorphous Silicon	12 %	6 – 9 %	Silimar to Amorphous Silicon Flexible
Cadmium Telluride	17 %	7 – 8.5 %	
Copper Indium Gallium Di-Selenide (CIGS)	19 %	9 – 11 %	
Organic (Dye)-type solar modules	12 %	3 – 5 %	Relative Uncommon
<b>Other Types</b>			
Hyrid HIT	21 %	17 %	Combined Amorphous Silicon & Crystalline

*Stand-alone* atau *off-grid photovoltaic systems* dapat didefinisikan sebagai sistem yang tidak terhubung dengan suplai listrik publik atau listrik darat, sistem ini dapat dibedakan antara sistem dengan baterai ataupun tidak, tergantung pada pengaplikasiannya. Sistem PV yang tidak menggunakan baterai disebut *directly coupled* sistem PV, biasanya sistem ini simpel dimana

*generator* PV terhubung langsung pada motor atau pompa dengan tegangan dan arus yang sesuai dengan *output* dari panel (Pearsall, 2016).



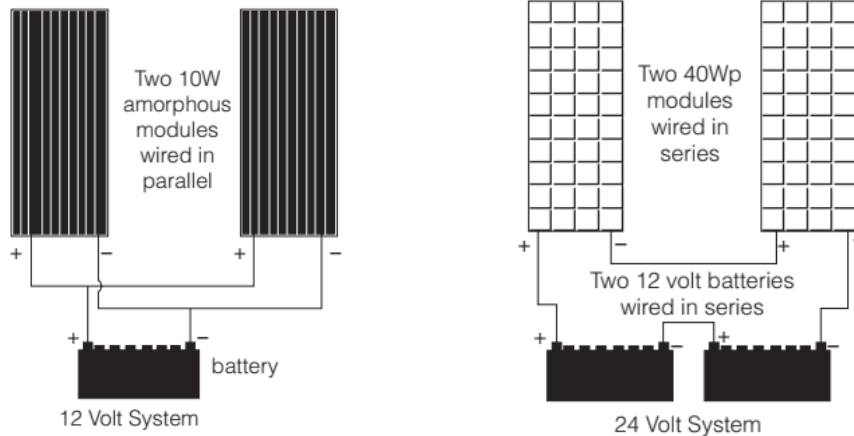
Gambar 2.19 *Photovoltaic solar system* untuk beban DC (Pearsall, 2016)

Melalui gambar 2.19 dijelaskan bahwa daya listrik yang dihasilkan dari PV *array* akan disimpan pada baterai untuk penggunaan yang lebih efisien. *Solar charge controller* (SCC) yang terdapat pada sistem akan mengatur aliran listrik yang berasal dari PV menuju baterai, dengan kata lain berfungsi mengatur tegangan dan arus yang berasal dari PV *array* dengan tugas untuk mencegah *overcharging* dan juga *overdischarging* pada baterai (Pearsall, 2016). Arus *charging* yang masuk kedalam baterai nantinya berupa arus DC (*Direct Current*), sedangkan untuk pemakaian peralatan listrik yang menggunakan arus AC (*Alternating Current*), maka inverter diperlukan untuk mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC. Namun pada *freshwater generator* akan digunakan elemen pemanas DC sehingga alat inverter tidak direncanakan dalam sistem.

## 2.11 Perhitungan Teknis *Photovoltaic*

Analisis perkiraan awal pada desain sistem PV biasanya didasarkan pada *Peak Sun Hours* (PSH) selama satu hari. Nilai *peak sun hours* adalah jumlah jam per hari saat radiasi matahari rata-rata  $1000 \text{ W/m}^2$  yang mengenai panel (Hankins, 2010). Daya yang dihasilkan oleh panel surya adalah daya panel yang dikalikan lama penyinaran, misalnya panel surya berkapasitas 100 Wp disinari matahari dengan intensitas maksimum 5 jam maka daya yang dihasilkan adalah 500 Wh. (Setiawan, 2017)

*Photovoltaic array* dapat disusun secara seri ataupun paralel. Rangkaian seri digunakan pada panel untuk memperoleh tegangan yang lebih tinggi dengan arus keluaran yang sama. Sedangkan rangkaian paralel digunakan untuk memperoleh arus keluaran yang lebih tinggi dengan tegangan yang sama. Misalnya pada gambar 2.20 (a) merupakan sistem pengisian baterai 12 volt dilakukan rangkaian paralel dua buah panel 12 volt untuk menghasilkan arus yang lebih tinggi namun dengan tegangan yang sama. Sedangkan pada sistem pengisian baterai 24 volt dilakukan rangkaian seri dari dua buah panel 12 volt untuk mendapatkan sistem baterai 24 volt, seperti gambar 2.20 (b) (Hankins, 2010).



Rangkaian paralel (a)

Rangkaian seri (b)

Gambar 2.20 Rangkaian *photovoltaic array* (Hankins, 2010)

### 2.11.1 Perhitungan Daya Listrik

Pada solar cell dapat diketahui daya yang dihasilkan panel dengan pendekatan persamaan berikut (Markvart & McEvoy, 2003)

$$P = V \cdot I \quad (2.14)$$

Dimana,

- P - Daya listrik (W)
- V - Tegangan Listrik (Volt)
- I - Arus Listrik (A)

Sehingga selanjutnya dapat ditentukan daya listrik yang dibutuhkan heater air laut untuk melakukan evaporasi. Persamaan berikut ini digunakan sebagai pendekatan untuk mengetahui kebutuhan daya sehingga dapat disimpan pada baterai untuk digunakan beberapa kali proses evaporasi,

$$P_{batt} = P_{total} \cdot t \quad (2.15)$$

$$I_{batt} = \frac{P_{batt}}{V_{batt}} \quad (2.16)$$

Dimana,

- $P_{batt}$  - Daya listrik perencanaan baterai (Wh)
- $P_{total}$  - Daya heater (W)
- $I_{batt}$  - Arus pada baterai
- t - Waktu proses evaporasi (hour)

Setelahnya dilakukan perhitungan untuk kapasitas baterai yang akan digunakan dengan melihat dari daya maksimal yang dihasilkan sehingga mencukupi untuk penyimpanan. Persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut (Hankins, 2010)

$$P_{PV\ ARRAY} = P_{PV} \cdot n_{unit\ PV} \quad (2.17)$$

$$P_{keb.batt} = P_{PV\ ARRAY} \times (Spare\ for\ batt)$$

Dimana,

- $P_{keb.batt}$  - Daya total kebutuhan untuk perencanaan baterai (AH)
- $P_{batt}$  - Daya listrik perencanaan baterai (Wh)
- $Spare_{batt}$  - (1,5 – 2 kali) dari total daya dari PV Array

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui jumlah baterai yang akan digunakan sebagai pemenuhan kebutuhan daya untuk heater pada proses evaporasi. Pemilihan baterai mengikuti spesifikasi dari produsen baterai yang dijual dipasaran sehingga mudah untuk didapatkan, persamaan yang digunakan sebagai berikut

$$n_{batt} = \frac{P_{keb.batt}}{V_{batt} \times I_{batt}} \quad (2.18)$$

Dimana,

- $n_{keb.batt}$  - Jumlah baterai penyimpanan
- $P_{keb.batt}$  - Daya total kebutuhan untuk baterai (AH)
- $V_{batt}$  - Voltase spesifikasi baterai yang digunakan (V)
- $I_{batt}$  - Kapasitas spesifikasi baterai yang digunakan (V)

### 2.11.2 Fill Factor Photovoltaic

*Fill factor* adalah parameter yang menentukan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya secara penuh, besarnya nilai *fill factor* dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Pearsall, 2016)

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{P_{max.power}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.19)$$

Dimana,

- FF - Fill Factor
- $V_{mp}$  - Voltase PV pada daya maksimum (V)
- $I_{mp}$  - Arus PV pada daya maksimum (A)
- $V_{oc}$  - Open circuit Voltage (V)
- $I_{sc}$  - Short circuit Current (A)
- $P_{max}$  - Daya maksimum (W)

Setelah diketahui nilai *fill factor* akan dilakukan perhitungan efisiensi panel surya, karena didalam data spesifikasi panel surya yang digunakan tidak diketahui efisiensi panel surya yang digunakan. Penentuan efisiensi dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut (Pearsall, 2016)

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2.20)$$

$$P_{in} = I_{rad} \cdot A \quad (2.21)$$

Dimana,

- $P_{in}$  - Daya radiasi (W)
- $I_{rad}$  - Intensitas radiasi cahaya ( $W/m^2$ )
- $A$  - Luas *photovoltaic* ( $m^2$ )

$$Eff_{PV}(\eta_{PV}) = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.22)$$

Dimana,

- $\eta_{PV}$  - Efisiensi panel yang digunakan

### 2.11.3 Perhitungan Watt Peak

Perhitungan daya puncak menjadi hal yang penting karena dari data iradiasi rata-rata harian tempat penelitian, nantinya akan diketahui total energi harian yang dihasilkan sehingga daya puncak dari sistem PV array yang diinginkan dapat direncanakan dengan baik, melalui pendekatan persamaan berikut, (Dirjen EBTKE, 2018)

$$P_{Puncak (bef)} = E_{Daily} + \left( \frac{E_{Daily}}{DNI_{day}} \right) \quad (2.23)$$

Dimana,

- $P_{Puncak (bef)}$  - Daya Puncak dari sistem sebelum losses (kWp)
- $E_{Daily}$  - Kebutuhan Energi Harian (kW)
- $DNI_{day}$  - *Direct Normal Irradiation* ( $\frac{kWh}{m^2}$ )

Setelah dilakukan perhitungan pada daya puncak untuk perencanaan PV array, selanjutnya dilanjutkan perhitungan pada penambahan rugi-rugi (*losses*) yang mungkin terjadi seperti keadaan berdebu atau temperatur yang terlalu tinggi pada PV modul, melalui persamaan berikut ini (Dirjen EBTKE, 2018)

$$P_{puncak (aft)} = P_{Puncak (bef)} + (15\% \times P_{Puncak (bef)}) \quad (2.24)$$

Dimana,

- $P_{puncak (aft)}$  - Daya Puncak dari sistem setelah ditambah *losses* (kWp)
- $P_{Puncak (bef)}$  - Daya Puncak dari sistem sebelum *losses* (kWp)

Dari perhitungan daya puncak, nantinya akan dapat ditentukan jumlah PV modul yang harus dipasang ketika iradiasi harian berada pada titik terendah, sehingga daya total harian yang dihasilkan tidak kurang dari perencanaan kebutuhan.

### 2.11.4 Perhitungan Luasan Photovoltaic Array

Pada perhitungan tahap ini dilakukan dengan tujuan memperoleh data mengenai luas area yang direncanakan untuk penentuan jumlah unit PV modul sehingga estimasi luas untuk



penempatan PV modul dapat sesuai dengan desain kapal yacht 58 meter. Melalui persamaan berikut ini dapat diketahui luas area yang dapat digunakan,

$$A_{PV\ ARRAY} = \frac{P_{Puncak\ (aft)}}{\eta_{PV}} \quad (2.25)$$

Dimana,

$A_{PV\ ARRAY}$  - Luas efektif untuk *photovoltaic array* (m<sup>2</sup>)

$P_{puncak\ (aft)}$  - Daya Puncak dari sistem setelah ditambah *losses* (kWp)

$\eta_{PV}$  - Efisiensi *photovoltaic module* (%)

### 2.11.5 Perhitungan Jumlah Unit *Photovoltaic Module*

Perhitungan untuk penentuan jumlah unit PV modul harus memenuhi syarat untuk dapat mengakomodasi cadangan energi, seperti dilakukan penambahan untuk keandalan dari sistem PV array sebagaimana persamaan 2.24 dan persamaan 2.25 (Dirjen EBTKE, 2018)

$$n_{unit\ PV} = \frac{P_{Puncak\ (aft)}}{\eta_{PV} \times P_{max} \times t_{penyinaran}} \quad (2.26)$$

Dimana,

$n_{unit\ PV}$  - Jumlah *photovoltaic* yang dipasang

$P_{puncak\ (aft)}$  - Daya Puncak dari sistem setelah ditambah *losses* (kWp)

$P_{max}$  - Daya maksimum PV modul (Wp)

$\eta_{PV}$  - Efisiensi *photovoltaic module* (%)

$t_{penyinaran}$  - Lama penyinaran pada PV (jam)

## 2.12 *Software Analisis Aspen Hysys*

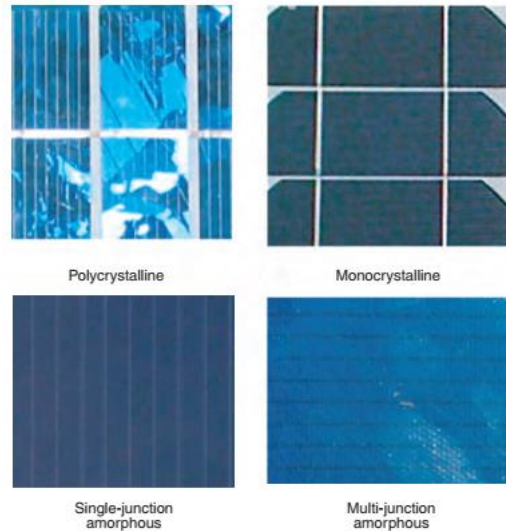
Aspen Hysys merupakan sebuah engineering software yang mampu melakukan simulasi rangkaian proses yang ada di dalam suatu pabrik yang menggunakan bahan kimia. Contoh proses yang mampu dilakukan *software* ini adalah yang melibatkan berbagai jenis reaksi dalam reaktor, proses pemisahan menggunakan berbagai jenis separator, dan proses pemurnian seperti distilasi dan absorpsi. Dalam Tugas Akhir ini, *software* ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem desalinasi yaitu kinerja evaporator dan kinerja kondensor. Dari software ini didapatkan data berupa uap yang dihasilkan evaporator dan air distilasi yang dihasilkan kondensor.

## 2.13 Komponen – Komponen Pada Sistem

### 2.13.1 *Photovoltaic Module*

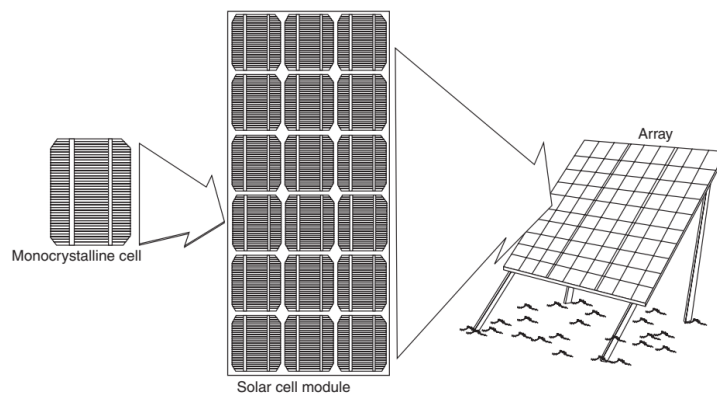
*Photovoltaic* adalah konversi langsung sinar matahari menjadi listrik. Sel surya yang terpapar cahaya matahari diubah menjadi energi listrik. Ini terjadi sesuai dengan prinsip yang disebut efek foto-listrik. Perangkat listrik surya juga disebut perangkat *photovoltaic* atau PV. Jenis dari PV juga sangat bervariasi dalam ukuran dan dipilih dengan cermat untuk memenuhi kebutuhan listrik beban. Jumlah arus yang dihasilkan oleh sel surya tergantung pada ukuran dan jenisnya, Sel *monocrystalline* 10 cm<sup>2</sup> (1,55 inci<sup>2</sup>) menghasilkan arus sekitar 3,5A di bawah

*Standard Test Conditions* (STC) (Hankins, 2010). Pada gambar 2.21 merupakan jenis sel photovoltaic yang umumnya digunakan dan tersedia dipasaran dengan efisiensi panel yang berbeda pada setiap jenisnya, untuk spesifikasi efisiensi dari *photovoltaic* dapat dilihat pada tabel 2.3, karena pemilihan jenis panel seringkali dilihat dari efisiensinya sehingga akan mempengaruhi jumlah daya yang dihasilkan dan disimpan dari rangkaian panel.



Gambar 2.21 Beberapa tipe dari *silicon solar cells* (Hankins, 2010)

Output dari panel surya biasanya diukur pada STC (Standard Test Condition diatur pada radiasi cahaya  $1 \text{ kW/m}^2$ , temperatur  $25^\circ\text{C}$ , dan massa udara 1,5) untuk mendapatkan performa terbaik dari modul surya (Hankins, 2010). Sedangkan output harian yang dihasilkan oleh modul surya sangat tergantung pada tingkat radiasi matahari yang menyinari modul surya.

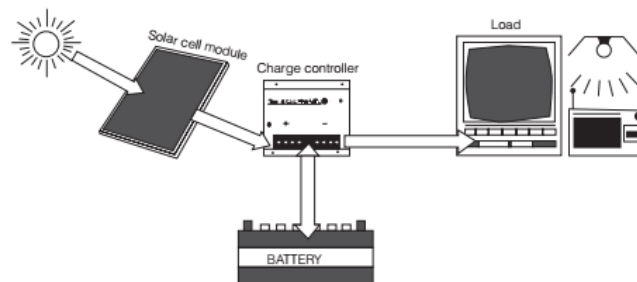


Gambar 2.22 *Solar cell, photovoltaic module dan array* (Hankins, 2010)

Pada gambar 2.22 merupakan penamaan dari komponen-komponen penyusun sehingga dapat terbentuknya sebuah *photovoltaic array*, mulai dari sebuah sel yang dirangkai menjadi sebuah *photovoltaic* modul hingga sebuah PV *array* yang terbentuk dari beberapa rangkaian PV modul. Kemudian pengaturan banyak sel surya yang dihubungkan secara seri, disegel antara kaca dan plastik, dan didukung di dalam bingkai logam disebut *photovoltaic modue*. Kelompok modul yang dipasang bersama disebut *array* (Hankins, 2010).

### 2.13.2 Solar Charge Controller

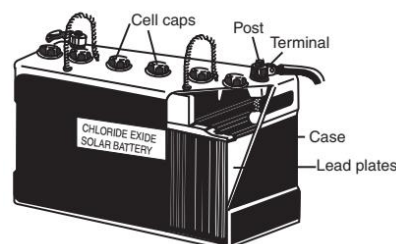
*Solar charge controller* yang ditampilkan pada gambar 2.23 diketahui jika alat ini akan berperan sebagai pengatur daya listrik yang dihasilkan dari panel *photovoltaic*, karena terhubung pada baterai dan beban yang akan disuplai serta dengan beberapa fungsi utama dari *charge controller*. Pertama, alat ini dapat menjadi titik tengah yang menghubungkan beban, panel dan baterai. Kedua, alat ini dapat mengatur sistem sehingga pengisian secara optimum dapat dilakukan pada baterai. Ketiga, alat ini memastikan komponen lainnya terutama baterai dan lampu dapat dilindungi dari kerusakan akibat *overcharge* dan perubahan level tegangan. Terakhir, *charger controller* adalah indikator yang akan memberikan informasi mengenai kondisi baterai sehingga pengguna dapat mengendalikan konsumsi energi (Hankins, 2010).



Gambar 2.23 *Charge controller* pada sistem PV *off-grid* (Hankins, 2010)

### 2.13.3 Baterai Penyimpanan

Modul sel surya menghasilkan listrik hanya ketika matahari bersinar, dan tidak menyimpan energi. Sehingga dibutuhkan media penyimpanan listrik ketika matahari tidak bersinar, muatan listrik yang dihasilkan pada siang hari harus disimpan agar tersedia di malam hari atau saat berawan. Sehingga penggunaan baterai atau *accumulator* dibutuhkan pada sistem, yang secara kimia baterai akan menyimpan muatan listrik.



Gambar 2.24 Bagian-bagian baterai *lead-acid* (Hankins, 2010)

Baterai primer yaitu jenis baterai yang hanya dapat digunakan sekali karena baterai ini berupa sel kering. Sedangkan baterai sekunder atau *accumulator* adalah baterai yang dapat diisi ulang. Pada gambar 2.24 diketahui beberapa bagian penyusun dari baterai yaitu *cell caps* sebagai katup untuk mencegah baterai bocor karena menguap akibat reaksi kimia, kemudian terminal berfungsi untuk dihubungkan pada kabel pengisian maupun *discharge*, komponen *case* merupakan wadah untuk timbal asam ditampung, serta *lead plate* yang akan membantu listrik untuk dapat terjadi reaksi kimia sehingga listrik tersimpan pada sel timbal asam. Jenis sistem baterai isi ulang yang paling umum di pasar dunia saat ini adalah timbal-asam (*lead-acid*), *lithium ion*, *nickel metal hydride* dan *nickel cadmium*. Baterai *lead-acid* jauh lebih umum tersedia, hemat biaya dan cocok untuk semua kecuali sistem tenaga surya listrik (Hankins, 2010).

## BAB 3

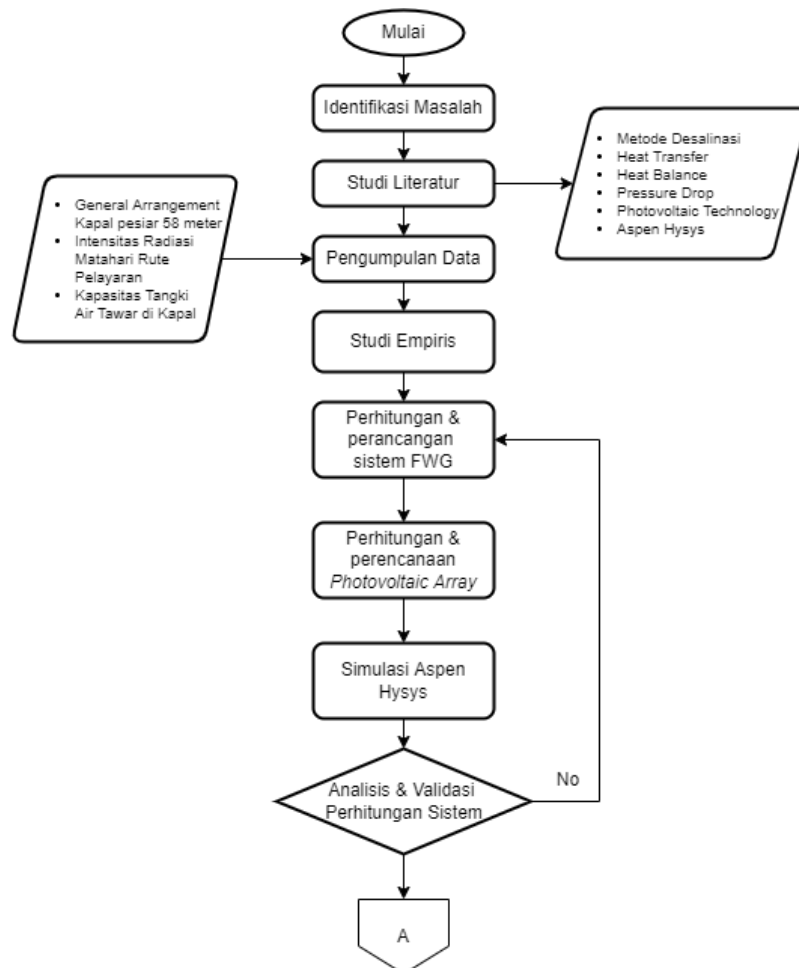
### METODOLOGI PENELITIAN

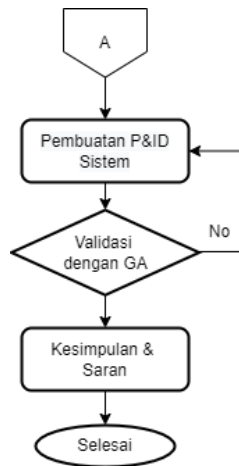
#### 3.1 Pendahuluan

Metode penelitian akan dilakukan secara kuantitatif yang mana analisis dilakukan berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu dengan perencanaan sistem yang terstruktur.

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram air adalah diagram yang biasanya mewakili sebuah proses, sistem yang umum digunakan untuk merencanakan atau menggambarkan sebuah alur kerja dengan banyak langkah. Alur kerja penelitian ini ditunjukkan pada diagram gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Identifikasi Masalah

Masalah atau yang dibahas akan dirumuskan pada tahap ini. Pada penelitian ini, masalah yang akan dibahas adalah bagaimana analisis perencanaan *Freshwater Generator* pada kapal pesiar 58 meter sebagai pendingin *photovoltaic array* dengan memanfaatkan *electric power* dari sistem *photovoltaic array* yang akan dipasang.

### 3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk membuat ringkasan teori fundamental baik secara umum maupun khusus. Studi literatur ini dilakukan dengan membaca dan meringkas jurnal, buku teks, database perusahaan, tesis lain yang dilakukan dengan baik, dan bahkan dari internet tentang segala sesuatu yang berkaitan dengan tugas akhir.

### 3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang berkaitan dengan rute pelayaran sebagai penentuan intensitas radiasi matahari, kemudian *General Arrangement* dari kapal pesiar 58 meter yang akan digunakan untuk desain perencanaan *photovoltaic array*.

### 3.6 Studi Empiris

Studi Empiris adalah tahap pengamatan dari penelitian serupa yang sebelumnya sudah pernah dilakukan. Pada tahap ini dilakukan pengulasan terkait penelitian sebelumnya yang berjudul “Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Solar Cell Pada Sistem Destilasi Untuk Supply Fresh Water Pada Kapal Perintis 2000 GT” yang disusun oleh Muhammad Sofyan Setiawan. Penelitian tersebut melakukan analisis dan rancangan panel surya yang dibutuhkan untuk membantu proses pada alat destilasi air laut sebagai *supply freshwater* di kapal perintis 2000 GT. Sistem alat destilasi yang direncanakan tidak beroperasi secara kontinyu melainkan satu kali proses dengan kapasitas 315.45 kg air tawar yang dihasilkan selama 2 jam evaporasi. Kemudian solar cell yang direncanakan pada top deck seluas 209.08 m<sup>2</sup> sebanyak 70 unit solar cell 300 Wp yang dirangkai secara paralel, sehingga total daya yang dihasilkan selama 7 jam yaitu 28,26 kW. Setelah itu analisa ekonomis untuk investasi *solar cell* dan evaporator sebesar Rp.401.625.000 dengan *lifetime* evaporator diestimasikan selama 10 tahun.

### **3.7 Perhitungan dan Perancangan Sistem *Freshwater Generator***

Pada tahap ini dilakukan perhitungan berdasarkan data yang telah didapatkan, dapat dilakukan analisis untuk menentukan dimensi dan spesifikasi komponen yang sesuai pada *freshwater generator* sistem desalinasi. Perhitungan yang dilakukan meliputi; perhitungan kebutuhan daya untuk evaporasi dan perhitungan *heat exchanger* untuk *condenser*.

### **3.8 Perhitungan dan Perencanaan *Photovoltaic Array***

Pada langkah ini dilakukan perhitungan untuk perencanaan *photovoltaic array* yang akan dilakukan instalasi pada kapal *yacht* 58 meter, analisa berupa penentuan spesifikasi dan jumlah unit dari *photovoltaic module* yang akan digunakan. Dari *photovoltaic array* yang telah direncanakan, setelah itu dilanjutkan perhitungan charger controller dan baterai yang akan digunakan untuk *evaporator*.

### **3.9 Analisis Sistem *Freshwater Generator* dan *Photovoltaic Array***

Pada langkah ini harus dilakukan analisis pada laju produksi air tawar yang dihasilkan dari sistem desalinasi *freshwater generator*. Dan dilanjutkan proses validasi antara kebutuhan daya untuk proses desalinasi dengan daya yang dihasilkan dari *photovoltaic array*. Jika perencanaan belum dapat diterima maka akan diulang kembali pada perencanaan *photovoltaic array* ataupun pada perancangan *evaporator*.

### **3.10 Simulasi *Software Aspen Hysys***

Pada penerapan simulasi sistem desalinasi menggunakan *software Aspen Hysys* untuk dapat mengetahui hasil produksi air tawar sistem desalinasi yang memanfaatkan *electric power* dari *photovoltaic array*. Tahap ini data yang dimasukkan kedalam *software Hysys* merupakan data yang didapat pada perhitungan evaporator dan kondensor secara manual.

### **3.11 Pembuatan P&ID Sistem Pada *General Arrangement Kapal***

Membuat P&ID sistem FWG yang telah direncanakan secara lengkap, kemudian digunakan *General Arrangement* kapal pesiar 58 meter terutama bagian *engine room layout*. Pada tahap ini menggunakan *software AutoCAD*.

### **3.12 Kesimpulan dan Saran**

Pada tahap ini, akan dituliskan kesimpulan dan rekomendasi yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Saran yang dituliskan akan berkaitan dengan penentuan sistem distilasi air laut yang tepat untuk diterapkan pada kapal penumpang.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pendahuluan

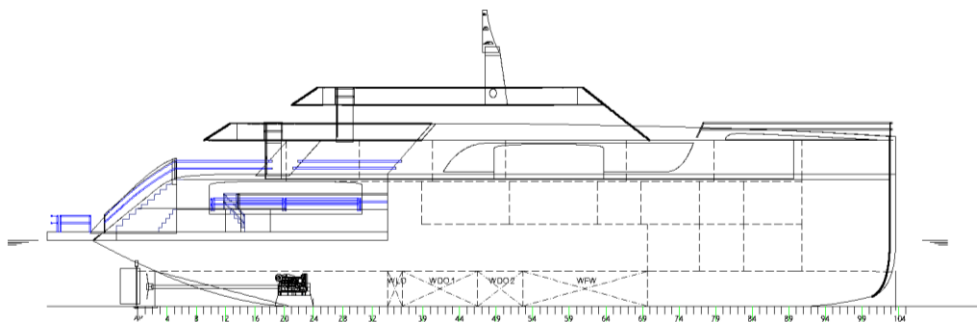
Dalam bab ini akan diuraikan secara detail bagaimana proses perhitungan untuk menentukan komponen-komponen sistem desalinasi dengan memanfaatkan energi listrik hasil dari *photovoltaic array*. Setelah seluruh kriteria dalam perhitungan sudah sesuai maka dibuat kedalam sebuah diagram proses kerja sistem desalinasi yang dirancang. Kemudian membuat P&ID sistem desalinasi yang sesuai dengan *General Arrangement* kapal yacht 58 meter.

#### 4.2 Spesifikasi Data Kapal Yacht 58 Meter

##### *Principle Dimension Kirei Cruise*

<i>Length Over All (LOA)</i>	: 58 meter
<i>Length of Perpendicular (LPP)</i>	: 52 meter
<i>Breadth Maximum (B)</i>	: 12 meter
<i>Height Maximum (H)</i>	: 9 meter
<i>Draught Maximum</i>	: 4.5 meter
<i>Service Speed (Vs)</i>	: 10 Knot
<i>Crews</i>	: 22 Orang
Penumpang Yacht	: 24 Orang
<i>Freshwater Tank</i>	: 4000 Liter
Rute Pelayaran	: Perairan Pulau Nongsa, Batam

#### SIDE ELEVATION



Gambar 4.1 Desain Rancangan Kapal Yacht 58 meter

Dari gambar 4.1 merupakan desain rancangan dari kapal yacht 58 meter pada tampak samping, kemudian peletakan pada tangki *freshwater* berada pada *bottom deck* pada sisi starboard dan portside, serta peralatan seperti *main engine*, *generator set* dan pompa berada pada deck yang sama. Maka pada perencanaan peletakan *freshwater generator* akan berada pada *bottom deck* juga, sehingga spesifikasi pompa tidak memerlukan *head* yang terlalu tinggi.

### 4.3 Kebutuhan Air Tawar di Kapal

Adapun rata-rata kebutuhan air tawar diatas kapal yaitu untuk *drinking water* dan *cleaning water*. Pasokan air tawar dari kapal biasanya tidak cukup untuk seluruh durasi perjalanan. Kebutuhan tersebut sebagian ditutupi melalui pengisian ulang di pelabuhan atau melalui produksi air tawar dengan sistem desalinasi pada kapal.

Estimasi kebutuhan *drinking water* di kapal yaitu berkisar 10 - 20 kg/orang per hari. Pada kapal *yacht* 58 meter ini nilai kebutuhan yang digunakan yaitu 15 kg/orang per hari. Untuk total jumlah anak buah kapal serta penumpang yang direncanakan berjumlah 46 orang. Sehingga estimasi kebutuhan *drinking water* pada kapal *yacht* 58 meter ini yaitu 690 kg/hari atau setara dengan 0.69 ton/hari.

### 4.4 Perancangan *Freshwater Generator*



Gambar 4.2 *Freshwater Generator Tipe Heat Exchanger Shell and Tube*

Proses distilasi adalah metode untuk memproduksi air murni yang berasal dari air laut dengan melakukan penguapan kemudian mengembunkan kembali. Oleh karena itu, digunakan sumber energi yang berasal dari pemanas elektrik untuk menguapkan air laut.

#### A. Prinsip Kerja *Freshwater Generator*

Perpindahan panas akan terjadi pada bagian fluida yang bersuhu tinggi ke fluida yang bersuhu lebih rendah (air laut). Faktor yang mempengaruhi perpindahan panas yaitu:

- a. Perbedaan suhu antara dua bahan yaitu yang memberi panas dan menerima panas
- b. Luas permukaan tempat fluida panas mengalir
- c. Serta koefisien penghantar panas dari bahan yang dilalui panas.

Apabila pemanasan pada air laut menggunakan *electric coil* pada ruang tangki tertutup tidak dapat mencapai titik didihnya maka air laut tidak akan dapat mendidih dan menguap, sehingga diperlukannya kondisi vakum pada tangki agar air laut dapat mencapai titik didihnya. Pompa vakum menjadi salah satu alat pada evaporator untuk mengeluarkan molekul-molekul gas dari dalam ruang tertutup dan mencapai tekanan vakum sehingga titik didih air laut menjadi turun dibawah tekanan atmosfer.



Setelah air laut terjadi penguapan, dan uap yang terkumpul terkena permukaan bersuhu lebih rendah maka akan terjadi penyerapan panas dari uap ke bahan pendingin dalam suatu proses pengembunan sehingga uap akan kembali menjadi wujud cair.

#### B. Bagian utama dari *Freshwater Generator*

Pada gambar 4.2 merupakan *freshwater generator* yang umumnya dijual dipasaran dengan penggunaan *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* pada bagian evaporator dan kondensornya. Komponen penyusun dari *freshwater generator shell and tube* ini yaitu sebagai berikut,

- a. *Heat Exchanger*
- b. *Ejector Pump*
- c. *Distillate Pump*
- d. *Vacuum Pump*
- e. *Demister*
- f. *Salinometer*

*Heat Exchanger* nantinya akan berperan pada kondensor guna proses pengembunan uap air laut. Sedangkan pada evaporator akan dilakukan instalasi *electric coil* sebagai pemanas evaporator dan pompa vakum untuk proses penguapan air laut. Selanjutnya akan dilakukan pembahasan untuk tahapan perancangan evaporator dan kondensor.

### 4.5 Perancangan Bagian Evaporator

Perencanaan awal desain evaporator yang didapatkan merupakan hasil dari pengumpulan data dari literatur, dan perhitungan yang telah dilakukan. Pada tabel 4.1 merupakan spesifikasi perancangan evaporator didapatkan dimensi diameter 880 mm dengan tinggi 1380 mm, untuk kapasitas evaporasi 800 kg/hari menerapkan sistem pemanasan menggunakan elemen coil pemanas.

Tabel 4.1 Spesifikasi perancangan evaporator

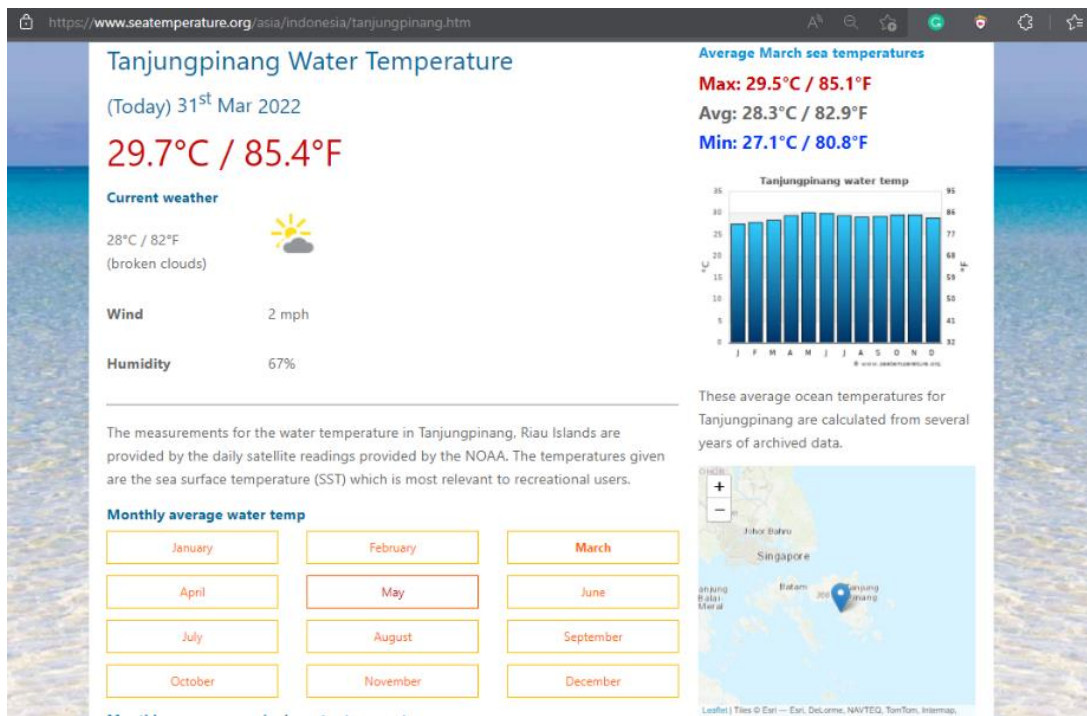
<b>Dimensions (mm)</b>	880L x 880W x 1380H
<b>Inside Diameter (mm)</b>	850
<b>Capacity (Rated evaporation)</b>	800 kg/hari
<b>Material</b>	Stainless Steel
<b>Sistem Evaporasi</b>	Heating Coil Element

#### 4.5.1 Temperatur

Tabel 4.2 Temperatur Kerja pada Evaporator dibawah 1 atm

Feedwater (SW)	Inlet Temp (°C)	Scenario 1 Outlet Temp (°C)	Scenario 2 Outlet Temp (°C)	Scenario 3 Outlet Temp (°C)
700 kg/day				
800 kg/day	30	80	70	60
900 kg/day				

Pada tabel 4.2 ditampilkan skenario perancangan dari evaporator dengan menurunkan titik didih penguapan dibawah 100°C. Selain itu, temperatur *feed water* yang akan masuk kedalam evaporator merupakan temperatur air laut di Indonesia, yaitu berkisar pada 28°C - 31°C, kemudian pada gambar 4.3 merupakan data didaerah Batam kepulauan Riau yang bernilai temperatur 29,7°C pada permukaan air lautnya, sehingga akan ditetapkan 30°C untuk temperatur ambient air laut yang akan diuapkan. Pada distiller ini akan di atur untuk bekerja pada tekanan dibawah 1 atm, sehingga titik didih air laut berada dibawah 100°C untuk mampu menguapkan air laut. Maka diperlukan *vacuum ejector* atau pompa vakum untuk mengurangi tekanan pada evaporator.



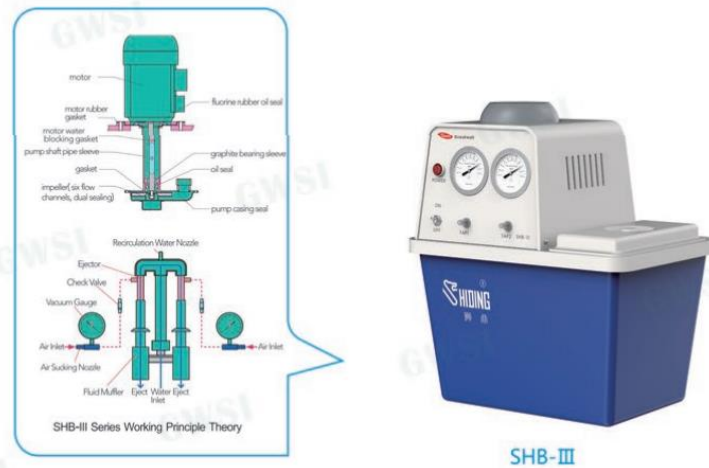
Gambar 4.3 Temperatur permukaan air laut Batam

Sumber: (seatemperature.org/asia/indonesia)

Tabel 4.3 adalah spesifikasi pompa vakum atau vacuum ejector yang direncanakan pada evaporator yaitu memerlukan daya suplai 180W AC, dengan kemampuan tekanan vakum maksimal sebesar 98 kPa, dan flowrate sebesar 80L/min.

Tabel 4.3 Spesifikasi pompa vakum evaporator

Model	SHB – III
Daya (W)	180 W
Power Supply	110V/60Hz atau 220-240V, 50/60Hz
Flow rate (L/min)	80 L/min
Maximum Vacuum (MPa)	0.098
Safety	Check Valve
Lift (m)	10
Dimensions (mm)	385W x 280D x 420H



Gambar 4.4 Vacuum Pump SHB-III

Kemudian gambar 4.4 merupakan produk pompa vakum yang tersedia dipasaran, terdapat dua buah *gauge* pada bagian *inlet*, *vacuum gauge* akan diatur sesuai dengan tekanan yang diinginkan, selanjutnya akan melalui *check valve* dan diteruskan menuju komponen *ejector* untuk mengeluarkan tekanan udara pada evaporator.

#### 4.5.2 Perhitungan Daya Evaporator

Perhitungan daya evaporator akan didasarkan pada jumlah energi kalor yang dibutuhkan untuk mengubah wujud dari air laut menjadi uap air. Berikut ini akan dihitung salah satu kondisi yaitu pada temperatur 70 °C dan kapasitas evaporator 800 kg,

$$Q_f = m_f \cdot C_f \cdot \Delta T$$

Keterangan :

$$m_f = \text{massa air laut (kg)} = 800$$

$$\dot{m}_f = \text{Laju aliran massa air laut } \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 0.223$$

$$C_f = \text{Kalor jenis air laut } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}\right) = 3.9$$

$$\Delta T = \text{Perbedaan suhu uap air laut (K)} = (343.15 \text{ K} - 303.15 \text{ K}) = 40$$

Sehingga :

$$Q_f = \text{Jumlah kalor air laut (kJ)} = 124800$$

Selanjutnya daya dari evaporator untuk proses evaporasi selama satu jam, dapat diketahui dengan persamaan berikut.

$$W_{Listrik} = Q_f$$

$$P_E \cdot t = Q_f$$

Keterangan :

$$Q_f = \text{Jumlah kalor air laut (kJ)} = 124800$$

$t =$  Waktu proses evaporasi (s) = 3600 s

Sehingga :

$P_E =$  Daya listrik evaporator (kWh) = 34.67

Setelah didapatkan salah satu perhitungan daya listrik yang dibutuhkan evaporator maka dilanjutkan perhitungan yang sama pada perhitungan skenario evaporator lain, dengan jumlah kalor untuk penguapan dan temperatur pada kondisi yang berbeda sehingga daya listrik akan bervariasi. Namun pada perhitungan ini masih berada pada kondisi tekanan 1 atm, sehingga selanjutnya akan dibandingkan dengan kebutuhan listrik evaporasi yang didapatkan dari simulasi.

Tabel 4.4 Daya Kebutuhan Listrik Evaporator 700 kg

<b>Evaporator Capacity 700 kg/day</b>					
$T_1(K)$	$T_2(K)$	$\Delta T(K)$	Q (kJ)	t (s)	$P_E$ (kWh)
303,15	353,15	50	136500	3600	37.92
303,15	343,15	40	109200	3600	30.33
303,15	333,15	30	81900	3600	22.75

Tabel 4.5 Daya Kebutuhan Listrik Evaporator 800 kg

<b>Evaporator Capacity 800 kg/day</b>					
$T_1(K)$	$T_2(K)$	$\Delta T(K)$	Q (kJ)	t (s)	$P_E$ (kWh)
303,15	353,15	50	156000	3600	43.33
303,15	343,15	40	124800	3600	34.67
303,15	333,15	30	93600	3600	26

Tabel 4.6 Daya Kebutuhan Listrik Evaporator 900 kg

<b>Evaporator Capacity 900 kg/day</b>					
$T_1(K)$	$T_2(K)$	$\Delta T(K)$	Q (kJ)	t (s)	$P_E$ (kWh)
303,15	353,15	50	175500	3600	48.75
303,15	343,15	40	140400	3600	39
303,15	333,15	30	105300	3600	29.25

Dari tabel 4.4 diketahui kebutuhan daya listrik pada kapasitas produksi 700 kg/hari dan temperatur penguapan 80°C, 70°C, 60°C adalah masing-masing 37.92 kWh, 30.33 kWh, 22.75 kWh. Kemudian pada tabel 4.5 diketahui kebutuhan daya listrik pada kapasitas produksi 800 kg/hari dan temperatur penguapan 80°C, 70°C, 60°C adalah masing-masing 43.33 kWh, 34.67 kWh, 26 kWh. Dan selanjutnya tabel 4.6 diketahui kebutuhan daya listrik pada kapasitas produksi 900 kg/hari dan temperatur penguapan 80°C, 70°C, 60°C adalah masing-masing 48.75 kWh, 39 kWh, 29.25 kWh.

### 4.5.3 Perhitungan Tekanan dan Penentuan Evaporator

Dari perhitungan daya listrik yang dibutuhkan oleh evaporator untuk melakukan evaporasi selama satu jam, maka akan dihitung tekanan yang dibutuhkan pada kondisi tiap skenario temperatur. Perhitungan menggunakan persamaan Clausius-Clapeyron sebagai berikut,

$$\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{\Delta H_{vap}}{R}\right) \left(\left(\frac{1}{T_2}\right) - \left(\frac{1}{T_1}\right)\right)$$

Keterangan :

$$\Delta H_{uap} = \text{Entalpi penguapan (air laut)} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) = 40.65 = 40650 \left( \frac{\text{J}}{\text{mol}} \right)$$

$$R = \text{Konstanta gas universal} = 8.314 \left( \frac{\text{J}}{\text{K.mol}} \right)$$

$$T_1 = \text{Suhu saat tekanan uap diketahui (suhu awal)} = (303.15 \text{ K})$$

$$T_2 = \text{Suhu saat tekanan uap yg ingin di cari (suhu akhir)} = (343.15 \text{ K})$$

$$P_1 = \text{Tekanan saat suhu } T_1 \text{ (titik didih air normal)} = (1 \text{ atm})$$

Sehingga :

$$P_2 = \text{Tekanan saat suhu } T_2 \text{ (atm)}$$

Diambil salah satu contoh perhitungan pada temperatur  $70^\circ\text{C} = 343,15 \text{ K}$

$$\ln\left(\frac{1}{P_2}\right) = \left(\frac{40650}{8.314}\right) \left( \left(\frac{1}{343.15}\right) - \left(\frac{1}{373.15}\right) \right)$$

$$\ln\left(\frac{1}{P_2}\right) = (4889.34) \left( (0.002914) - (0.002679) \right)$$

$$\ln\left(\frac{1}{P_2}\right) = (4889.34) (2.343 \times 10^{-4})$$

Misal :  $\ln(x) = 2 \rightarrow e^{\ln(x)} = e^2 \rightarrow x = e^2$ , maka :

$$\left(\frac{1}{P_2}\right) = e^{1.1455}$$

$$\left(\frac{1}{P_2}\right) = 3.144$$

$$P_2 = \left(\frac{1}{3.144}\right) = 0.3181$$

$$P_2 = 0.3181 \text{ atm} = 32.228 \text{ kPa}$$

Tabel 4.7 Tekanan Evaporator pada Temperatur Tertentu

$T_0(\text{K})$	$T_2(\text{K})$	$\Delta(1/T)(\text{K})$	$\Delta H/R$	$P_1(\text{kPa})$	$P_2(\text{kPa})$
373,15	353,15	0,0001518	4889,34	101.325	48.25
373,15	343,15	0,0002343	4889,34	101.325	32.23
373,15	333,15	0,0003218	4889,34	101.325	21.01

Dari perhitungan diatas, disimpulkan bahwa tekanan evaporator akan di vakum pada temperatur tertentu akan berbanding lurus, karena semakin rendah titik didih air laut maka semakin rendah juga tekanan yang harus divakum hingga nilai tertentu. Tabel 4.7 menampilkan kondisi tekanan yang dibutuhkan untuk terjadinya evaporasi di bawah titik didih normal air, yaitu pada kondisi  $80^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$  yang masing-masing bernilai 48.25 kPa, 32.23 kPa, 21.01 kPa.

Setelah diketahui kebutuhan energi listrik pada tiga kapasitas evaporator yang dibahas pada 4.5.2, ditetapkan evaporator yang akan dihitung pada rancangan FWG adalah pada tabel 4.5 yaitu kondisi evaporasi air laut pada temperatur  $60^\circ\text{C}$ , serta dengan kapasitas 800 kg/day. Hal ini karena

akan menghasilkan kapasitas desalinasi air laut yang lebih banyak, dan dapat memaksimalkan luasan deck untuk peletakan PV Array.

#### 4.6 Perancangan Bagian Kondensor

Dalam perancangan kondensor ini terdapat beberapa ketentuan untuk *freshwater generator*, yaitu sebagai berikut.

- Perancangan kondensor akan menggunakan jenis *shell and tube Heat Exchanger*. Uap air laut yang berasal dari evaporator akan menuju bagian *shell* kondensor, sedangkan pada bagian *tube* akan mengalir air laut sebagai pendingin bagi uap sehingga dapat terjadi pengembunan.
- Perhitungan kondensor akan dihitung pada kondisi salah satu skenario temperatur, yaitu 60 °C
- 1 *shell* dan 1 *pass*, dengan aliran fluida *counter flow*.

##### 4.6.1 Temperatur Kondensor

Tabel 4.8 Pengaturan temperatur pada kondensor

Gas/Liquid	Inlet temperatur (°C)	Outlet temperatur (°C)
<b>Uap</b>	60	45
<b>Seawater (pendingin)</b>	30	40

Pada tabel 4.8 diatas merupakan pengaturan temperatur dari kondensor yang akan direncanakan, *seawater* sebagai air untuk mendinginkan akan masuk kedalam kondensor pada kondisi temperatur 30°C dan ingin melakukan kondensasi pada uap air evaporator dari temperatur 60°C menuju 45°C.

##### 4.6.2 Kalor Uap Air Laut (Pendingin Uap)

$$Q_f = (\dot{m}_f \times C_u \times \Delta T) + (\dot{m}_f \times U) + (\dot{m}_f \times C_f \times \Delta T)$$

Keterangan :

$$\dot{m}_f = \text{Laju aliran massa air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = 0.0093$$

$$C_u = \text{Kalor jenis uap air laut} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right) = 2.01$$

$$\Delta T = \text{Perbedaan suhu uap air laut (K)} = (333.15 \text{ K} - 318.15 \text{ K}) = 15$$

$$U = \text{Kalor uap air} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right) = 2260$$

$$C_f = \text{Kalor jenis air laut} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right) = 3.9$$

Sehingga :

$$Q_f = \text{Jumlah kalor air laut} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right) = 21.75$$

Perhitungan diatas untuk mengetahui jumlah kalor pendinginan pada kondensor, untuk melakukan kondensasi uap dengan temperatur 60°C menjadi air distilasi dengan temperatur 45°C, selanjutnya dilanjutkan perhitungan laju aliran yang sesuai.

### 4.6.3 Jumlah Air Pendingin

$$Q_f = Q_c$$

$$Q_c = \dot{m}_c \times C_f \times \Delta T$$

Keterangan :

$$Q_f = \text{Jumlah kalor air laut} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right) = 21.75$$

$$C_f = \text{Kalor jenis air laut} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right) = 3.9$$

$$\Delta T = \text{Perbedaan suhu air pendingin (K)} = (313.15 \text{ K} - 303.15 \text{ K}) = 10$$

$$Q_c = \text{Jumlah kalor air pendingin} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right)$$

Sehingga :

$$\dot{m}_c = \text{Laju aliran massa air pendingin} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = 0.56$$

Perhitungan diatas merupakan laju aliran massa dari air laut yang akan digunakan sebagai air pendingin pada kondensor. Hal ini digunakan untuk penentuan ukuran pada desain tube yang akan direncanakan.

### 4.6.4 Tube Side Pada Kondensor

#### 4.6.4.1 Perencanaan Awal Desain Tube

Tabel 4.9 Perencanaan Awal Ukuran Desain Tube

<b>Kategori</b>	BWG 14
<b>Length (m)</b>	0.75
<b>Diameter (OD) (m)</b>	0.0254
<b>Diameter (ID) (m)</b>	0.0212
<b>Wall thickness (m)</b>	0.002108
<b>Material</b>	Carbon Steel

Perencanaan awal desain kondensor pada bagian tube pada tabel 4.9 merupakan spesifikasi perancangan tube kondensor didapatkan panjang tube 0.75 m dengan diameter luar 25.4 mm dan diameter dalam 21.2 mm, untuk pada kategori tube BWG (Birmingham Wire Gauge) 14 menggunakan material carbon steel.

#### 4.6.4.2 LMTD

$$\text{LMTD} = \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

Keterangan :

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2}$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1}$$

$T_{h1}$  = Temperatur masuk air pendingin (K) = 303.15

$T_{h2}$  = Temperatur keluar air pendingin (K) = 313.15

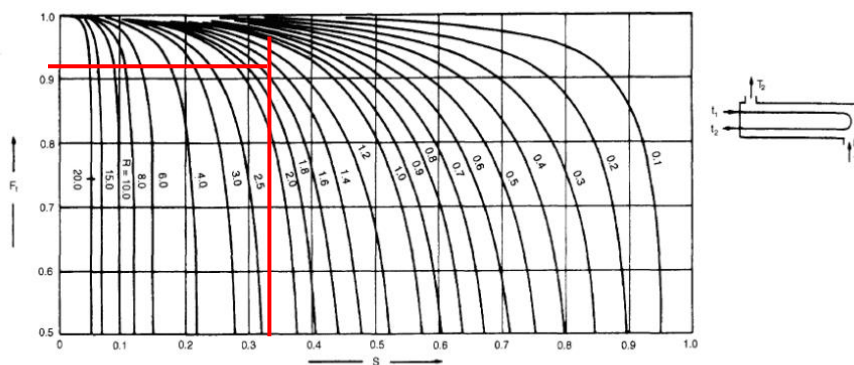
$T_{c1}$  = Temperatur masuk uap air laut (K) = 333.15

$T_{c2}$  = Temperatur keluar uap air laut (K) = 318.15

Sehingga :

LMTD = Log Mean Temperature Difference (K) = 17.38

#### 4.6.4.3 Temperature Correction Factor



Temperature correction factor: one shell pass; two or more even tube 'passes

Gambar 4.5 Grafik *Temperature Correction Factor*

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

Keterangan :

$T_1$  = Temperatur masuk uap air laut (K) = 333.15

$T_2$  = Temperatur keluar uap air laut (K) = 318.15

$t_1$  = Temperatur masuk air laut pendingin (K) = 303.15

$t_2$  = Temperatur keluar air laut pendingin (K) = 313.15

Sehingga :

$$R = 1.5$$

$$S = 0.33$$

$$F_t = 0.92$$



Nilai R, S didapatkan dari persamaan diatas, kemudian untuk nilai  $F_t$  berasal dari kurva pada gambar 4.5 dengan sumbu horizontal merupakan nilai S ditarik garis keatas menuju kurva dengan nilai R yang sesuai, sehingga nilai  $F_t$  akan didapatkan pada sumbu vertikal.

#### 4.6.4.4 Mean Temperature Difference

$$DT_m = F_t \times LMTD$$

Keterangan :

$$F_t = 0.92$$

$$LMTD = \text{Log Mean Temperature Difference (K)} = 17.38$$

Sehingga :

$$DT_m = \text{Mean Temperature Difference (K)} = 15.98$$

#### 4.6.4.5 Provisional Area

$$A = \frac{Q}{U \times DT_m}$$

Keterangan :

$$Q_f = \text{Jumlah kalor penguapan air laut} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right) = 21.75$$

$$U = \text{Overall Heat Transfer Coefficient} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \right) = 200$$

$$DT_m = \text{Mean Temperature Difference (K)} = 15.98$$

Sehingga :

$$A = \text{Provisional Area} = 0.0068$$

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	U (W/m <sup>2</sup> ·°C)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800-1500
Organic solvents	Organic solvents	100-300
Light oils	Light oils	100-400
Heavy oils	Heavy oils	50-300
Gases	Gases	10-50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250-750
Light oils	Water	350-900
Heavy oils	Water	60-300
Gases	Water	20-300
Organic solvents	Brine	150-500
Water	Brine	600-1200
Gases	Brine	15-250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500-4000
Steam	Organic solvents	500-1000
Steam	Light oils	300-900
Steam	Heavy oils	60-450
Steam	Gases	30-300
Dowtherm	Heavy oils	50-300
Dowtherm	Gases	20-200
Flue gases	Steam	30-100
Flue	Hydrocarbon vapours	30-100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapours	Water	1000-1500
Organic vapours	Water	700-1000
Organics (some non-condensables)	Water	500-700
Vacuum condensers	Water	200-500
<i>Vaporisers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000-1500
Steam	Light organics	900-1200
Steam	Heavy organics	600-900

Gambar 4.6 Overall Heat Transfer Coefficients

Pada gambar 4.6 digunakan untuk penentuan nilai dari koefisien heat transfer untuk heat exchanger shell and tube, sehingga dipilih pada vakum kondensor dengan nilai koefisien antara 200 hingga 500  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$ .

#### 4.6.4.6 Penentuan Jumlah Tube

$$N_t = \frac{A}{\pi \times d_o \times L}$$

Keterangan :

$A = Provisional Area = 0.0068$

$L = Panjang tube (m) = 0.75$

$d_o = Diameter luar tube (m) = 0.0254$

Sehingga :

$N_t = Jumlah tube = 2$

Setelah didapatkan jumlah tube yang akan direncanakan dengan dimensi yang sudah dipilih sesuai dengan standart BWG 14, maka dilanjutkan dengan penentuan tipe *pitch tube* yang sesuai serta perhitungannya.

#### 4.6.4.7 Tube Pitch

$$P_t = 1.25 \times d_o$$

Keterangan :

$d_o = Diameter luar tube (m) = 0.0254$

Sehingga :

$P_t = Tube Pitch (m) = 0.0318$

Tipe *pitch* yang direncanakan yaitu *square*

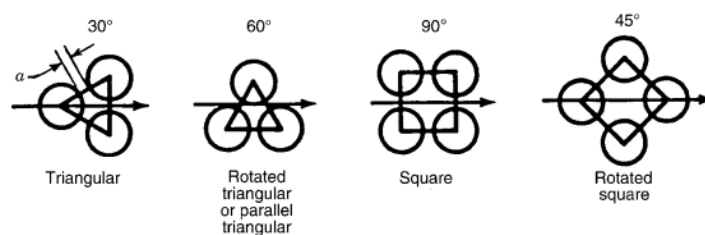


FIGURE 10.1 Tube layout arrangements.

Gambar 4.7 Tube layout pada Shell and tube heat exchanger

Penentuan tipe *pitch tube* nantinya dapat digunakan untuk menentukan ukuran diameter pada *bundle* karena nantinya diketahui jarak antara *tube – tube* pada *heat exchanger*. Pada gambar 4.7 adalah 4 jenis pengaturan tata letak dari tube dengan sudut 30°C, 60°C, 90°C, 45°C.

#### 4.6.4.8 Tube Bundle

$$D_b = d_0 \left( \frac{N_t}{K_1} \right)^{1/n_1}$$

Keterangan :

$d_0$  = Diameter luar tube (m) = 0.0254

$N_t$  = Jumlah tube = 2

Nilai dari  $K_1$  dan  $n_1$  didapatkan melalui tabel

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
$n_1$	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Gambar 4.8 Nilai Konstanta  $K_1$  dan  $n_1$

$$K_1 = 0.215$$

$$n_1 = 2.207$$

Sehingga :

$$D_b = \text{Diameter bundle (m)} = 0.068$$

Pada gambar 4.8 merupakan nilai konstanta yang disesuaikan dengan jumlah pass pada kondensor dan tipe tube pitch yang telah ditentukan pada gambar 4.7.

#### 4.6.4.9 Number of tubes per pass

$$N_{tpp} = \frac{N_t}{N_p}$$

Keterangan :

$N_t$  = Jumlah tube = 2

$N_p$  = Jumlah pass = 1

Sehingga :

$$N_{tpp} = \text{Jumlah tube per pass} = 2$$

#### 4.6.4.10 Mass velocity tube side

$$G_m = \frac{\dot{m}_c}{N_{tpp} \times \pi d_i^2 / 4}$$

Keterangan :

$$\dot{m}_c = \text{Laju aliran massa air pendingin} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = 0.56$$

$$N_{tpp} = \text{Jumlah tube per pass} = 2$$

$$d_i = \text{Diameter dalam tube (m)} = 0.0212$$

Sehingga :

$$G_m = \text{Mass velocity tube side} = 793.23$$

#### 4.6.4.11 Velocity tube side

$$v = \frac{G_m}{\rho_k}$$

Keterangan :

$$G_m = \text{Mass velocity tube side} = 793.23$$

$$\rho_k = \text{Massa jenis air pendingin} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1025$$

Sehingga :

$$v = \text{Velocity tube side} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0.774$$

#### 4.6.4.12 Reynold Number

$$Re = \frac{d_i \times \rho_k \times v_k}{\mu_k}$$

Keterangan :

$$d_i = \text{Diameter dalam tube (m)} = 0.021$$

$$\rho_k = \text{Massa jenis air pendingin} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1025$$

$$v_k = \text{Kecepatan air pendingin} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0.774$$

$$\mu_k = \text{Viskositas air pendingin} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right) = 0.000798$$

Sehingga :

$$Re = \text{Reynold Number} = 20877.63$$

Termasuk jenis aliran turbulen, karena nilai dari Reynold Number > 4000

#### 4.6.4.13 Prandtl Number

$$Pr = \frac{C_k \times \mu_k}{k_k}$$

Keterangan :

$$C_k = \text{Kalor jenis air pendingin} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right) = 3.9$$

$$\mu_k = \text{Viskositas air pendingin} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right) = 0.000798$$

$$k_k = \text{Konduktifitas termal air pendingin} \left( \frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right) = 0.616$$

Sehingga :

$$P_r = \text{Prandtl Number} = 5.05$$

#### 4.6.4.14 Nusselt Number

$$N_u = 0.683 \times Re^{0.466} \times P_r^{1/3}$$

Keterangan :

$$R_e = \text{Reynold Number} = 123000 / 20877.63$$

$$P_r = \text{Prandtl Number} = 5.05$$

Sehingga :

$$N_u = \text{Nusselt Number} = 120.73$$

#### 4.6.4.15 Koefisien Perpindahan Panas Pada *Tube*

$$h_t = 0.023 \frac{k_k}{d_i} \times Re^{0.8} \times P_r^{1/3} \times \left( 1 + \frac{d_i}{L_t} \right)^{0.7}$$

Keterangan :

$$k_k = \text{Konduktifitas termal air pendingin} \left( \frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right) = 0.616$$

$$d_i = \text{Diameter dalam } tube \text{ (m)} = 0.021$$

$$L_t = \text{Panjang } tube \text{ (m)} = 0.75$$

$$R_e = \text{Reynold Number} = 20877.63$$

$$P_r = \text{Prandtl Number} = 5.05$$

Sehingga :

$$h_t = \text{Koefisien perpindahan panas pada } tube \left( \frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right) = 3370.23$$

Setelah di lakukan perhitungan pada bagian *tube side* maka telah didapatkan jumlah *tube*, dimensi ukuran, serta koefisien perpindahan panas yang terjadi pada bagian *tube heat exchanger*.

### 4.6.5 *Shell Side Pada Kondensor*

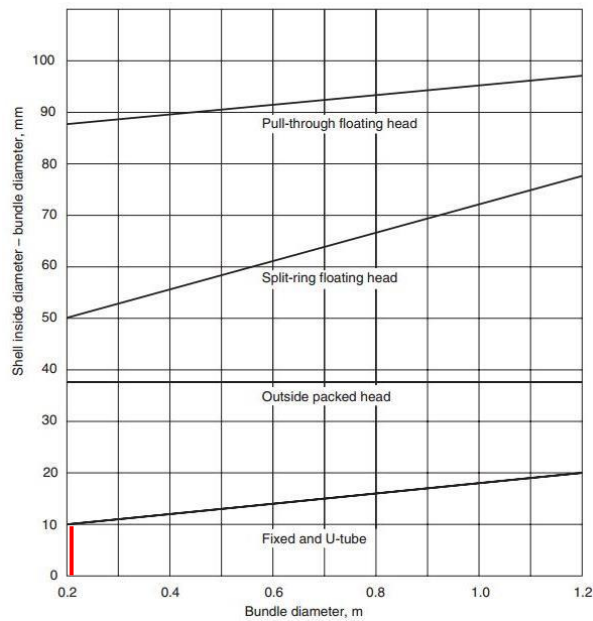
#### 4.6.5.1 Diameter *Shell*

$$D_s = D_b + BDC$$

Keterangan :

$$D_b = \text{Diameter } bundle \text{ (m)} = 0.068$$

$$BDC = \text{Bundle Diameter Clearance (m)} = 0.05$$



Gambar 4.9 Shell-bundle Clearance

Sehingga:

$$D_s = \text{Diameter Shell (m)} = 0.118$$

Pada gambar 4.9 merupakan kurva untuk penentuan *clearance* pada *shell* sehingga dapat diketahui diameter yang harus direncanakan pada *shell*.

#### 4.6.5.2 Baffle Spacing

Fungsi dari *Baffle* yaitu untuk meningkatkan kecepatan fluida dengan mengalihkan aliran melintasi *tube bundle* untuk mendapat koefisien transfer yang lebih tinggi. *Baffle* memerlukan jarak antara satu sama lain, disebut sebagai *baffle-spacing*. Untuk jarak *baffle* berada pada rentang 0,2 hingga 1 kali dari diameter *inside shell*.

Keterangan:

$$B_s = (0.2 - 1.0) \times \text{Diameter Shell}$$

$$B_s = 0.4 \times D_s = 0.047$$

#### 4.6.5.3 Cross Flow Area

$$A_s = \frac{(P_t - d_0) \times D_s \times B_s}{P_t}$$

Keterangan :

$$P_t = \text{Tube Pitch (m)} = 0.0318$$

$$d_0 = \text{Diameter luar tube (m)} = 0.0254$$

$$D_s = \text{Diameter Shell (m)} = 0.118$$

$$B_s = \text{Jarak Baffle (m)} = 0.047$$

Sehingga :

$$A_s = \text{Area Crossflow (m}^2\text{)} = 0.0011$$

#### 4.6.5.4 Mass Velocity Pada Shell

$$G_s = \frac{\dot{m}_f}{A_s}$$

Keterangan :

$$\dot{m}_f = \text{Laju Aliran massa uap air laut } \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 0.0093$$

$$A_s = \text{Area Crossflow (m}^2\text{)} = 0.0011$$

Sehingga :

$$G_s = \text{Mass Velocity Shell Side } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}\right) = 8.46$$

Perhitungan diatas merupakan penentuan kecepatan massa uap pada bagian *shell*, selanjutnya digunakan pada perhitungan reynold number pada bagian *shell*.

#### 4.6.5.5 Equivalent Diameter Pada Shell

Untuk jenis square pitch arrangement :

$$d_e = \frac{1.27}{d_0} (P_t^2 - 0.785d_0^2)$$

Keterangan :

$$d_0 = \text{Diameter Shell (m)} = 0.0254$$

$$P_t = \text{Tube Pitch (m)} = 0.0318$$

Sehingga :

$$d_e = \text{Shell Equivalent Diameter (m)} = 0.025$$

#### 4.6.5.6 Reynold Number

$$R_e = \frac{d_e \times G_s}{\mu_u}$$

Keterangan :

$$d_e = \text{Shell Equivalent Diameter (m)} = 0.025$$

$$G_s = \text{Mass Velocity Shell Side } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}\right) = 8.46$$

$$\mu_u = \text{Viskositas uap air laut } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}\right) = 0.000404$$

Sehingga :

$$R_e = \text{Reynold Number} = 523.52$$

Pada perhitungan diatas, nilai dari viskositas uap air laut ( $\mu_u$ ) ditentukan dari tabel *physical properties* untuk *saturated water* pada lampiran 1.

#### 4.6.5.7 Prandtl Number

$$P_r = \frac{C_u \times \mu_u}{k_f}$$

Keterangan :

$$C_u = \text{Kalor jenis uap air laut} \left( \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \right) = 2010$$

$$\mu_u = \text{Viskositas uap air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right) = 0.000404$$

$$k_f = \text{Konduktifitas termal uap air laut} \left( \frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right) = 0.663$$

Sehingga :

$$P_r = \text{Prandtl Number} = 1.22$$

#### 4.6.5.8 Nusselt Number

$$N_u = J_h \times (R_e P_r)^{1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Keterangan :

$$J_h = \text{Heat transfer factor} = 0.29$$

$$R_e = \text{Reynold Number} = 523.52$$

$$P_r = \text{Prandtl Number} = 1.22$$

$$\mu_u = \text{Viskositas uap air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right) = 0.000404$$

$$\mu_w = \text{Viskositas air laut pada suhu dinding shell} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right) = 0.000572$$

$$T_w = \frac{T_{ci} + T_{co} + T_{hi} + T_{ho}}{4} = 43.75$$

Dimana :

$$T_{ci} = \text{Temperatur awal air laut} (\text{°C}) = 30$$

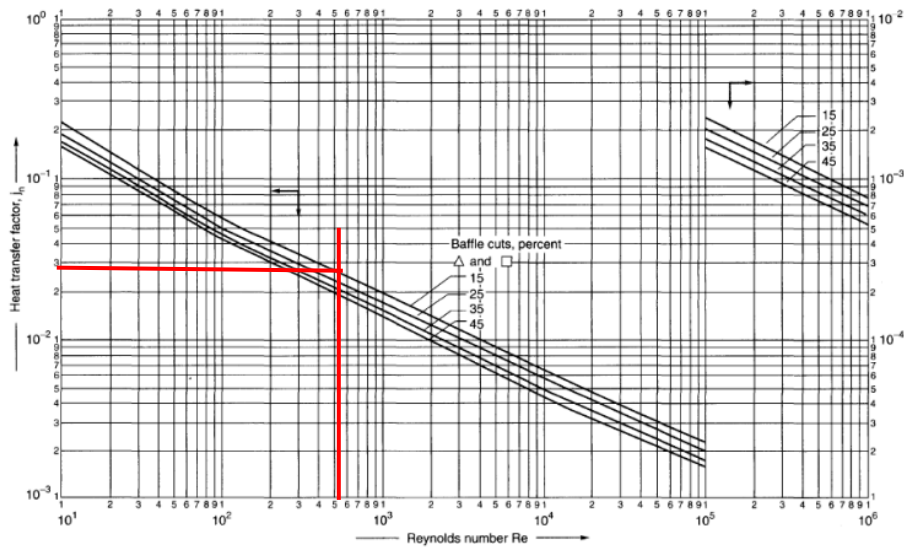
$$T_{co} = \text{Temperatur akhir air laut} (\text{°C}) = 40$$

$$T_{hi} = \text{Temperatur awal uap air} (\text{°C}) = 60$$

$$T_{ho} = \text{Temperatur akhir uap air} (\text{°C}) = 45$$

Pada gambar 4.10 merupakan kurva untuk faktor heat transfer dengan reynold number dan persentase dari baffle cuts sebesar 15%, sehingga didapatkan nilai dari  $J_h$  yang digunakan untuk perhitungan dari nusselt number ( $N_u$ ).





Gambar 4.10 *Shell-side heat transfer factors*

Sehingga :

$$N_u = \text{Nusselt Number} = 2.38$$

Setelah nilai nusselt number didapatkan maka dapat dilakukan perhitungan pada koefisien perpindahan panas untuk bagian *shell* dari *heat exchanger*.

#### 4.6.5.9 Koefisien Perpindahan Panas Pada Shell

$$h_s = \frac{N_u \times k_f}{d_e}$$

Keterangan :

$$N_u = \text{Nusselt Number} = 2.38$$

$$k_f = \text{Konduktifitas termal uap air laut} \left( \frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right) = 0.663$$

$$d_e = \text{Shell Equivalent Diameter (m)} = 0.025$$

Sehingga :

$$h_s = \text{Koefisien perpindahan panas pada shell} \left( \frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right) = 63.12$$

Setelah di lakukan perhitungan pada bagian *shell side* maka telah dimensi ukuran dari diameter *shell side*, serta koefisien perpindahan panas yang terjadi pada bagian *tube heat exchanger*.

#### 4.6.6 *Fouling Factor*

Penentuan nilai Fouling Factor berdasarkan ketentuan ( $R_d$ , required)

Sehingga diambil nilai :

$$\text{Fouling factor untuk tube side} = 0.0003 \left( \frac{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$$

Fouling factor untuk shell side =  $0.00067 \left( \frac{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{W} \right)$

Table 12.2. Fouling factors (coefficients), typical values

Fluid	Coefficient ( $W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )	Factor (resistance) ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W$ )
River water	3000–12.000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

Gambar 4.11 Typical values of Fouling factor coefficients

Fouling factor yang merupakan hambatan perpindahan panas karena adanya endapan didalam heat exchanger, maka pada gambar 4.11 merupakan koefisien dari endapan yang ditimbulkan dari fluida air laut akan berkisar antara 1000 – 3000  $\left( \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right)$ .

#### 4.6.7 Clean Overall Heat Transfer Coefficient ( $U_c$ )

$$U_c = \frac{h_t \times h_s}{h_t + h_s}$$

Keterangan :

$$h_t = \text{Koefisien perpindahan panas pada tube} \left( \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) = 3370.23$$

$$h_s = \text{Koefisien perpindahan panas pada shell} \left( \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) = 63.12$$

Sehingga :

$$U_c = \text{Clean Overall Heat Transfer Coefficient} \left( \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) = 61.96$$

#### 4.6.8 Design Overall Heat Transfer Coefficient ( $U$ )

$$U = \frac{Q}{A \cdot DT_m}$$

Keterangan :

$$Q_f = \text{Jumlah kalor penguapan air laut} \left( \frac{kJ}{s} \right) = 21.75$$

$$A = \text{Provisional Area} = 0.0068$$

$$DT_m = \text{Mean Temperature Difference (K)} = 15.98$$

Sehingga :

$$U = \text{Design Overall Heat Transfer Coefficient} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right) = 197.72$$

Fouling Factor

$$R_d = \frac{U_c - U}{U_c \cdot U}$$

$$U_c = \text{Clean Overall Heat Transfer Coefficient} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right) = 61.96$$

$$U = \text{Design Overall Heat Transfer Coefficient} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right) = 197.72$$

Sehingga :

$$R_d = 0.011 \left( \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$$

#### 4.6.9 Pressure Drop (Tube)

$$\Delta p_t = \left( 4f_t \frac{LN_p}{d_i} + 4N_p \right) \frac{\rho_k v_k^2}{2}$$

Keterangan :

$$f_t = (1.58 \times \ln Re_t - 3.28)^{-2}$$

$$Re_t = \text{Reynold Number} = 20877.63$$

$$f_t = \text{Friction factor} = 0.0065$$

$$L = \text{Panjang tube (m)} = 0.75$$

$$N_p = \text{Jumlah pass} = 1$$

$$d_i = \text{Diameter dalam tube (m)} = 0.021$$

$$\rho_k = \text{Massa jenis fluida pada tube} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1025$$

$$v_k = \text{Kecepatan fluida di dalam tube} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0.774$$

Sehingga :

$$\Delta p_t = \text{Pressure Drop pada tube} = 1513.2 \text{ Pa} = 1.513 \text{ kPa}$$

Pada perhitungan diatas maka didapatkan pressure drop pada bagian tube sebesar 1.513 kPa, hal ini berasal dari endapan fluida sehingga akan menimbulkan perpindahan panas akan tidak maksimal.

#### 4.6.10 Pressure Drop (Shell)

$$\Delta p_s = \frac{f_s G_s^2 (N_b + 1) D_s}{2 \rho_s d_e \phi_s}$$

Keterangan :

$$f_s = \exp(0.576 - 0.19 \ln Re_s)$$

$$Re_s = \text{Reynold Number} = 523.52$$

$$f_s = \text{Friction factor} = 0.54$$

$$G_s = \text{Mass Velocity Shell Side} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) = 8.46$$

$$N_b = \text{Jumlah Baffle} = 10$$

$$D_s = \text{Diameter Shell (m)} = 0.118$$

$$\rho_s = \text{Massa jenis fluida pada shell} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1.025$$

$$d_e = \text{Shell Equivalent Diameter (m)} = 0.025$$

$\varphi_s$  = Rasio Viskositas

$$\varphi_s = \left( \frac{\mu}{\mu_f} \right)^{0.14} = \left( \frac{0.000404}{0.000572} \right)^{0.14} = 0.95$$

Sehingga :

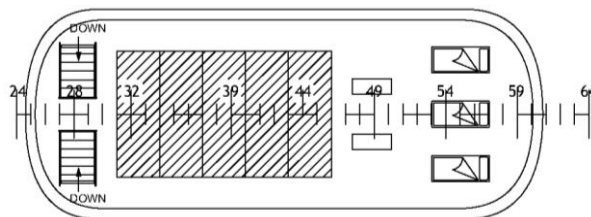
$$\Delta p_s = \text{Pressure Drop pada shell} = 1.03 \text{ Pa} = 0.001 \text{ kPa}$$

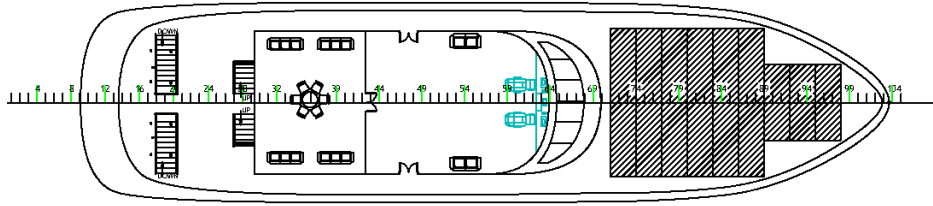
Pada perhitungan diatas maka didapatkan pressure drop pada bagian *shell* sebesar 0.001 kPa, penurunan tekanan ini semakin besar bergantung pada *fouling factor* pada *heat exchanger* karena digunakan terlalu lama.

#### 4.7 Perencanaan Photovoltaic Array

Pada perencanaan sistem *photovoltaic array* yang akan diterapkan untuk *freshwater generator* sehingga dapat memenuhi energi listrik untuk beberapa kali proses evaporasi selama satu hari kapal berlayar.

Sistem *photovoltaic array* yang diterapkan pada desalinasi air laut ini terdiri dari beberapa peralatan utama yang terhubung dengan panel surya, yaitu *charger controller*, dan *battery* yang nantinya terhubung pada *electric element heater evaporator*. Maka peletakan PV pada kapal perlu disesuaikan dengan kebutuhan daya peralatan, namun karena terbatasnya ruang pada deck kapal menyebabkan perencanaan PV yang akan dipasang menjadi terbatas.





Gambar 4.12 Sun deck dan Navigation deck kapal Yacht

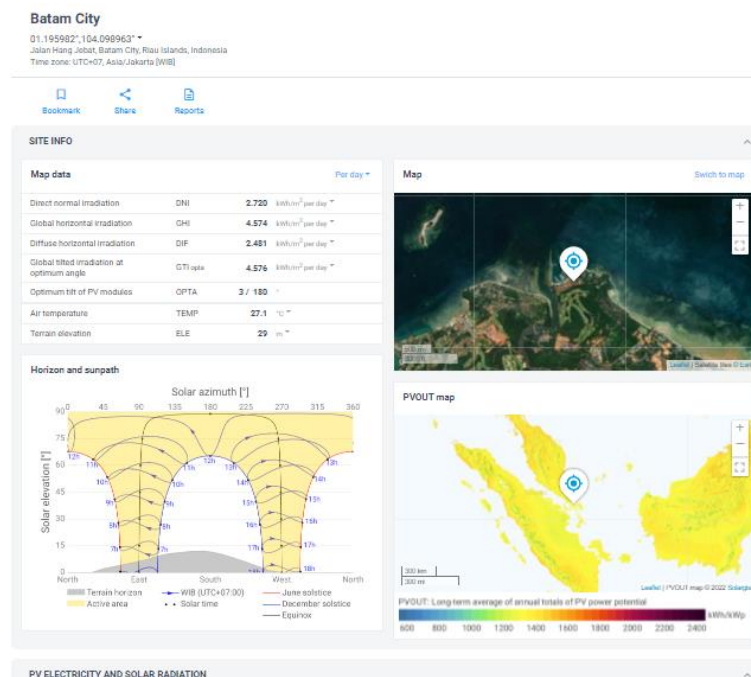
Pada gambar 4.12 merupakan perencanaan instalasi PV array di kapal *Yacht* akan dibagi menjadi 2 area, yaitu sun deck dan navigation deck. Luas area pada masing-masing deck mempengaruhi jumlah PV yang akan dipasang nantinya, berikut ini data ukuran untuk area pemasangan PV.

- a. Luas Area pada Navigation Deck
  - Panjang area 1 terletak pada frame 71 – 98 = 13.5 meter
  - Lebar area 1 pada navigation deck = 9.6 meter
  - Maka, luas area 1 yang didapatkan =  $108 \text{ m}^2$
- b. Luas Area pada Sun Deck
  - Panjang area 2 terletak pada frame 31 – 46 = 7.5 meter
  - Lebar area 2 pada sun deck = 4.8 meter
  - Maka, luas area 2 yang didapatkan =  $36 \text{ m}^2$

Setelah dilakukan perencanaan luas area yang akan dipasang PV modul, maka telah didapatkan jumlah PV modul yang dapat dipasang sebanyak 40 *photovoltaic module*

#### 4.7.1 Global Solar Irradiation

Pada rute pelayaran kapal yacht 58 meter “Kirei Cruise” yaitu di Kepulauan Riau, yaitu Pelabuhan Nongsa Point Marina, Max Dive Centre Nirwana Gardens, dan White Sand Island, maka berikut ini data mengenai *global solar irradiation* dari rute pelayaran kapal.



Gambar 4.13 Data *Global Solar Irradiation* melalui *Global Solar Atlas*

Untuk lama jam penyinaran matahari akan disesuaikan dengan lama pelayaran, sehingga untuk lama penyinaran akan diestimasikan selama 8 jam yaitu dimulai pada pukul 08.00 hingga 16.00. Selain itu perhitungan dilanjutkan dengan memasukkan beberapa parameter seperti perencanaan output daya yang ingin dihasilkan, sudut kemiringan pemasangan panel yang tertera pada gambar 4.13 serta didapatkan perkiraan irradiansi matahari setiap jam sepanjang tahun pada daerah Batam.

Tabel 4.10 Data untuk Input Perhitungan Perencanaan PV

Data	Detail
Project	PV array Kirei Cruise Yacht
Location	Kepulauan Nongsa, Batam, Kep. Riau
Time zone	UTC+07, Asia/Jakarta [WIB]
Elevation	29 m
System size	26 kWp
Tilt of PV panels	10°
Azimuth of PV panels	180°
Direct normal irradiation (DNI)	2.820 kWh/m <sup>2</sup> / day
Global horizontal irradiation (GHI)	4.574 kWh/m <sup>2</sup> / day
Diffuse horizontal irradiation (DIF)	2.481 kWh/m <sup>2</sup> / day
Global tilted irradiation at optimum angle	4.576 kWh/m <sup>2</sup> / day
Air Temperature	27,1 °C
Optimum tilt of PV modules	3°
Terrain elevation	29 m

Tabel 4.11 Tabel Rerata Bulanan Radiasi Matahari Batam (Global Solar Atlas, 2022)

Bulan	Monthly DNI (kWh/m <sup>2</sup> )	Daily DNI (kWh/m <sup>2</sup> )
Jan	87,4 / bulan	2,82 / day
Feb	105,1 / bulan	3,75 / day
Mar	117,4 / bulan	3,79 / day
Apr	93,8 / bulan	3,13 / day
May	82,6 / bulan	2,66 / day
Jun	75,9 / bulan	2,53 / day
Jul	79,1 / bulan	2,55 / day
Aug	74,1 / bulan	2,47 / day
Sep	73,9 / bulan	2,38 / day
Oct	74,3 / bulan	2,48 / day
Nov	73,6 / bulan	2,37 / day
Dec	72,5 / bulan	2,42 / day

Dari tabel 4.10 telah didapatkan beberapa data mengenai irradiansi sinar matahari yaitu DNI, GHI, serta DIF yang merupakan rata-rata harian selama tahun 2022. Kemudian pada tabel 4.11 ditampilkan data irradiansi normal secara langsung (DNI) secara bulanan dan harian selama tahun 2022, dengan data irradiansi paling rendah berada pada bulan November yaitu sebesar 2.37 kWh/m<sup>2</sup> untuk harian. Serta data irradiansi tertinggi berada pada bulan Maret yaitu sebesar 3.79 kWh/m<sup>2</sup> untuk harian.

#### 4.7.2 Perencanaan Daya dari PV

Perhitungan sistem PV dilakukan berdasarkan *Product Guide* peralatan untuk mengetahui daya maksimum yang dihasilkan PV (tanpa *losses*), efisiensi PV, daya puncak (kW *Peak*) beserta penambahan akibat rugi-rugi sistem, jumlah PV yang dibutuhkan, kebutuhan energi baterai untuk sistem, dan memilih *charger controller* sesuai daya yang dihasilkan. Berikut ini data spesifikasi

modul PV pada tabel 4.12 yang berasal dari manufacture Canadian Solar dengan rate daya 660 Wp dengan efisiensi 21.2% pada tipe sel mono-crystalline, pada voltase open circuit sebesar 45.4V dan arus short circuit sebesar 18.47A.

Tabel 4.12 Data Spesifikasi Modul PV yang dipilih

Data Specification	Detail
Manufacturer	Canadian Solar
Series	BiHiKu7 CS7N-660
Rated Power	660 Wp
Efficiency	21.2 %
Voltage at Maximum Power VMPP	38.3 V
Current at Maximum Power IMPP	17.24 A
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	45.4 V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	18.47 A
Maximum System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)
Operating Temperature Range	-40°C~85°C
Dimension	2384 × 1303 × 35 mm
Weight	37.9 kg
Cell Type	Mono-Crystalline
Cell Arrangement	132 (2 × (11 × 6))
Max. Series Fuse Rating	35 A
Application Classification	Class A
Power Tolerance	0 ~ 10 W

Dari data modul PV diketahui data dimensi modul, sehingga dapat ditentukan jumlah unit PV yang dapat dipasang pada *deck* kapal yacht.

$$PV_{area} = PV_{length} \times PV_{width}$$

Keterangan :

$$PV_{length} = \text{Panjang dimensi PV (m)} = 2.384$$

$$PV_{width} = \text{Lebar dimensi PV (m)} = 1.303$$

Sehingga :

$$PV_{area} = \text{Luas modul PV (m}^2\text{)} = 3.106$$

#### 4.7.2.1 Daya Maksimum Photovoltaic Module

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp}$$

Keterangan :

$$V_{mp} = \text{Voltage at Maximum Power (V)} = 38.3$$

$$I_{mp} = \text{Current at Maximum Power (A)} = 17.24$$

Sehingga :

$$P_{max} = \text{Daya Maksimum PV modul (Wp)} = 660 \text{ Wp}$$

#### 4.7.2.2 Daya Puncak

Daya produksi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh panel surya menyesuaikan kondisi sinar radiasi matahari atau DNI (*Direct Normal Irradiation*) yang ada pada Batam, Kepulauan Riau. Berikut ini persamaannya,

$$P_{Puncak (bef)} = E_{Daily} + \left( \frac{E_{Daily}}{DNI_{day}} \right)$$

Keterangan :

$$E_{Daily} = \text{Kebutuhan Energi Harian} = 26 \text{ kWh}$$

$$DNI_{day} = \text{Direct Normal Irradiation Harian} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) = 2.37$$

Sehingga :

$$P_{Puncak (bef)} = \text{Daya Puncak dari sistem sebelum losses (kWp)} = 36.95$$

Selanjutnya diperhitungkan juga rugi-rugi (*losses*) pada sistem PV array sebesar 15% ~ 25% akibat kenaikan temperatur, penumpukan debu, ataupun faktor lain yang mempengaruhi turunnya kinerja modul, maka diambil nilai 15% pada perhitungan ini sebagai berikut,

$$P_{Puncak (aft)} = (1 + 15\%) \times P_{Puncak (bef)}$$

Sehingga :

$$P_{Puncak (aft)} = \text{Daya Puncak dari sistem setelah losses (kWp)} = 42.49$$

Berikut ini ditampilkan pada tabel 4.13 adalah perhitungan untuk setiap bulan selama 1 tahun di area pelayaran kapal *yacht*, data dibawah ini digunakan untuk penentuan jumlah unit PV dan baterai,

Tabel 4.13 Daya Puncak PV Array

Bulan	DNI (kWh/m <sup>2</sup> )	PV Modul		$P_{Puncak (bef)}$ (kWp)	$P_{Puncak (aft)}$ (kWp)
		Pmax (Wp)	Eff. PV (%)		
Jan	2,82 / day	660	21.2	35,22	40,51
Feb	3,75 / day	660	21.2	32,93	37,87
Mar	3,79 / day	660	21.2	32,87	37,80
Apr	3,13 / day	660	21.2	34,32	39,46
May	2,66 / day	660	21.2	35,76	41,12
Jun	2,53 / day	660	21.2	36,28	41,72
Jul	2,55 / day	660	21.2	36,19	41,62
Aug	2,47 / day	660	21.2	36,53	42,01
Sep	2,38 / day	660	21.2	36,91	42,44
Oct	2,48 / day	660	21.2	36,50	41,97
Nov	2,37 / day	660	21.2	36,95	42,49
Dec	2,42 / day	660	21.2	36,76	42,27



#### 4.7.2.3 Perhitungan Luas PV Array

$$A_{PV\ ARRAY} = \frac{P_{Puncak\ (aft)}}{\eta_{PV}}$$

Keterangan :

Karena pada bulan November merupakan Direct Normal Irradiation (DNI) bernilai paling rendah, maka penentuan luas area PV Array akan mengikuti perhitungan pada bulan November,

$$P_{Puncak\ (aft)} = \text{Daya Puncak dari sistem setelah losses (kWp)} = 42.49$$

$$\eta_{PV} = \text{Nilai efisiensi PV module} = 0.212$$

Sehingga :

$$A_{PV\ ARRAY} = \text{Luas Area Efektif untuk PV array} = 199.9\ m^2$$

#### 4.7.2.4 Perencanaan Jumlah Unit Photovoltaic Module

$$n_{unit\ PV} = \frac{P_{Puncak\ (aft)}}{\eta_{PV} \times P_{max} \times t_{penyinaran}}$$

Keterangan :

$$P_{Puncak\ (aft)} = \text{Daya Puncak dari sistem setelah losses (Wp)} = 42490$$

$$\eta_{PV} = \text{Nilai efisiensi PV module} = 21.2\ \%$$

$$P_{max} = \text{Daya maksimum PV modul (Wp)} = 660\ W$$

$$t_{penyinaran} = \text{Lama penyinaran PV (jam)} = 8$$

Sehingga :

$$n_{unit\ PV} = 37.86\ \text{unit} = 38\ \text{unit PV modul minimal harus terpasang}$$

Sedangkan jumlah PV yang telah direncanakan diawal, diketahui sebanyak 40 unit photovoltaic module yang dapat dipasang pada deck kapal yacht.

#### 4.7.2.5 Daya Charging Battery

$$P_{Charge\ Batt} = (1 + 15\%) \times (DNI_{hours} \times \eta_{PV} \times n_{PV\ Unit})$$

Keterangan :

$$n_{PV\ Unit} = \text{Jumlah Unit Photovoltaic Module} = 40\ \text{Unit PV}$$

$$\eta_{PV} = \text{Nilai efisiensi PV module} = 21.2\ \%$$

$$DNI_{hours} = \text{Direct Normal Irradiation pada Jam tertentu} \left( \frac{Wh}{m^2} \right) = 209.68$$

Sehingga :

$$P_{Charge\ Batt} = \text{Daya Pengisian Baterai pada Jam Penyinaran (Wh)} = 2044.77$$

Contoh perhitungan diatas merupakan salah satu kondisi saat jam penyinaran 8 pagi, sehingga selanjutnya perlu dihitung daya pada jam 9 hingga jam 16. Kemudian daya dari jam 8 hingga jam 16 dijumlahkan untuk mengetahui daya total yang akan disimpan untuk pengisian pada baterai harian. Dari tabel 4.14 dan tabel 4.15 adalah data rata-rata irradiansi normal dari matahari untuk setiap jam selama bulan Januari hingga Desember. Kemudian data perhitungan pada tabel 4.16 dan tabel 4.17 merupakan hasil rata-rata produksi daya listrik yang akan disimpan pada proses pengisian baterai, data dapat berubah tergantung pada kondisi radiasi matahari yang sebenarnya.

Tabel 4.14 Data *Direct Normal Irradiance* / Jam Penyinaran tertentu (Jan – Jun)

Sun Time	DNI Jan	DNI Feb	DNI Mar	DNI Apr	DNI Mar	DNI Jun
8 – 9	209,68	263,07	259,19	219,43	209,94	198,73
9 – 10	310,29	399,89	361,19	335,07	296,87	283,00
10 – 11	389,19	499,64	440,39	432,93	357,65	344,97
11 – 12	433,13	551,36	484,32	467,07	377,71	354,97
12 – 13	431,77	558,57	480,68	435,77	350,29	342,83
13 – 14	390,35	522,18	444,97	373,90	306,42	305,20
14 – 15	330,13	447,29	383,52	314,10	256,16	260,53
15 – 16	243,35	335,82	310,35	243,07	191,71	196,27

Tabel 4.15 Data *Direct Normal Irradiance* / Jam Penyinaran tertentu (Jul – Dec)

Sun Time	DNI Jul	DNI Aug	DNI Sep	DNI Oct	DNI Nov	DNI Dec
8 – 9	192,48	215,23	261,32	238,57	234,32	222,03
9 – 10	278,61	308,23	331,61	346,87	326,03	316,40
10 – 11	337,10	371,73	394,03	424,77	397,55	389,97
11 – 12	354,16	387,90	404,06	443,77	415,87	417,47
12 – 13	345,74	364,40	378,06	421,13	390,39	399,57
13 – 14	314,68	333,37	332,45	367,47	333,03	352,10
14 – 15	268,32	292,63	296,55	300,93	266,23	281,50
15 – 16	198,06	224,03	242,90	222,27	183,97	196,20

Tabel 4.16 Daya untuk Charging Baterai pada Jam tertentu (Jan – Jun)

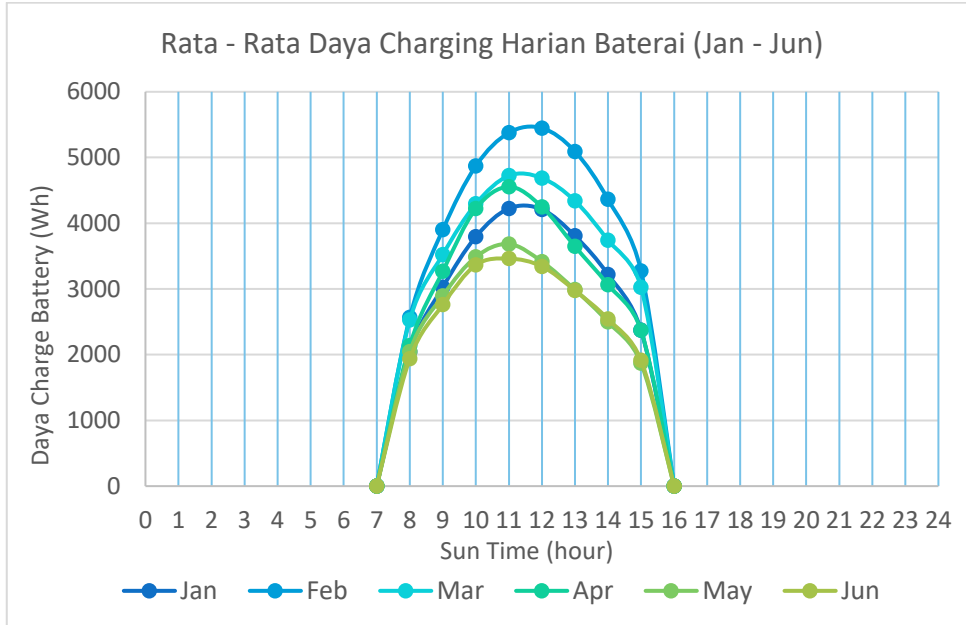
Sun Time	Jan (Wh)	Feb (Wh)	Mar (Wh)	Apr (Wh)	May (Wh)	Jun (Wh)
8 – 9	2044,77	2565,47	2527,66	2139,91	2047,29	1938,05
9 – 10	3025,95	3899,76	3522,36	3267,57	2895,09	2759,82
10 – 11	3795,42	4872,52	4294,65	4221,97	3487,76	3364,11
11 – 12	4223,87	5376,83	4723,11	4554,83	3683,42	3461,63
12 – 13	4210,66	5447,19	4687,57	4249,60	3416,03	3343,31
13 – 14	3806,74	5092,29	4339,33	3646,27	2988,20	2976,31
14 – 15	3219,42	4361,93	3740,05	3063,10	2498,08	2540,72
15 – 16	2373,20	3274,93	3026,58	2370,39	1869,55	1913,99
<b>Total (Wh)</b>	26700,03	34890,91	30861,31	27513,64	22885,43	22297,95
<b>Total (kWh)</b>	26,70	34,89	30,86	27,51	22,89	22,30

Tabel 4.17 Daya untuk Charging Baterai pada Jam tertentu (Jul – Dec)

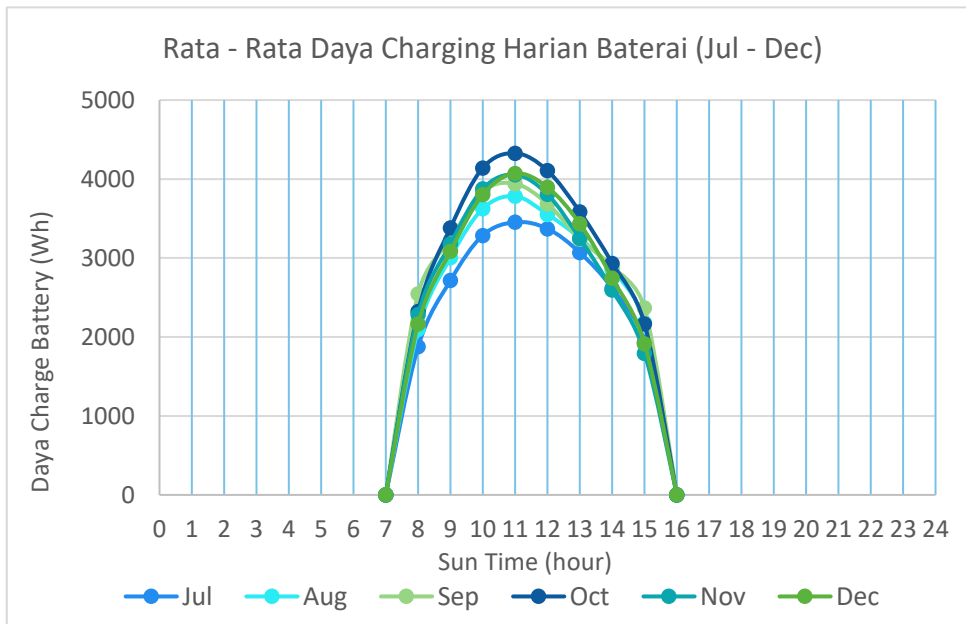
Sun Time	Jul (Wh)	Aug (Wh)	Sep (Wh)	Oct (Wh)	Nov (Wh)	Dec (Wh)
8 – 9	1877,10	2098,96	2548,42	2326,50	2285,11	2165,27
9 – 10	2717,03	3005,89	3233,89	3382,64	3179,47	3085,53
10 – 11	3287,37	3625,14	3842,60	4142,32	3876,89	3802,95
11 – 12	3453,78	3782,80	3940,44	4327,61	4055,57	4071,13
12 – 13	3371,68	3553,63	3686,89	4106,89	3807,05	3896,57

<b>13 – 14</b>	3068,73	3250,99	3242,07	3583,53	3247,73	3433,68
<b>14 – 15</b>	2616,68	2853,76	2891,94	2934,70	2596,23	2745,19
<b>15 – 16</b>	1931,53	2184,77	2368,79	2167,54	1794,05	1913,34
<b>Total (Wh)</b>	22323,9	24355,95	25755,03	26971,76	24842,12	25113,68
<b>Total (kWh)</b>	22,32	24,36	25,76	26,97	24,84	25,11

Melalui data pada tabel 4.16 dan 4.17 dapat ditampilkan kurva pengisian baterai pada jam tertentu pada setiap bulan sepanjang tahun 2022, yaitu sebagai berikut



Gambar 4.14 Kurva Pengisian Baterai pada Januari - Juni



Gambar 4.15 Kurva Pengisian Baterai pada Juli – Desember

Pada gambar 4.14 dan gambar 4.15 merupakan kurva pengisian baterai selama 8 jam penyinaran pada PV Array, maka data daya total yang dihasilkan secara rata-rata setiap hari untuk bulan tertentu. Pada bulan Januari didapat rata-rata 26,70 kWh/hari, bulan Februari rata-rata

sebesar 34,89 kWh/hari, bulan Maret rata-rata sebesar 30,86 kWh/hari, bulan April rata-rata sebesar 27,51 kWh/hari, bulan Mei rata-rata sebesar 22,89 kWh/hari, bulan Juni rata-rata sebesar 22,30 kWh/hari, bulan Juli rata-rata sebesar 22,32 kWh/hari, bulan Agustus rata-rata sebesar 24,36 kWh/hari, bulan September rata-rata sebesar 25,76 kWh/hari, bulan Oktober rata-rata sebesar 26,97 kWh/hari, bulan November rata-rata sebesar 24,84 kWh/hari, dan bulan Desember rata-rata sebesar 25,11 kWh/hari.

### 4.7.3 Perencanaan Baterai

Tabel 4.18 Data Spesifikasi Baterai untuk Sistem PV Array

Data Specification	Detail
Manufacturer	PowMr
Series	SPW-100AH 48V
Cell Type	LiFePO <sub>4</sub>
Capacity	4.8 kWh
Normal Discharging Current	50 A
Max Discharging Current	100 A
Voltage Range	37.5V ~ 54.75 V
Standard Voltage	48 VDC
Max Charging Current	100 A
Max Charging Voltage	54.75 V
Charge Voltage	14.4 V
Storage Temperature	-25°C~65°C
Cycle Life	6000 cycles (90% DOD)
Connection Method	Parallel (Max 15)
Dimensions	650 x 480 x 190 mm
Weight	49 kg

Dari tabel 4.18 telah ditentukan spesifikasi baterai dengan kapasitas 4.8 kWh dengan siklus hidup baterai sebesar 6000 siklus pada 90% DOD (*Depth of Discharge*). Pada perencanaan kebutuhan baterai diperlukan *spare* daya agar konsumsi daya pada baterai tidak 100% habis dan umur baterai tetap terjaga lama, maka dari itu *spare* daya yang akan digunakan pada perhitungan yaitu sebesar (1,5 - 2 kali) dari daya harian.

$$n_{batt} = \frac{P_{keb.batt}}{V_{batt} \times I_{batt}}$$

Keterangan :

$$P_{PV\ Array} = \text{Daya total harian dari Beban (kWh)} = 26 \text{ kWh}$$

$$P_{keb.batt} = \text{Daya baterai yang dibutuhkan (kWh)} = 26 \times 1.8 = 48 \text{ kWh}$$

$$V_{batt} = \text{Spesifikasi Tegangan Baterai (V)} = 48$$

$$I_{batt} = \text{Spesifikasi Kapasitas Baterai (Ah)} = 100$$

Sehingga :

$$n_{batt} = \text{Jumlah unit Baterai} = 10 \text{ unit}$$

Maka akan dipilih baterai dengan kapasitas 100 AH yang dirangkai secara paralel pada 2 rangkaian terpisah masing-masing 5 buah baterai.

#### 4.7.4 Perencanaan *Solar Charge Controller*

Dari spesifikasi *photovoltaic module* yang telah dipilih, dapat diketahui jika besarnya tegangan open circuit dari panel adalah 45 Volt, kemudian *photovoltaic module* akan dirangkai secara paralel dan seri sehingga tegangan open circuit dari PV akan bernilai sebagai berikut,

$$n_{unit\ PV} = 37.86 \text{ unit} = 40 \text{ unit PV modul yang terpasang}$$

$$I_{SC} = \text{Short Circuit Current (A)} = 18$$

$$V_{OC} = \text{Open Circuit Voltage (V)} = 45$$

$$n_{S\ PV} = \text{Modul PV yang dipasang secara seri} = 4 \text{ Unit PV}$$

$$n_{P\ PV} = \text{Modul PV yang dipasang secara parallel} = 2 \text{ Set 5 rangkaian Seri}$$

Perencanaan rangkaian PV module :

$$V_{PV\ SERI} = 45 \times 4 \text{ modul} = 180V$$

$$I_{PV\ PARALLEL} = 18 \times 5 \text{ rangkaian seri PV} = 90 \text{ A, maka 2 Set Array} = 180 \text{ A}$$

Selanjutnya dipilih spesifikasi *charge controller* sebagai berikut :

Tabel 4.19 Data Spesifikasi *Charge Controller*

Data Specification	Detail
Manufacturer	EPEVER
Series	Tracer 10420AN
Nominal System Voltage	12/24/36/48VDC or Auto
Battery Input Volt. Range	8V ~ 68V
Rated Charge Current	100 A
Max. PV Open Circuit Voltage	200 V
MPP Voltage Range	144 V
Dimensions	394 x 242 x 143 mm
Net Weight	7.4 kg
Storage Temperature	-30°C~80°C

Dari tabel 4.19 diketahui bahwa laju arus pengisian sebesar 100A dengan input maksimal untuk voltase open circuit pada PV mencapai 200V. Perhitungan selanjutnya yaitu penentuan jumlah Solar Charge Controller yang akan digunakan, menggunakan persamaan berikut ini

$$n_{scc} = \frac{I_{PV\ paralel}}{I_{scc}}$$

Keterangan :

$$I_{PV\ paralel} = \text{Arus PV array yang dirangkai secara paralel (A)} = 180$$

$$I_{scc} = \text{Arus charge controller (A)} = 100$$

Sehingga :

$$n_{scc} = \text{Jumlah unit charge controller} = 2 \text{ unit}$$

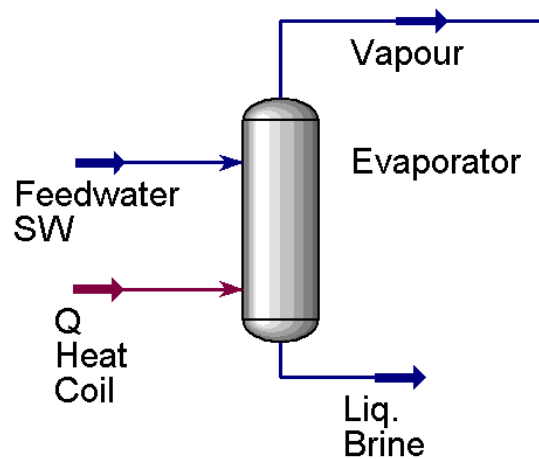
Sehingga pada untuk setiap rangkaian PV Array yang terdiri dari 20 PV modul akan masing-masing memiliki satu buah SCC untuk pengisian rangkaian baterai.

## 4.8 Simulasi *Software Aspen Hysys*

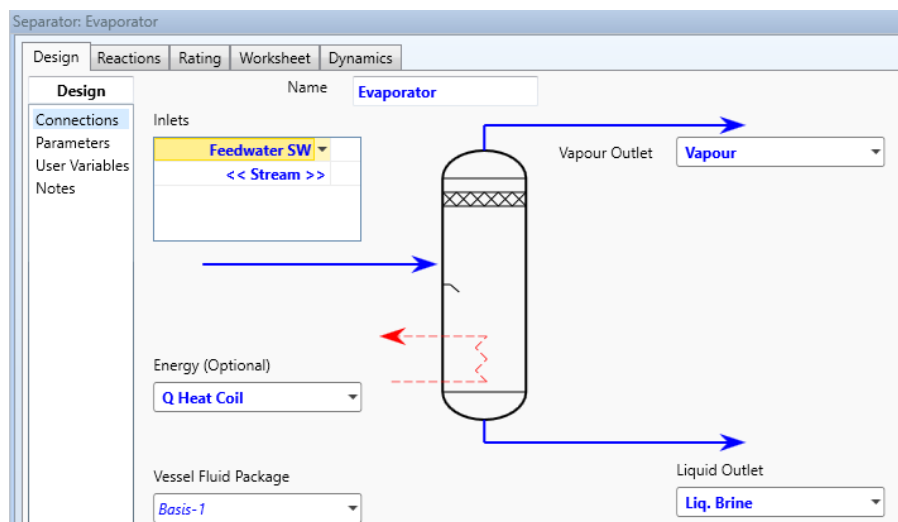
Dengan bantuan *software Aspen Hysys* ini dapat digunakan untuk menentukan berapa jumlah uap yang dihasilkan evaporator dan berapa jumlah air laut yang diperlukan kondensor sebagai pendingin. Tabel 4.20 dibawah ini berisi data yang diperlukan untuk menjalankan simulasi. Data-data tersebut telah didapatkan pada perhitungan manual sebelumnya.

Tabel 4.20 Data Persiapan Simulasi Evaporator

Evaporator			
<b>Seawater (feed)</b>		<b>Immersion Heater Coil</b>	
<b>Temperatur (in) °C</b>	30	Power	600W
<b>Temperatur (out) °C</b>	60	Voltage	48V DC
<b>Tekanan Masuk (kPa)</b>	101.325	Temp. Range	20 – 300 °C
<b>Tekanan Vakum (kPa)</b>	20	Jumlah	2 unit
<b>Laju aliran (Kg/h)</b>	33.33		



Gambar 4.16 Skema Aliran Fluida pada Evaporator



Gambar 4.17 Aliran Fluida pada Simulasi Evaporator

Gambar 4.16 dan 4.17 diatas merupakan skema evaporator dan menunjukkan arah aliran dari fluida. Setelah *properties* fluida telah didefinisikan, maka simulasi dapat dijalankan.

Berikut pada gambar 4.18 merupakan *worksheet* hasil dari simulasi pada evaporator melalui Aspen Hysys. Air laut yang dijadikan sebagai feed water berhasil diuapkan seluruhnya pada *mass flow* 33.33 kg/h dan membutuhkan *heat flow* sebesar 82490 kJ/h atau sebesar 22.914 kWh. Dengan mengasumsikan sistem yang dirancang bekerja secara ideal dimana 100% fluida berhasil diuapkan.

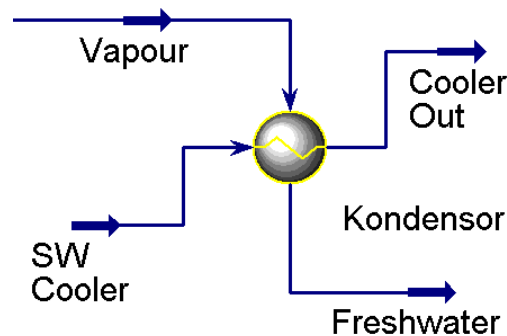
Separator: Evaporator					
Design Reactions Rating Worksheet Dynamics					
Worksheet	Name	Feedwater SW	Liq. Brine	Vapour	Q Heat Coil
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	1.0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	30.00	60.00	60.00	<empty>
Composition	Pressure [kPa]	101.3	20.00	20.00	<empty>
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	1.850	0.0000	1.850	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	33.33	0.0000	33.33	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3.340e-002	0.0000	3.340e-002	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.852e+005	-2.831e+005	-2.407e+005	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	56.65	63.52	190.9	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	-5.278e+005	-0.0000	-4.453e+005	8.249e+004

Gambar 4.18 *Worksheet* Hasil Simulasi Evaporator

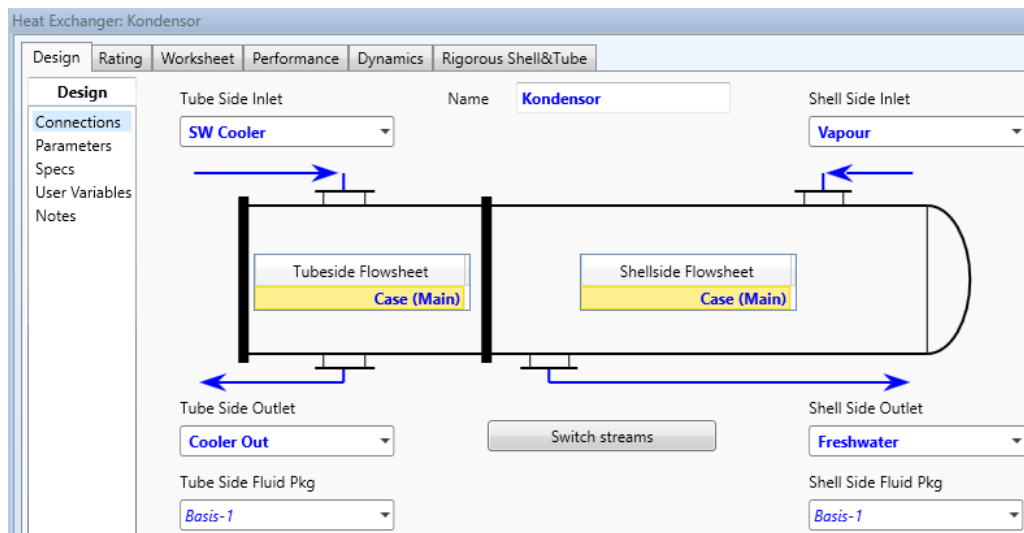
Simulasi juga dilakukan pada kondensor dengan pemilihan *equipment heat exchanger* pada Aspen hysys karena akan memanfaatkan air laut sebagai pendingin. Simulasi pada kondensor pada gambar 4.19 dan 4.20 menunjukkan skema aliran masuk berupa uap dari proses evaporasi yang akan keluar berupa air tawar hasil distilasi, kemudian uap akan didinginkan oleh air laut yang masuk pada bagian tube dari kondensor. Selain itu simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar laju aliran yang diperlukan sebagai pendingin uap pada evaporator. Dari tabel 4.21 merupakan data yang dipersiapkan sebelum melakukan simulasi, data ini telah dihitung pada perhitungan manual dan yang ingin dicari adalah kebutuhan laju aliran untuk seawater cooler sehingga dapat melakukan kondensasi pada uap.

Tabel 4.21 Data Persiapan Simulasi Kondensor

	Kondensor	
	Uap	Seawater Cooler
<b>Temperatur (in) °C</b>	60	30
<b>Temperatur (out) °C</b>	45	40
<b>Tekanan (kPa)</b>	20	101.325
<b>Pressure Drop (kPa)</b>	0.001	1.513
<b>Laju aliran (Kg/h)</b>	33.33	?



Gambar 4.19 Skema Aliran Fluida pada Kondensor



Gambar 4.20 Aliran Fluida pada Simulasi Kondensor

Pada gambar 4.22 merupakan worksheet hasil simulasi pada kondensor, dapat diketahui bahwa uap air dengan laju aliran 33.33 kg/h akan terkondensasi seluruhnya menjadi air distilasi akan membutuhkan laju aliran *seawater cooler* sebesar 1992 kg/h.

Name	SW Cooler	Cooler Out	Vapour	Freshwater
Vapour	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
Temperature [C]	30.00	40.00	60.00	45.00
Pressure [kPa]	101.3	101.3	20.00	101.3
Molar Flow [kgmole/h]	110.6	110.6	1.850	1.850
Mass Flow [kg/h]	1992	1992	33.33	33.33
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1.996	1.996	3.340e-002	3.340e-002
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.852e+005	-2.845e+005	-2.407e+005	-2.841e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	56.65	59.01	190.9	60.16
Heat Flow [kJ/h]	-3.154e+007	-3.146e+007	-4.453e+005	-5.258e+005

Gambar 4.21 Worksheet Hasil Simulasi Kondensor

#### 4.8.1 Pengaruh Jumlah Produksi Air Tawar Terhadap Beban Energi Listrik

Berikut ini juga dilakukan simulasi ketika sistem desalinasi pada kapasitas air tawar yang berbeda namun tetap menggunakan kondisi temperatur 60°C pada evaporasinya, karena perhitungan kondensor yang digunakan pada kondisi temperatur 60°C. Simulasi akan tetap dilakukan menggunakan *software* Aspen Hysys untuk mengetahui berapa energi listrik yang dibutuhkan untuk jumlah produksi air tawar yang dihasilkan.

Name	Feedwater SW	Liq. Brine	Vapour	Q Heat Coil
Vapour	0.0000	0.0000	1.0000	<empty>
Temperature [C]	30.00	60.00	60.00	<empty>
Pressure [kPa]	101.3	20.00	20.00	<empty>
Molar Flow [kgmole/h]	1.619	0.0000	1.619	<empty>
Mass Flow [kg/h]	29.17	0.0000	29.17	<empty>
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	2.923e-002	0.0000	2.923e-002	<empty>
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.852e+005	-2.831e+005	-2.407e+005	<empty>
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	56.65	63.52	190.9	<empty>
Heat Flow [kJ/h]	-4.618e+005	-0.0000	-3.896e+005	7.218e+004

Gambar 4.22 Worksheet Hasil Simulasi Evaporator 700kg/hari



Separator: Evaporator						
		Design	Reactions	Rating	Worksheet	Dynamics
<b>Worksheet</b>	Name	<b>Feedwater SW</b>	<b>Liq. Brine</b>	<b>Vapour</b>	<b>Q Heat Coil</b>	
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	1.0000	<empty>	
Properties	Temperature [C]	30.00	60.00	60.00	<empty>	
Composition	Pressure [kPa]	101.3	20.00	20.00	<empty>	
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	2.082	0.0000	2.082	<empty>	
	Mass Flow [kg/h]	37.50	0.0000	37.50	<empty>	
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3.758e-002	0.0000	3.758e-002	<empty>	
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.852e+005	-2.831e+005	-2.407e+005	<empty>	
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	56.65	63.52	190.9	<empty>	
	Heat Flow [kJ/h]	-5.937e+005	-0.0000	-5.009e+005	9.281e+004	

Gambar 4.23 *Worksheet* Hasil Simulasi Evaporator 900kg/hari

Pada gambar 4.22 dan 4.23 merupakan *worksheet* hasil simulasi pada evaporator yang memanfaatkan energi listrik sebagai sumber panas dari *coil heater element*. Energi listrik yang dibutuhkan *element coil heater* untuk evaporasi ditunjukkan pada *heat flow* (kJ/h).

Heat Exchanger: Kondensor							
		Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics	Rigorous Shell&Tube
<b>Worksheet</b>	Name	<b>SW Cooler</b>	<b>Cooler Out</b>	<b>Vapour</b>	<b>Freshwater</b>		
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
Properties	Temperature [C]	30.00	40.00	60.00	45.00		
Composition	Pressure [kPa]	101.3	101.3	20.00	101.3		
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	96.76	96.76	1.619	1.619		
	Mass Flow [kg/h]	1743	1743	29.17	29.17		
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1.747	1.747	2.923e-002	2.923e-002		
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.852e+005	-2.845e+005	-2.407e+005	-2.841e+005		
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	56.65	59.01	190.9	60.16		
	Heat Flow [kJ/h]	-2.760e+007	-2.753e+007	-3.896e+005	-4.600e+005		

Gambar 4.24 *Worksheet* Hasil Simulasi Kondensor 700kg/hari

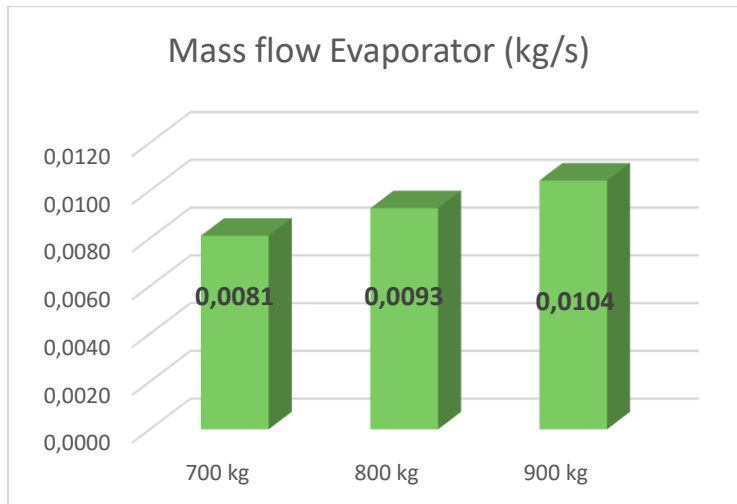
Heat Exchanger: Kondensor							
		Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics	Rigorous Shell&Tube
<b>Worksheet</b>	Name	<b>SW Cooler</b>	<b>Cooler Out</b>	<b>Vapour</b>	<b>Freshwater</b>		
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
Properties	Temperature [C]	30.00	40.00	60.00	45.00		
Composition	Pressure [kPa]	101.3	101.3	20.00	101.3		
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	124.4	124.4	2.082	2.082		
	Mass Flow [kg/h]	2241	2241	37.50	37.50		
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	2.246	2.246	3.758e-002	3.758e-002		
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.852e+005	-2.845e+005	-2.407e+005	-2.841e+005		
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	56.65	59.01	190.9	60.16		
	Heat Flow [kJ/h]	-3.548e+007	-3.539e+007	-5.009e+005	-5.915e+005		

Gambar 4.25 *Worksheet* Hasil Simulasi Kondensor 900kg/hari

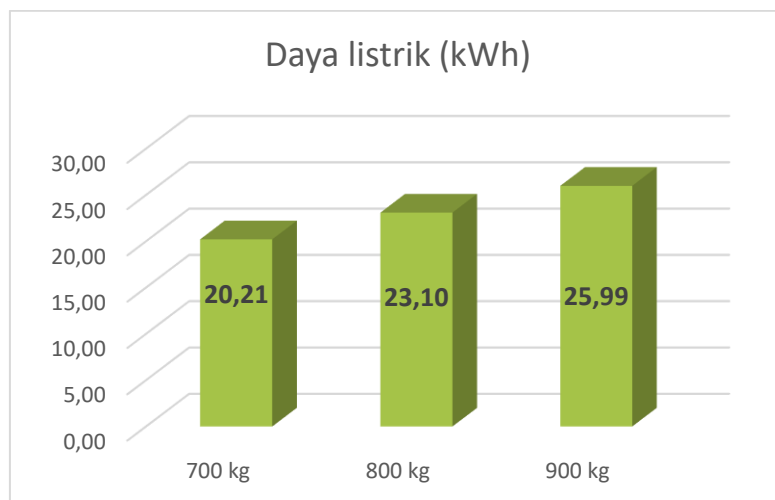
Pada gambar 4.24 dan gambar 4.25 merupakan *worksheet* hasil simulasi pada kondensor, dapat diketahui bahwa uap air akan terkondensasi seluruhnya menjadi air distilasi akan membutuhkan laju aliran *seawater cooler* sebesar 1743 kg/h dan 2241 kg/h. Pada hasil simulasi kondensor diatas dapat digunakan dalam penentuan spesifikasi *ejector pump* melalui *mass flow rate* pada *seawater cooler*.

#### 4.8.2 Hasil Produksi Air Tawar Dengan Daya Listrik

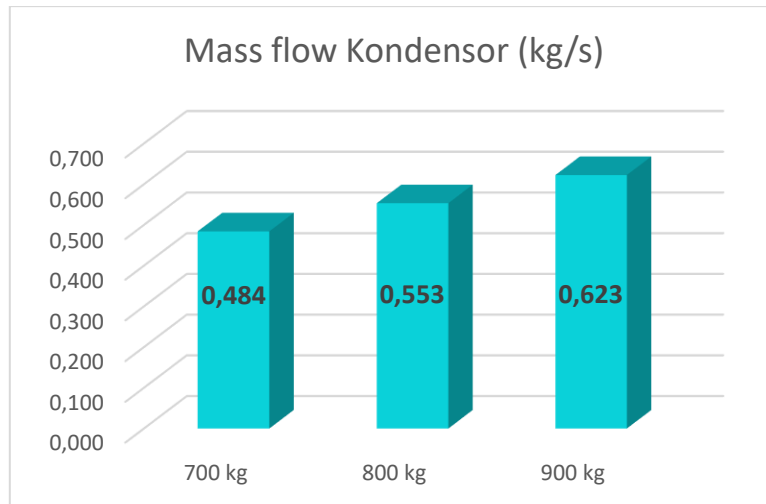
Dari hasil simulasi yang dilakukan pada evaporator dan kondensor dengan kondisi temperatur 60°C. Terdapat tiga hal yang akan dibandingkan, yaitu *mass flow rate* evaporasi, jumlah kalor dari *element coil heater*, dan *mass flow rate* dari air pendingin kondensor. Berikut ini grafik perbandingan dari simulasi Aspen Hysys,



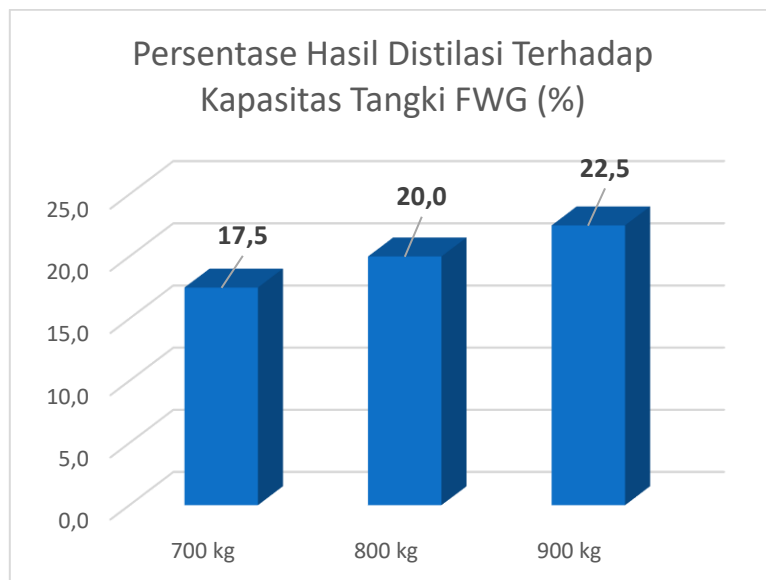
Gambar 4.26 Perbandingan *Mass Flow Rate* Evaporasi



Gambar 4.27 Perbandingan Kebutuhan Daya Listrik Evaporasi



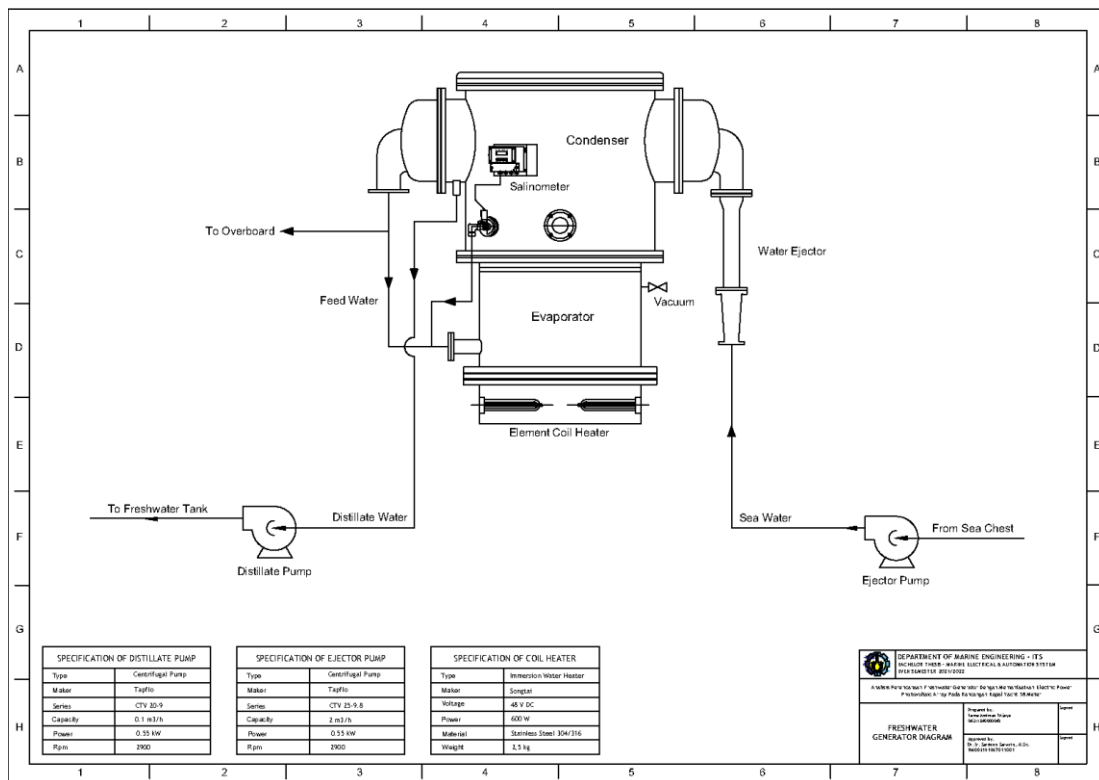
Gambar 4.28 Perbandingan *Mass Flow Rate* Kondensor



Gambar 4.29 Persentase Hasil Distilasi terhadap Kapasitas Tangki

Dari gambar 4.27 dapat diketahui jika perhitungan daya listrik dari perhitungan manual dan simulasi terdapat perbedaan hasil karena pada simulasi perhitungan disertai dengan faktor vakum pada evaporatornya sehingga dapat diketahui jika tekanan pada evaporator berada pada kondisi dibawah 1 atm akan mengurangi pula kebutuhan listrik untuk evaporasinya, serta gambar 4.28 menunjukkan data *mass flow rate* kondensor dapat digunakan sebagai pemilihan spesifikasi pompa. Selain itu pada gambar 4.29 merupakan perbandingan hasil dari sistem desalinasi yang telah direncanakan dapat diketahui memenuhi sekitar 20% dari total kapasitas tangki *freshwater* sebesar 4 ton.

## 4.9 Prinsip Kerja Sistem *Freshwater Generator* yang Direncanakan



Gambar 4.30 *Freshwater Generator Diagram*

Cara kerja dari sistem *freshwater generator* yang telah dirancang pada gambar 4.30, dijelaskan sebagai berikut.

1. Konfigurasi yang diterapkan yaitu dengan kapasitas 800kg dengan 2 element coil heater pada evaporator distiller. Hal ini bertujuan untuk memanaskan air laut (feed water) sampai menguap pada temperatur 60°C dan tekanan 20 kPa.
2. Air laut yang digunakan sebagai *feed water* dan pendingin pada kondensor, berasal dari *sea chest* yang dipompa menggunakan *ejector pump*.
3. Air laut yang telah menguap pada evaporator akan dipisahkan oleh komponen deflektor untuk menyaring uap dari campuran lain, sehingga hanya uap yang akan terkumpul dan menuju kondensor.
4. Air laut yang dijadikan sebagai pendingin akan dialirkan menuju *tube inlet* pada kondensor *freshwater generator* kemudian dikeluarkan menuju *overboard*. Tahap ini bertujuan untuk proses kondensasi uap yang telah terkumpul di dalam *shell* kondensor.
5. Selanjutnya uap yang telah terkondensasi menjadi air tawar akan dialirkan melewati salinometer untuk mengetahui kadar salinitas air tawar, jika kadar salinitas air tawar melebihi 500 ppm, maka air akan dialirkan kembali menuju *inlet* evaporator untuk dilakukan evaporasi ulang.
6. Air tawar yang telah memenuhi syarat kadar salinitas akan dilanjutkan menuju *freshwater tank* menggunakan *distillate pump*.

## 4.10 Komponen Lainnya Terkait *Freshwater Generator*

### 4.10.1 Penentuan Pompa

Dalam proses untuk mengalirkan air laut menuju *freshwater generator*, maka pompa memiliki peran penting. Berikut ini adalah perhitungan untuk menentukan spesifikasi pompa yang sesuai digunakan.

#### 4.10.1.1 Perhitungan *Ejector Pump*

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 1992$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1025$$

Sehingga :

$$Q = \text{Kapasitas pompa} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 1.94$$

Maka didapatkan spesifikasi pompa pada tabel 4.22, yaitu dengan tipe centrifugal pump berkapasitas 2 m<sup>3</sup>/h, dengan head 11.5 m, kecepatan motor pompa 2900 rpm, dengan kebutuhan daya 0.55 kW.

Tabel 4.22 Spesifikasi *Ejector Pump*

Type	Centrifugal Pump
Maker	Tapflo
Model	CTV 25-9.8
Capacity (m <sup>3</sup> /h)	2
Head (m)	11.5
Power (kW)	0.55
Speed (rpm)	2900 (50 Hz)

Berikut ini perhitungan lain jika dalam penentuan pompa dengan mempertimbangkan skenario lain pada kapasitas *freshwater generator*,

- Kondisi kapasitas FWG 700kg :

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 1743$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1025$$

Sehingga :

$$Q = \text{Kapasitas pompa} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 1.7$$

- Kondisi kapasitas FWG 900kg :

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 2241$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1025$$

Sehingga :

$$Q = \text{Kapasitas pompa} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 2.19$$

#### 4.10.1.2 Perhitungan *Distillate Pump*

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 33.33$$

$$\rho = \text{Massa jenis air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1000$$

Sehingga :

$$Q = \text{Kapasitas pompa} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 0.04 = 0.1$$

Maka didapatkan spesifikasi pompa pada tabel 4.23, yaitu dengan tipe centrifugal pump berkapasitas 0.1 m<sup>3</sup>/h, dengan head 8 m, kecepatan motor pompa 2900 rpm, dengan kebutuhan daya 0.55 kW.

Tabel 4.23 Spesifikasi *Distillate Pump*

<b>Type</b>	<b>Centrifugal Pump</b>
<b>Maker</b>	Tapflo
<b>Model</b>	CTV 20-9
<b>Capacity (m<sup>3</sup>/h)</b>	0.1
<b>Head (m)</b>	8
<b>Power (kW)</b>	0.55
<b>Speed (rpm)</b>	2900 (50 Hz)

Berikut ini perhitungan lain jika dalam penentuan pompa dengan mempertimbangkan skenario lain pada kapasitas *freshwater generator*,

- Kondisi kapasitas FWG 700kg :

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 29.17$$

$$\rho = \text{Massa jenis air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1000$$

Sehingga :

$$Q = \text{Kapasitas pompa} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 0.03$$

- Kondisi kapasitas FWG 900kg :

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 37.50$$

$$\rho = \text{Massa jenis air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1000$$

Sehingga :

$$Q = \text{Kapasitas pompa} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 0.04$$

## 4.10.2 Sistem Perpipaan

### 4.10.2.1 Perhitungan Pipa Air Laut (*Sea Chest to Evaporator*)

$$d_i = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \times v \times \rho}}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = 0.56$$

$$v = \text{Kecepatan aliran air laut} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0.774$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1025$$

Sehingga :

$$d_i = \text{Diameter dalam pipa (m)} = 0.03$$

Berikut ini pada tabel 4.24 merupakan spesifikasi pipa yang digunakan berdasarkan standard JIS, dengan ukuran nominal 32A sch 40 mengikuti tipe pipa JIS G3452/G3454 serta *nominal thickness* 3.6 mm.

Tabel 4.24 Spesifikasi Pipa Air Laut

<i>Type</i>	<b>JIS G3452/G3454</b>
<i>Nominal Size</i>	32 A
<i>Schedule</i>	Sch 40
<i>OD (mm)</i>	42.7
<i>ID (mm)</i>	35.5
<i>Nominal Thickness (mm)</i>	3.6

- Kondisi kapasitas FWG 700kg :

$$d_i = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \times v \times \rho}}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air laut} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 0.49$$

$$v = \text{Kecepatan aliran air laut} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = 0.774$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 1025$$

Sehingga :

$$d_i = \text{Diameter dalam pipa (m)} = 0.03$$

- Kondisi kapasitas FWG 900kg :

$$d_i = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \times v \times \rho}}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air laut} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 0.63$$

$$v = \text{Kecepatan aliran air laut} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = 0.774$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 1025$$

Sehingga :

$$d_i = \text{Diameter dalam pipa (m)} = 0.03$$

#### 4.10.2.2 Perhitungan Pipa Air Tawar (*Kondensor to Freshwater Tank*)

$$d_i = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \times v \times \rho}}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air distilasi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 0.0093$$



$$v = \text{Kecepatan aliran air distilasi} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0.774$$

$$\rho = \text{Massa jenis air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1000$$

Sehingga :

$$d_i = \text{Diameter dalam pipa (m)} = 0.0039$$

Berikut ini pada tabel 4.25 merupakan spesifikasi pipa yang digunakan berdasarkan standard JIS, dengan ukuran nominal 6A sch 60 mengikuti tipe pipa JIS G3452/G3454 serta *nominal thickness* 2.2 mm.

Tabel 4.25 Spesifikasi Pipa Air Distilasi

<i>Type</i>	<b>JIS G3452/G3454</b>
<i>Nominal Size</i>	6 A
<i>Schedule</i>	Sch 60
<i>OD (mm)</i>	10.5
<i>ID (mm)</i>	6.1
<i>Nominal Thickness (mm)</i>	2.2

- Kondisi kapasitas FWG 700kg :

$$d_i = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \times v \times \rho}}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = 0.0081$$

$$v = \text{Kecepatan aliran air distilasi} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0.774$$

$$\rho = \text{Massa jenis air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1000$$

Sehingga :

$$d_i = \text{Diameter dalam pipa (m)} = 0.0037$$

- Kondisi kapasitas FWG 900kg :

$$d_i = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \times v \times \rho}}$$

Keterangan :

$$\dot{m} = \text{Laju aliran massa air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = 0.011$$

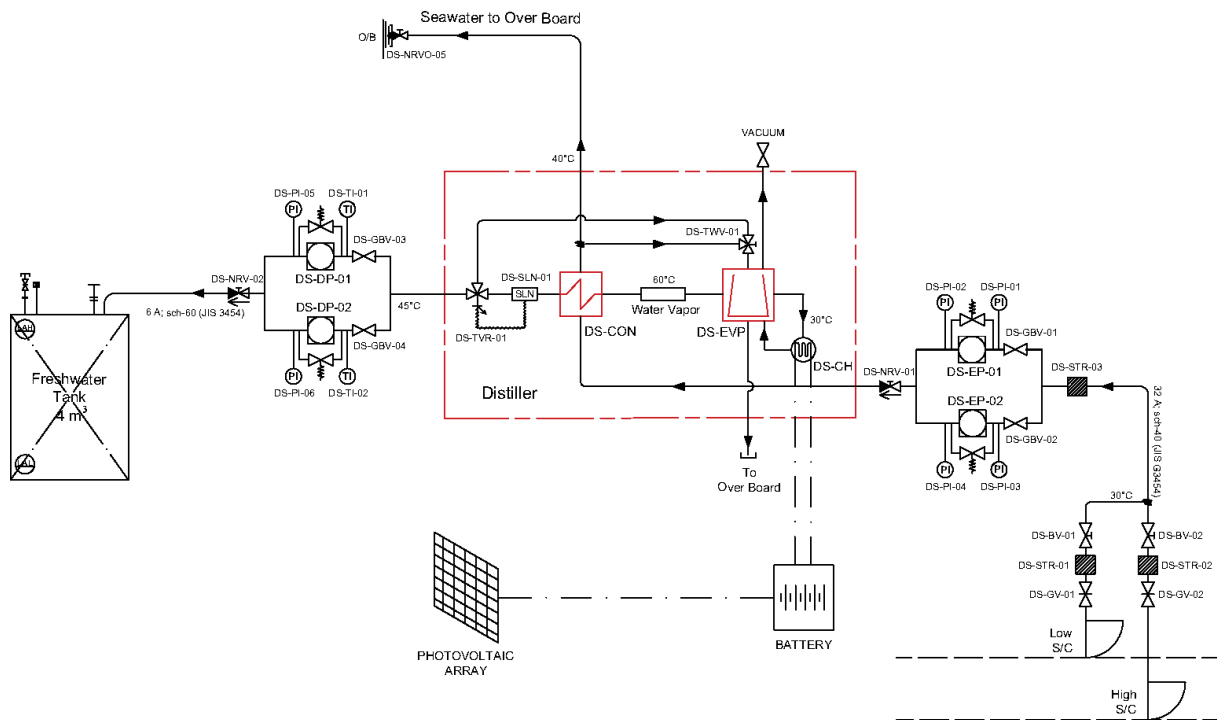
$$v = \text{Kecepatan aliran air distilasi} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0.774$$

$$\rho = \text{Massa jenis air distilasi} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1000$$

Sehingga :

$$d_i = \text{Diameter dalam pipa (m)} = 0.0043$$

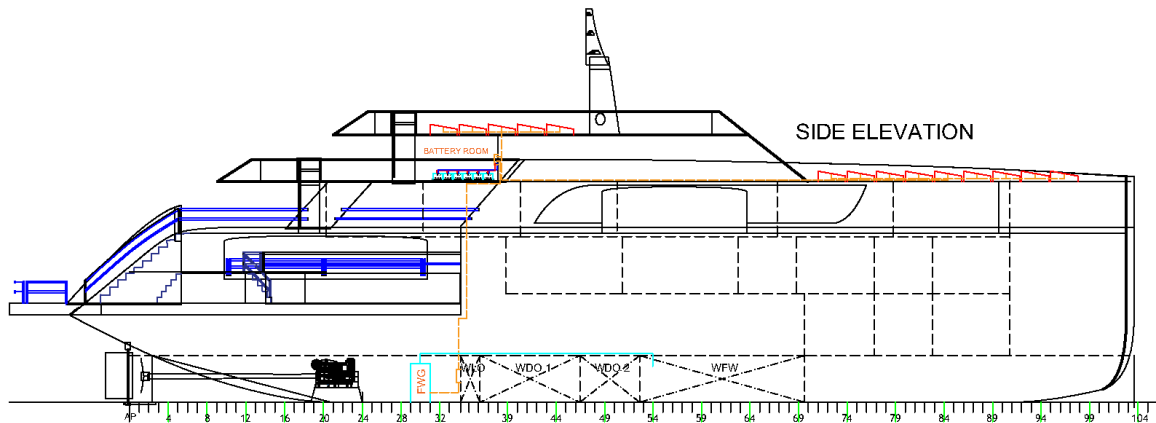
#### 4.11 P&ID Sistem Freshwater Generator Pada Kapal Yacht 58 Meter



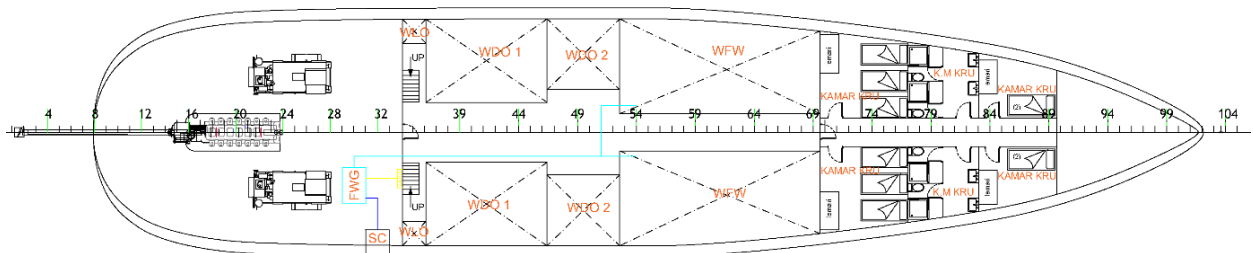
Gambar 4.31 P&ID Sistem *Freshwater Generator*

Gambar 4.31 diatas adalah piping and instrument diagram dari sistem freshwater generator, dimulai dari air laut sebagai *feedwater* akan disuplai melalui *seachest* kapal melalui dengan pompa ejector dan diteruskan masuk melewati tube kondensor dan akan bercabang sebagian keluar dan sebagian lagi masuk menuju inlet evaporator. Selanjutnya setelah evaporator terisi pada kapasitas yang ditentukan, evaporator akan bekerja setelah dilakukan vakum pada tekanan tertentu. Air laut yang telah terjadi evaporasi akan masuk menuju kondensor untuk dikondensasi menjadi air tawar. Kemudian air tawar hasil kondensasi akan keluar menuju salinometer untuk diperiksa kadar garam sesuai ketentuan, dan jika tidak memenuhi akan kembali masuk menuju evaporator serta jika memenuhi syarat kadar *freshwater* maka air akan diteruskan menuju tangki *freshwater* menggunakan bantuan pompa destilasi.

Pada gambar 4.32 dan 4.33 adalah perencanaan penempatan dari *freshwater generator* yang telah direncanakan akan berada di *engine room* pada *double bottom deck* dan pada posisi *port side*. Air laut dari sea chest akan dialirkan melalui pipa menuju *engine room*. Kemudian tangki air tawar untuk menampung hasil distilasi juga berada pada *engine room* yang masih satu *deck* dengan *freshwater generator*.



Gambar 4.32 General Arrangement Layout (Side View)



Gambar 4.33 General Arrangement Layout (Top View)

## 4.12 Komponen Kelistrikan

### 4.12.1.1 Kabel dari PV Array menuju SCC

$I_{SC}$  = Short Circuit Current (A) = 18

$V_{OC}$  = Open Circuit Voltage (V) = 45

$n_{S\_PV}$  = Modul PV yang dipasang secara seri = 4 Unit PV

$n_{P\_PV}$  = Modul PV yang dipasang secara parallel = 2 Set 5 rangkaian Seri

Perencanaan rangkaian PV module :

$V_{PV\ SERI}$  =  $45 \times 4$  modul = 180V

$I_{PV\ PARALLEL}$  =  $18 \times 5$  rangkaian seri PV = 90 A

Tabel 4.26 Kabel untuk *Photovoltaic Array*

<b>Type of Insulation</b>	<b>H1Z2Z2-K</b>
<b>No. of Cores</b>	1
<b>Nominal Penampang Kabel</b>	16 mm <sup>2</sup>
<b>Nominal Overall Diameter</b>	8.5 mm
<b>Nominal Weight</b>	0.19 kg/m
<b>Kemampuan Hantar Arus</b>	132 Amp

Pada tabel 4.26 telah ditentukan spesifikasi kabel untuk rangkaian PV array, karena dibutuhkan kabel khusus untuk sistem PV yang terpapar sinar matahari dan kondisi cuaca yang

beragam maka dipilih kabel dengan insulasi H1Z2Z2-K, pada ukuran nominal penampang kabel 16 mm<sup>2</sup>, yang memiliki kekuatan hantar arus sebesar 132 Ampere.

#### 4.12.1.2 Kabel dari SCC menuju Baterai

$$n_{SCC} = 2 \text{ Unit Solar Charger Controller}$$

$$n_{batt} = \text{Jumlah unit Baterai} = 10 \text{ unit}$$

Maka untuk SCC 1 akan dihubungkan pada 5 unit baterai, dan SCC 2 dihubungkan pada 5 unit baterai,

$$V_{batt} = \text{Spesifikasi Tegangan Baterai (V)} = 48$$

$$I_{batt} = \text{Spesifikasi Kapasitas Baterai (Ah)} = 100$$

Sehingga ditentukan penentuan kabel sebagai berikut,

$$SCC 1 = 5 \times I_{batt} = 500 \text{ Ampere}$$

$$SCC 2 = 5 \times I_{batt} = 500 \text{ Ampere}$$

Tabel 4.27 Kabel untuk Rangkaian Baterai & SCC

<b>Type of Insulation</b>	<b>NYAF</b>
<b>Nominal Penampang Kabel</b>	240 mm <sup>2</sup>
<b>Nominal Overall Diameter</b>	25.1 mm
<b>Nominal Weight</b>	0.24 kg/m
<b>Kemampuan Hantar Arus</b>	520 Amp
<b>Short Circuit Current</b>	Max. 27600 Amp

Pada tabel 4.27 telah ditentukan spesifikasi kabel untuk rangkaian dengan insulasi NYAF, pada ukuran nominal penampang kabel 240 mm<sup>2</sup>, yang memiliki kekuatan hantar arus sebesar 520 Ampere.

#### 4.12.1.3 Kabel dari SCC menuju Beban

Pada beban yang digunakan yaitu 2 buah Immersion Coil Heater sebagai berikut,

$$I_{beban} = \frac{P_{beban}}{V_{beban}}$$

$$V_{beban} = \text{Tegangan immersion coil heater (V)} = 48$$

$$P_{beban} = \text{Daya yang digunakan immersion coil heater (W)} = 600 \times 2 = 1200$$

Sehingga :

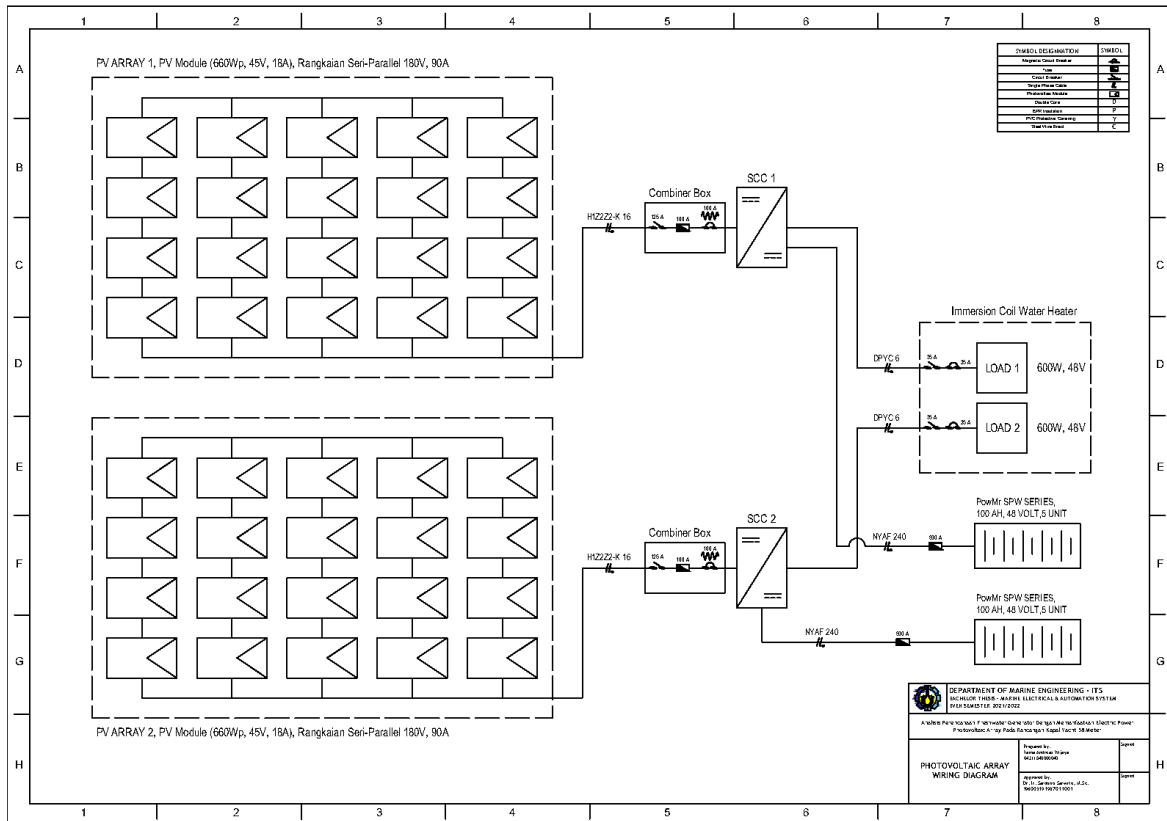
$$I_{beban} = \text{Arus beban (A)} = 25$$

Tabel 4.28 Kabel untuk Beban Water Heater

<b>Type of Insulation</b>	<b>DPYC</b>
<b>Nominal Penampang Kabel</b>	6 mm <sup>2</sup>
<b>Nominal Overall Diameter</b>	15.2 mm
<b>Nominal Weight</b>	0.037 kg/m
<b>Kemampuan Hantar Arus</b>	31 Amp

Pada tabel 4.28 telah ditentukan spesifikasi kabel untuk rangkaian dengan insulasi DPYC, pada ukuran nominal penampang kabel 6 mm<sup>2</sup>, yang memiliki kekuatan hantar arus sebesar 31 Ampere.

Setelah selesai melakukan pemilihan kabel pada sistem photovoltaic array, maka berikut ini wiring diagram sistem secara sederhana beserta dengan penentuan dari komponen-komponen pengamanan seperti *circuit breaker* dan *fuse*.



Gambar 4.34 Photovoltaic Array Wiring Diagram

Pada gambar 4.34 ditampilkan jika PV Array akan masing-masing memiliki jumlah 20 modul sebagai penyusun rangkaian, yang dipasang 4 modul secara seri kemudian di paralel sebanyak 5 rangkaian dengan 180V dan 90A. Selanjutnya listrik dari PV Array akan masuk menuju SCC untuk disimpan pada baterai. Selain itu peran dari SCC akan digunakan sebagai alat untuk melakukan suplai pada beban *immersion water heater* dengan daya 600W untuk evaporasi selama satu hari.

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan perencanaan sistem dari *freshwater generator* pada kapal *yacht* 58 meter, maka terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Dalam perencanaan sistem untuk *freshwater generator* pada kapal *yacht* 58 meter, telah didapat komponen utama yang ditentukan untuk menjadikan satu sistem desalinasi yang disuplai dengan energi listrik dari *photovoltaic* panel. Komponen tersebut diantara yaitu:
  - a. *Freshwater generator*, terdapat beberapa komponen yang harus dirancang pada sistem desalinasi ini, sehingga perlu dipesan secara khusus pada *maker* tertentu. Adapun dalam penelitian ini memperhitungkan pada bagian evaporator dan kondensornya. Didapatkan rancangan evaporator 800 kg/hari dengan diameter 0.85 meter dan tinggi 1.38 meter serta sistem evaporasinya menggunakan *immersion coil water heater*. Evaporator berada dalam kondisi vakum 20 kPa sehingga titik didih penguapan berada pada temperatur 60°C. Kemudian rancangan kondensor dengan panjang *tube* 0.75 meter yang berjumlah 2 buah dan diameter dalam *shell* 0.118 meter.
  - b. *Immersion water heater*, dua buah *coil heater* akan dipasang pada evaporator dengan *power* 600 Watt, 48VDC untuk digunakan pada proses evaporasi harian.
2. Pada perencanaan *photovoltaic array* sebagai *power* suplai untuk *freshwater generator*, sehingga diketahui
  - a. *Photovoltaic module*, pada penelitian ini ditentukan modul (Canadian Solar BiHiKu7 CS7N-660) sebesar 660 Wp sebanyak 40 unit untuk mampu menyediakan daya harian minimal sebesar 26.4 kWh. Pada PV modul direncanakan terbagi menjadi dua *array* secara seri dan parallel masing-masing 20 unit modul, kemudian penempatan PV *array* akan terpisah pada navigasi *deck* dan *sun deck* dari kapal *yacht*.
  - b. *Solar Charger Controller*, dua buah charger controller akan terhubung pada tiap PV *array* untuk dapat menyimpan hasil daya PV serta dapat menghubungkan menuju beban. SCC (EPEver Tracer 10420AN) yang digunakan dengan spesifikasi 200V Max. PV  $V_{oc}$ , 100A *charge current* untuk baterai.
  - c. Baterai, 10 buah baterai yang dirangkai pada 2 rangkaian secara parallel masing-masing 5 buah baterai (PowMr SPW) 48VDC, 100A, untuk dapat menyimpan daya sebesar 48 kW.

## 5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian mengenai perencanaan *freshwater generator* atau sistem desalinasi dengan memanfaatkan energi listrik dari rangkaian panel *photovoltaic*, maka berikut ini beberapa saran yang dapat menjadi rekomendasi penelitian lebih lanjut.

1. Merancang sistem desalinasi secara *Multi-Stage Flash Desalination* untuk mengetahui perbandingan air tawar yang dihasilkan dengan penelitian ini. Selain itu diterapkan pada kapal penumpang yang lebih besar karena menimbang dari jumlah penumpang yang lebih banyak serta diperlukan ruang lebih besar pada deck untuk dipasang *photovoltaic* modul.
2. Pada proses perencanaan *photovoltaic array* dapat dilakukan simulasi menggunakan *software* sehingga dapat dilakukan validasi pada *power* yang dihasilkan dengan perhitungan manual yang telah didapat.
3. Merancang sistem desalinasi dengan sumber *heat flow* secara *hybrid* dapat dengan bantuan *waste heat recovery main engine* ataupun *diesel generator set* kapal untuk proses evaporasinya, karena *power* yang dihasilkan dari PV Array cenderung kurang untuk dapat melakukan evaporasi pada air laut dengan kapasitas lebih besar.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulloh, S. H. (2015). Desalinasi Air dengan Memanfaatkan Energi Terbarukan. *Pengolahan Air dengan Menggunakan Energi Terbarukan. Hal.,* 1-8.
- Al-Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2013). Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renewable sustainable energy reviews, 24,* 343-356.
- Al-Kharabsheh, S., & Goswami, D. Y. (2003). Experimental study of an innovative solar water desalination system utilizing a passive vacuum technique. *Solar Energy, 75(5),* 395-401.
- Almanda, D., & Bhaskara, D. (2018). Studi Pemilihan Sistem Pendingin pada Panel Surya Menggunakan Water Cooler, Air Mineral dan Air Laut. *RESISTOR, 1(2),* 43-52.
- Asthana, E. (2020). Surface Condenser and its types. Retrieved from <https://geeksgod.com/surface-condenser-and-its-types/>
- BPS. (2020). Statistik Air Bersih 2015 - 2020. In (pp. 1-4). Indonesia: Badan Pusat Statistik Indonesia.
- CLIA. (2018). State of the Cruise Industry Outlook. Retrieved January 2022, from Cruise Lines International Association (CLIA) <https://cruising.org/-/media/research-updates/research/featured/2018-clia-state-of-the-industry.pdf>
- CLIA. (2020). State of the Cruise Industry Outlook. Retrieved January 2022, from Cruise Lines International Association (CLIA) <https://cruising.org/-/media/research-updates/research/state-of-the-cruise-industry.ashx>
- Da Silva, R., & Fernandes, J. (2010). Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems simulation with Simulink/Matlab. *Solar Energy, 84(12),* 1985-1996.
- Darmawan, P. W. (2018). *Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur Cooling Water Condenser Pada Mini Desalination Water Plant*. Institut teknologi Sepuluh nopember,
- El-Dessouky, H. T., & Ettouney, H. M. (2002). *Fundamentals of salt water desalination*: Elsevier.
- Hamakawa, Y. (1994). Recent advances in solar photovoltaic technology and its new role for environmental issue. *Renewable energy, 5(1-4),* 34-43.
- Hankins, M. (2010). *Stand-alone solar electric systems: the earthscan expert handbook for planning, design and installation*: Earthscan.
- Harrington, R. L. (1992). *Marine engineering*: Society of Naval Architects & Marine Engineerings.
- Kakaç, S. (1991). *Boilers, evaporators, and condensers*: John Wiley & Sons.
- Maragkogianni, A. P., S. (2015). Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece. *Transportation Research Part D: Transport Environment, 36,* 10-17.
- Markvart, T., & McEvoy, A. (2003). *Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications*: Elsevier.
- Mustiko, S. M. (2020). *Perancangan Sistem Distilasi Air Laut Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Diesel Pada Kapal Penumpang KM. Nggapulu*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
- Nawawi, K. (2021). *Analisis Perencanaan Sistem Desalination Plant Dengan Memanfaatkan Waste Heat Recovery Dari Diesel Generator Set 300 kVA Pada Kapal SAR 80 Meter*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *science, 313(5790),* 1068-1072.
- Parida, Bhubaneswari Iniyana, Selvarasan Goic, & Ranko. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable sustainable energy reviews, 15(3),* 1625-1636.

- Pearsall, N. (2016). *The performance of photovoltaic (PV) systems: modelling, measurement and assessment*: Woodhead Publishing.
- Rafiee, M., Siadatan, A., Afjei, E., & Abadi, E. Z. A. (2012). *Improving the efficiency of thermal power plant using thermoelectric material*. Paper presented at the 2012 4th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS2012).
- Setiawan, M. S. (2017). *Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Solar Cell Pada Sistem Destilasi Untuk Supply Fresh Water Pada Kapal Perintis 2000 GT*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
- Setyoko, B. (2008). Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Factor. *Teknik*, 29(2), 148-153.
- Shah, R. K., & Sekulic, D. P. (2003). *Fundamentals of heat exchanger design*: John Wiley & Sons.
- Shiklomanov, I. A. (1997). Assessment of water resources and water availability in the world. *Comprehensive Assessment of the Freshwater Re-sources of the World*.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2001). *Introduction to food engineering*: Gulf Professional Publishing.
- Sudrajat, J. (2017). Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem Cog Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(3), 174.
- Ye, Z., Nobre, A., Reindl, T., Luther, J., & Reise, C. (2013). On PV module temperatures in tropical regions. *Solar Energy*, 88, 80-87.
- Yuksel, O., Gulmez, Y., Konur, O., Korkmaz, S. A., Erdogan, A., & Colpan, C. O. (2019). Performance assessment of a marine freshwater generator through exergetic optimization. *Journal of Cleaner Production*, 219, 326-335.

# LAMPIRAN

## 1. Tabel *physical properties* untuk *saturated water*

Temp. $T$ , °C	Saturation Pressure $P_{sat}$ , kPa	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>		Enthalpy of Vaporization $h_{fg}$ , kJ/kg	Specific Heat $c_p$ , J/kg-K		Thermal Conductivity $k$ , W/m-K		Dynamic Viscosity $\mu$ , kg/m-s		Prandtl Number Pr		Volume Expansion Coefficient $\beta$ , 1/K
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	$1.792 \times 10^{-3}$	$0.922 \times 10^{-5}$	13.5	1.00	$-0.068 \times 10^{-3}$
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	$1.519 \times 10^{-3}$	$0.934 \times 10^{-5}$	11.2	1.00	$0.015 \times 10^{-3}$
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	$1.307 \times 10^{-3}$	$0.946 \times 10^{-5}$	9.45	1.00	$0.733 \times 10^{-3}$
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	$1.138 \times 10^{-3}$	$0.959 \times 10^{-5}$	8.09	1.00	$0.138 \times 10^{-3}$
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	$1.002 \times 10^{-3}$	$0.973 \times 10^{-5}$	7.01	1.00	$0.195 \times 10^{-3}$
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	$0.891 \times 10^{-3}$	$0.987 \times 10^{-5}$	6.14	1.00	$0.247 \times 10^{-3}$
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	$0.798 \times 10^{-3}$	$1.001 \times 10^{-5}$	5.42	1.00	$0.294 \times 10^{-3}$
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	$0.720 \times 10^{-3}$	$1.016 \times 10^{-5}$	4.83	1.00	$0.337 \times 10^{-3}$
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	$0.653 \times 10^{-3}$	$1.031 \times 10^{-5}$	4.32	1.00	$0.377 \times 10^{-3}$
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	$0.596 \times 10^{-3}$	$1.046 \times 10^{-5}$	3.91	1.00	$0.415 \times 10^{-3}$
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	$0.547 \times 10^{-3}$	$1.062 \times 10^{-5}$	3.55	1.00	$0.451 \times 10^{-3}$
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	$0.504 \times 10^{-3}$	$1.077 \times 10^{-5}$	3.25	1.00	$0.484 \times 10^{-3}$
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	$0.467 \times 10^{-3}$	$1.093 \times 10^{-5}$	2.99	1.00	$0.517 \times 10^{-3}$
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	$0.433 \times 10^{-3}$	$1.110 \times 10^{-5}$	2.75	1.00	$0.548 \times 10^{-3}$
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	$0.404 \times 10^{-3}$	$1.126 \times 10^{-5}$	2.55	1.00	$0.578 \times 10^{-3}$
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	$0.378 \times 10^{-3}$	$1.142 \times 10^{-5}$	2.38	1.00	$0.607 \times 10^{-3}$
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	$0.355 \times 10^{-3}$	$1.159 \times 10^{-5}$	2.22	1.00	$0.653 \times 10^{-3}$
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	$0.333 \times 10^{-3}$	$1.176 \times 10^{-5}$	2.08	1.00	$0.670 \times 10^{-3}$
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	$0.315 \times 10^{-3}$	$1.193 \times 10^{-5}$	1.96	1.00	$0.702 \times 10^{-3}$
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	$0.297 \times 10^{-3}$	$1.210 \times 10^{-5}$	1.85	1.00	$0.716 \times 10^{-3}$
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	$0.282 \times 10^{-3}$	$1.227 \times 10^{-5}$	1.75	1.00	$0.750 \times 10^{-3}$
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	$0.255 \times 10^{-3}$	$1.261 \times 10^{-5}$	1.58	1.00	$0.798 \times 10^{-3}$
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	$0.232 \times 10^{-3}$	$1.296 \times 10^{-5}$	1.44	1.00	$0.858 \times 10^{-3}$
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	$0.213 \times 10^{-3}$	$1.330 \times 10^{-5}$	1.33	1.01	$0.913 \times 10^{-3}$
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	$0.197 \times 10^{-3}$	$1.365 \times 10^{-5}$	1.24	1.02	$0.970 \times 10^{-3}$
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	$0.183 \times 10^{-3}$	$1.399 \times 10^{-5}$	1.16	1.02	$1.025 \times 10^{-3}$
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	$0.170 \times 10^{-3}$	$1.434 \times 10^{-5}$	1.09	1.05	$1.145 \times 10^{-3}$
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	$0.160 \times 10^{-3}$	$1.468 \times 10^{-5}$	1.03	1.05	$1.178 \times 10^{-3}$
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	$0.150 \times 10^{-3}$	$1.502 \times 10^{-5}$	0.983	1.07	$1.210 \times 10^{-3}$
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	$0.142 \times 10^{-3}$	$1.537 \times 10^{-5}$	0.947	1.09	$1.280 \times 10^{-3}$
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	$0.134 \times 10^{-3}$	$1.571 \times 10^{-5}$	0.910	1.11	$1.350 \times 10^{-3}$
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	$0.122 \times 10^{-3}$	$1.641 \times 10^{-5}$	0.865	1.15	$1.520 \times 10^{-3}$
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	$0.111 \times 10^{-3}$	$1.712 \times 10^{-5}$	0.836	1.24	$1.720 \times 10^{-3}$
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	$0.102 \times 10^{-3}$	$1.788 \times 10^{-5}$	0.832	1.35	$2.000 \times 10^{-3}$
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	$0.094 \times 10^{-3}$	$1.870 \times 10^{-5}$	0.854	1.49	$2.380 \times 10^{-3}$
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	$0.086 \times 10^{-3}$	$1.965 \times 10^{-5}$	0.902	1.69	$2.950 \times 10^{-3}$
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	$0.078 \times 10^{-3}$	$2.084 \times 10^{-5}$	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	$0.070 \times 10^{-3}$	$2.255 \times 10^{-5}$	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	$0.060 \times 10^{-3}$	$2.571 \times 10^{-5}$	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	$0.043 \times 10^{-3}$	$4.313 \times 10^{-5}$			

Note 1: Kinematic viscosity  $\nu$  and thermal diffusivity  $\alpha$  can be calculated from their definitions,  $\nu = \mu/\rho$  and  $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$ . The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

Note 2: The unit kJ/kg-°C for specific heat is equivalent to kJ/kg-K, and the unit W/m-°C for thermal conductivity is equivalent to W/m-K.

Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

## 2. Tabel *physical properties* untuk uap

Nama Zat	Titik Didih (°C)	Kalor Uap (J kg <sup>-1</sup> )
alkohol	78	1.100.000
air	100	2.260.000
raksa	357	272.000
tembaga	1.187	5.069.000
timah hitam	1.750	871.000
perak	2.193	2.336.000
emas	2.660	1.578.000
besi	3.023	6.340.000

### 3. Tabel *physical properties* untuk *saturated water*

**Table 1:** Water Salinity


Salinity Status	Salinity (%)	Salinity (ppt)	Use
Fresh	< 0.05	< 0.5	Drinking and all irrigation
Marginal	0.05 – 0.1	0.5 – 1	Most irrigation, adverse effects on ecosystems become apparent
Brackish	0.1 – 0.2	1 – 2	Irrigation certain crops only; useful for most stock
Saline	0.2 – 1.0	2 – 10	Useful for most livestock
Highly Saline	1.0 – 3.5	10 – 35	Very saline groundwater, limited use for certain livestock
Brine	> 3.5	> 35	Seawater; some mining and industrial uses exist

Source: Department of Water. Government of Western Australia.

Classification	EC in dS/m	EC in $\mu$ S/CM	mM NaCl	ppt	ppm	mg CL- /L	Application
Fresh Water	0,8	800	8	0,5	500	280	Drinking water
Slightly brackish	1.7	1700	17	1	1000	600	Irrigation water
Medium brackish	1.7 - 8	1700 - 8000	17-80	1 -5	1000 - 5000	600 - 2800	
Brackish	8 - 25	8000 - 25000	80-250	5 - 15	5000 - 15000	2800 - 9000	
Strong brackish	25 - 58	25000 - 58000	250 - 580	15 - 35	15000 - 35000	9000 - 18000	
Sea water	58	58000	580	35	35000	18000	
"Brine"	> 58	>58000	>580	<35	>35,000	>18000	

### 4. Heat Exchanger tube – Principal BWG sizes

Heat exchanger tube - principal BWG sizes

Outside Diameter 			Birmingham Wire Gauge (BWG)							
			20 (0.889 mm)	18 (1.245 mm)	16 (1.651 mm)	15 (1.829 mm)	14 (2.108 mm)	13 (2.413 mm)	12 (2.769 mm)	11 (3.048 mm)
in	mm		Weight, kg/m (average wall <sup>1</sup> )							
1/4	0.250	6.350	0.12	0.16	0.19	-	-	-	-	-
5/16	0.313	7.950	0.15	0.21	0.25	0.28	-	-	-	-
3/8	0.375	9.525	0.19	0.25	0.31	0.34	0.39	-	-	-
1/2	0.500	12.700	0.25	0.34	0.45	0.49	0.55	0.61	0.68	0.72
5/8	0.625	15.875	0.33	0.45	0.58	0.64	0.71	0.80	0.89	0.97
3/4	0.750	19.050	0.40	0.55	0.72	0.77	0.88	0.98	1.12	1.20
7/8	0.875	22.225	0.46	0.64	0.83	0.92	1.04	1.18	1.32	1.44
1	1.000	25.400	0.54	0.74	0.97	1.06	1.21	1.37	1.55	1.68
1 1/8	1.125	28.575	0.61	0.83	1.10	1.21	1.37	1.56	1.76	1.92
1 1/4	1.250	31.750	0.68	0.94	1.23	1.35	1.53	1.76	1.96	2.16
1 3/8	1.375	34.925	0.74	1.03	1.35	1.49	1.70	1.93	2.19	2.40
1 1/2	1.500	38.100	0.82	1.13	1.49	1.64	1.87	2.17	2.40	2.63
1 3/4	1.750	44.450	0.97	1.32	1.74	1.92	2.20	2.50	2.84	3.10
2	2.000	50.800	-	1.52	1.99	2.20	2.53	2.89	3.27	3.59
2 1/4	2.250	57.150	-	1.73	2.26	2.48	2.87	3.26	3.70	4.06
2 3/8	2.375	60.325	-	1.81	2.38	2.63	3.02	3.44	3.93	4.30
2 1/2	2.500	63.500	-	1.91	2.52	2.78	3.18	3.66	4.14	4.54
2 7/8	2.875	73.025	-	2.20	2.90	3.20	3.68	4.20	4.79	5.25
3	3.000	76.200	-	2.31	3.04	3.35	3.85	4.39	5.00	5.49
3 1/2	3.500	88.900	-	2.69	3.56	3.93	4.51	5.15	5.86	6.44
4	4.000	10.160	-	-	4.11	4.54	5.21	5.95	6.80	7.47

Notes:

Conventional weights are quoted, assuming the tube is specified as average wall. Add 10% to the weight for minimum wall tube. Multiply quoted weights by 1.014 for austenitic and duplex steels, by 0.985 for ferritic and martensitic steels.

## 5. Tabel pipa JIS G3452/G3454

### Steel pipes: JIS G3452/G3454

Nominal size		Outside diameter (mm)	Carbon steel pipes for ordinary piping <SGP> (JIS G3452)	Carbon steel pipes for pressure service <STPG>(JIS G3454)					
				Nominal thickness					
A	B		Thickness (mm)	Sch10	Sch20	Sch30	Sch40	Sch60	Sch80
6	1/8	10.5	2.0	-	-	-	1.7	2.2	2.4
8	1/4	13.8	2.3	-	-	-	2.2	2.4	3.0
10	3/8	17.3	2.3	-	-	-	2.3	2.8	3.2
15	1/2	21.7	2.8	-	-	-	2.8	3.2	3.7
20	3/4	27.2	2.8	-	-	-	2.9	3.4	3.9
25	1	34.0	3.2	-	-	-	3.4	3.9	4.5
32	1,1/4	42.7	3.5	-	-	-	3.6	4.5	4.9
40	1,1/2	48.6	3.5	-	-	-	3.7	4.5	5.1
50	2	60.5	3.8	-	3.2	-	3.9	4.9	5.5
65	2,1/2	76.3	4.2	-	4.5	-	5.2	6.0	7.0
80	3	89.1	4.2	-	4.5	-	5.5	6.6	7.6
90	3,1/2	101.6	4.2	-	4.5	-	5.7	7.0	8.1
100	4	114.3	4.5	-	4.9	-	6.0	7.1	8.6
125	5	139.8	4.5	-	5.1	-	6.6	8.1	9.5
150	6	165.2	5.0	-	5.5	-	7.1	9.3	11.0
200	8	216.3	5.8	-	6.4	7.0	8.2	10.3	12.7
250	10	267.4	6.6	-	6.4	7.8	9.3	12.7	15.1
300	12	318.5	6.9	-	6.4	8.4	10.3	14.3	17.4
350	14	355.6	7.9	6.4	7.9	9.5	11.1	15.1	19.0
400	16	406.4	7.9	6.4	7.9	9.5	12.7	16.7	21.4

## 6. Spesifikasi Heater Element Coil Evaporator



Hot Sale DC Heater 12v 300w 600w 24v 600w 36v 1200w 48v 1500w Screw in 1" BSP NPT Heating Element for Solar Energy Wind Power

1 - 99 pieces	100 - 499 pieces	500 - 999 pieces	>=1000 pieces
\$15.30	\$12.60	\$11.50	\$6.80

Benefits: Quick refunds on orders under US \$1,000 [Claim now >](#)

Plug Type:  EU

Color:

Quantity(pieces)	1 - 10	11 - 500	501 - 1000	>1000
Est. Time(days)	5	12	15	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 500 pieces)  
Customized packaging(Min. Order: 1000 pieces)

Shipping: Support Express · Sea freight · Air freight

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protection: Trade Assurance Protects your Alibaba.com orders

### Overview

#### Quick Details

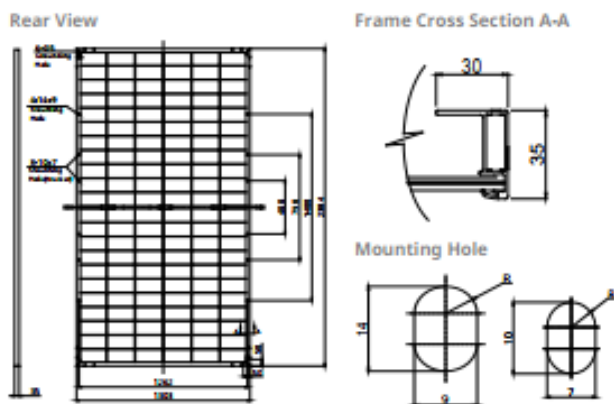
Place of Origin:	Guangdong, China	Brand Name:	Detai 12v electric water heater
Model Number:	DTA-0510	Housing Material:	Stainless Steel
Power (W):	300w/600w/900w/1200w/1500w	Storage / Tankless:	Instant / Tankless
Voltage (V):	12v/24v/36v/48v	After-sales Service Provided:	None
Warranty:	1 Year	Capacity:	free
Installation:	Freestanding	Application:	Commercial
Power Source:	Electric	App-Controlled:	NO
Waterproof Grade:	IPX7	Control Mode:	Remote Control
Material:	Incoloy840&800,SUS304,SUS316,SUS321,or As Required	Heating Wire:	Nickel chrome wire
Experience in Making:	24 years	Working Life:	1-5years
Total Length:	220mm	Category:	Heat Exchanger
Thread:	1" BSP/NPT	Tube material:	8mm
Certification:	CE	Usage:	Heating liquid

## Product Applications

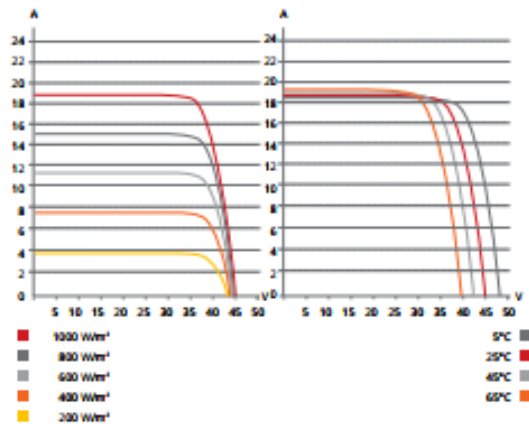
1. Heating heat transfer fluids
2. Heating medium and lightweight oils.
3. Heating water in tanks.
4. Pressure vessels.
5. Freeze protection of any fluids.
6. Food processing equipment.
7. Cleaning and rinsing equipment.
8. Beverage equipment
9. Beer brewing
10. Used in many other applications.

## 7. Spesifikasi Photovoltaic Module

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS7N-650MB-AG / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Efficiency	
CS7N-640MB-AG	640 W	37.5 V	17.07 A	44.6 V	18.31 A	20.6%	
Bifacial Gain**	5%	672 W	37.5 V	17.92 A	44.6 V	19.23 A	21.6%
	10%	704 W	37.5 V	18.78 A	44.6 V	20.14 A	22.7%
	20%	768 W	37.5 V	20.48 A	44.6 V	21.97 A	24.7%
CS7N-645MB-AG	645 W	37.7 V	17.11 A	44.8 V	18.35 A	20.8%	
Bifacial Gain**	5%	677 W	37.7 V	17.97 A	44.8 V	19.27 A	21.8%
	10%	710 W	37.7 V	18.84 A	44.8 V	20.19 A	22.9%
	20%	774 W	37.7 V	20.53 A	44.8 V	22.02 A	24.9%
CS7N-650MB-AG	650 W	37.9 V	17.16 A	45.0 V	18.39 A	20.9%	
Bifacial Gain**	5%	683 W	37.9 V	18.03 A	45.0 V	19.31 A	22.0%
	10%	715 W	37.9 V	18.88 A	45.0 V	20.23 A	23.0%
	20%	780 W	37.9 V	20.59 A	45.0 V	22.07 A	25.1%
CS7N-655MB-AG	655 W	38.1 V	17.20 A	45.2 V	18.43 A	21.1%	
Bifacial Gain**	5%	688 W	38.1 V	18.06 A	45.2 V	19.35 A	22.1%
	10%	721 W	38.1 V	18.93 A	45.2 V	20.27 A	23.2%
	20%	786 W	38.1 V	20.64 A	45.2 V	22.12 A	25.3%
CS7N-660MB-AG	660 W	38.3 V	17.24 A	45.4 V	18.47 A	21.2%	
Bifacial Gain**	5%	693 W	38.3 V	18.10 A	45.4 V	19.39 A	22.3%
	10%	726 W	38.3 V	18.96 A	45.4 V	20.32 A	23.4%
	20%	792 W	38.3 V	20.69 A	45.4 V	22.16 A	25.5%
CS7N-665MB-AG	665 W	38.5 V	17.28 A	45.6 V	18.51 A	21.4%	
Bifacial Gain**	5%	698 W	38.5 V	18.14 A	45.6 V	19.44 A	22.5%
	10%	732 W	38.5 V	19.02 A	45.6 V	20.36 A	23.6%
	20%	798 W	38.5 V	20.74 A	45.6 V	22.21 A	25.7%

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

\*\* Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)
CS7N-640MB-AG	480 W	35.2 V	13.64 A	42.2 V	14.77 A
CS7N-645MB-AG	484 W	35.3 V	13.72 A	42.3 V	14.80 A
CS7N-650MB-AG	487 W	35.5 V	13.74 A	42.5 V	14.83 A
CS7N-655MB-AG	491 W	35.7 V	13.76 A	42.7 V	14.86 A
CS7N-660MB-AG	495 W	35.9 V	13.79 A	42.9 V	14.89 A
CS7N-665MB-AG	499 W	36.1 V	13.83 A	43.1 V	14.93 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup> spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	37.9 kg (83.6 lbs)
Front Glass	2.0 mm heat strengthened glass with anti-reflective coating
Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> (IEC), 10 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces or 465 pieces (only for US)

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

## 8. Kabel PV Array H1Z2Z2-K

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm <sup>2</sup>	MAXIMUM DC RESISTANCE OF CONDUCTOR AT 20°C ohms/km	MAXIMUM DC RESISTANCE OF CONDUCTOR AT 90°C ohms/km	CURRENT CARRYING CAPACITY Amps		
			Single Cable In Air	Single Cable On Surface	Two Cables Adjacent On Surface
1.5	13.70	17.468	30	29	24
2.5	8.21	10.468	41	39	33
4	5.09	6.490	55	52	44
6	3.39	4.322	70	67	57
10	1.95	2.486	98	93	79
16	1.24	1.581	132	125	107
25	0.795	1.013	176	167	142
35	0.565	0.720	218	207	176
50	0.393	0.501	276	262	221
70	0.277	0.353	347	330	278
95	0.21	0.267	416	395	333
120	0.164	0.209	488	464	390
150	0.132	0.168	566	538	453
185	0.108	0.137	644	612	515
240	0.0817	0.104	775	736	620

## 9. Spesifikasi Baterai untuk PV Array

### Products Specification

Model	SPW-100AH 48V
Capacity	4.8KWH
Normal Discharging Current	50A
Max Discharging Current	100A
Voltage	37.5-54.75VDC
Standard Voltage	48VDC
Max Charging Current	100A
Max Charging Voltage	54.75V
Suggested DOD Model	90%
Humidity	20-60%
Installation	Cabinet or Wall Installation
Cycle	6000 times
Max Number Of Parallel	15
Warranty	10 Years
Communication	CAN / RS485 / WIFI / 4G / Blue tooth communication
Size(mm)	650*480*190
Weight	49kg

### Product dimensions



## 10. Spesifikasi Solar Charger Controller



BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO.,LTD.

### 5 Specifications

#### Electrical Parameters

Item/Tracer***AN	5210	6210	5415	6415	8415	10415	5420	6420	8420	10420
Nominal System Voltage	12/24VDC or Auto		12/24/36/48VDC or Auto							
Battery Input Voltage Range	8V~32V		8V~68V							
Battery Type	Sealed(Default)/Gel/Flooded/User									
Battery fuse	80A/58V		150A/58V				80A/58V		150A/58V	
Rated charge current	50A	60A	50A	60A	80A	100A	50A	60A	80A	100A
Rated charge Power	625W/12V 1250W/24V	750W/12V 1500W/24V	625W/12V 1250W/24V 1875W/36V 2500W/48V	750W/12V 1500W/24V 2250W/36V 3000W/48V	1000W/12V 2000W/24V 3000W/36V 4000W/48V	1250W/12V 2500W/24V 3750W/36V 5000W/48V	625W/12V 1250W/24V 1875W/36V 2500W/48V	750W/12V 1500W/24V 2250W/36V 3000W/48V	1000W/12V 2000W/24V 3000W/36V 4000W/48V	1250W/12V 2500W/24V 3750W/36V 5000W/48V
Max. PV open circuit voltage	100V <sup>①</sup> 92V <sup>②</sup>		150V <sup>①</sup> 138V <sup>②</sup>				200V <sup>①</sup> 180V <sup>②</sup>			
MPP Voltage Range	(Battery Voltage+2V) ~72V <sup>③</sup>		(Battery Voltage +2V) ~108V <sup>③</sup>				(Battery Voltage+2V) ~144V <sup>③</sup>			
Tracking efficiency	≥99.5%									
Max. conversion efficiency	98.0%	98.0%	98.3%	98.6%	98.5%	98.6%	98.3%	98.1%	98.5%	98.5%
Full load efficiency	97.0%	97.0%	97.8%	98.0%	98.0%	98.0%	97.1%	97.5%	97.5%	97.6%
Temperature compensate coefficient	-3mV/°C/2V(Default)									
Self-consumption	98mA/12V;60mA/24V;50mA/36V;46mA/48V									
Grounding	Common negative grounding									
Relay	Rated Value:5A/30VDC; Max. Value:0.5A/60VDC									
RS485 interface	RS485(RJ45)									
LCD backlight time	Default:60S,Range:0~999S(0S:the backlight is ON all the time)									

①At minimum operating environment temperature;

②At 25°C environment temperature

③The maximum PV open circuit voltage must never exceed 72V(Tracer\*\*10AN),138V(Tracer\*\*15AN)or180V(Tracer\*\*20AN) at 25°C environment temperature.

## 11. Tabel Kabel NYAF

Nom. Cross Section Area (mm <sup>2</sup> )	Overall Diameter (mm)	Cable Weight (kg/km)	DC Resistance at 20°C (Ω/km)	Insulation Thickness (mm)	Current-Carrying Capacity at 30°C	Conductor Make-Up (No. of wires x diameter)	Short circuit current at 1 sec (A)
					In air		
	Max.	Max.					
1.5	3.1	22	13.30	0.7	24	30 x 0.25	173
2.5	3.7	33	7.980	0.8	32	50 x 0.25	288
4.0	4.3	49	4.950	0.8	41	56 x 0.30	460
6.0	4.9	69	3.300	0.8	53	84 x 0.30	690
10	6.3	116	1.410	1.0	72	80 x 0.40	1150
16	7.4	175	1.210	1.0	97	128 x 0.40	1840
25	9.0	270	0.780	1.2	128	200 x 0.40	2875
35	10.5	371	0.554	1.2	156	280 x 0.40	4025
50	12.4	527	0.386	1.4	195	400 x 0.40	5750
70	14.1	716	0.272	1.4	243	356 x 0.50	8050
95	16.3	969	0.206	1.6	285	485 x 0.50	10925
120	17.9	1208	0.161	1.6	342	614 x 0.50	13800
150	20.0	1508	0.129	1.8	386	765 x 0.50	17250
185	22.2	1860	0.106	2.0	441	944 x 0.50	21275
240	25.1	2403	0.0801	2.2	520	1225 x 0.50	27600
300	28.0	3003	0.0641	2.4	605	1530 x 0.50	34500
400	32.0	3971	0.0486	2.6	725	2035 x 0.50	41200



## 12. Spesifikasi Pompa *Centrifugal*

### CTV - stainless steel series

#### Materials, data and limits

Casing	AISI 316L stainless steel
Impeller	AISI 316L stainless steel
Casing O-ring	EPDM, FKM or FEP/Silicone
Motor*	IEC standard, 3-phase, 2-pole, IP55
Temperature	max 100 °C
Particles	max diameter is Ø 6 mm

\*other motor options available on request

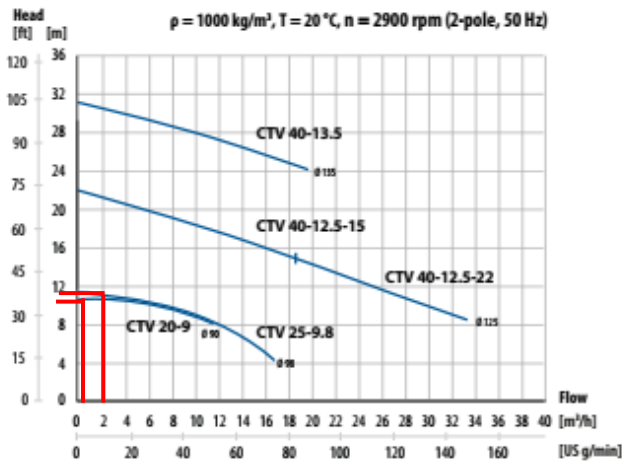
#### Connection dimensions

Model	BSPT (R) male thread (standard)	
	Inlet	Outlet
CTV 20-9	1"	½"
CTV 25-9.8	1 ½"	1"
CTV 40-12.5	1 ½"	1 ½"
CTV 40-13.5	1 ½"	1 ½"

on request ANSI and DIN flanges

#### Performance curves

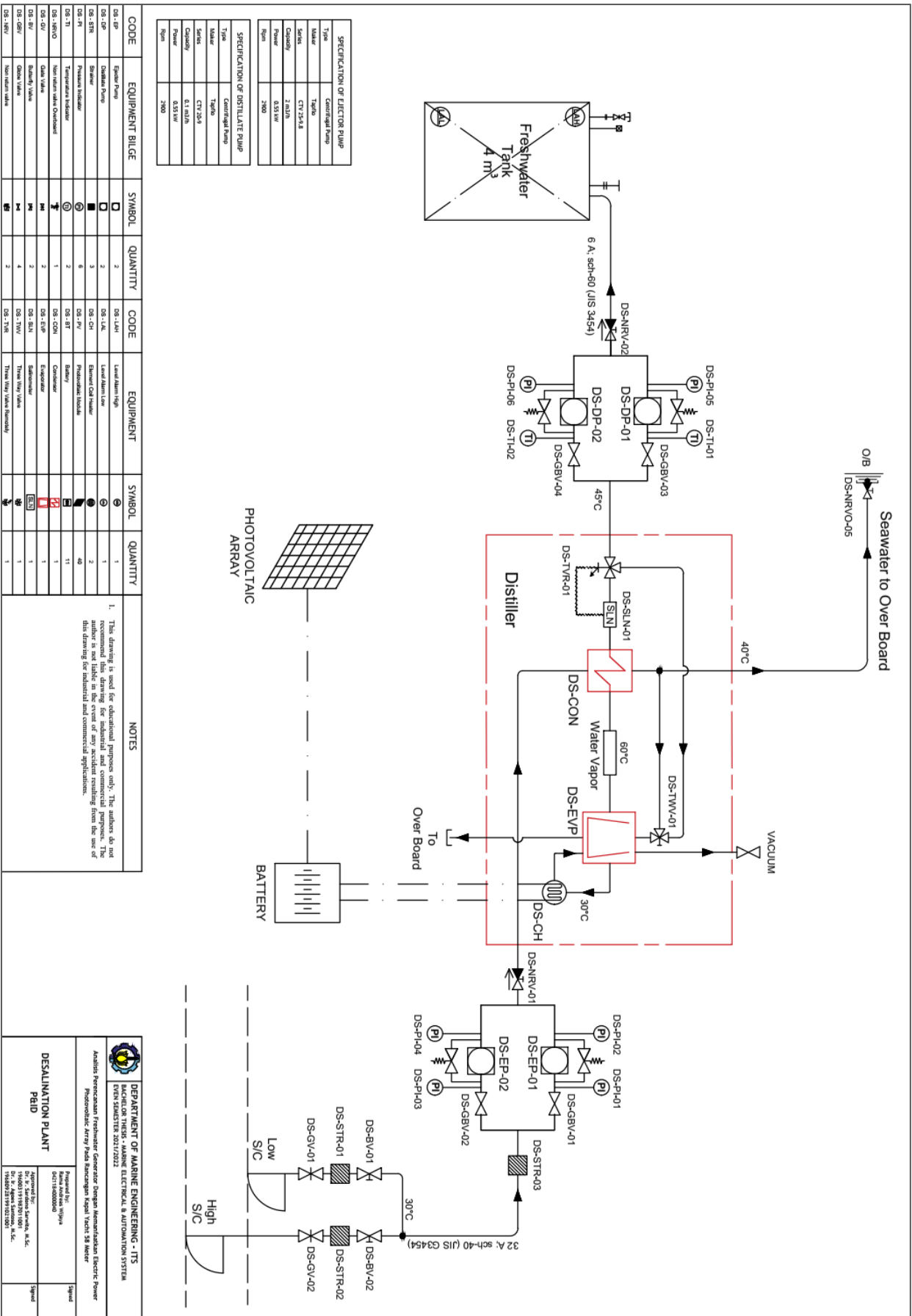
The performance curves are based on water.



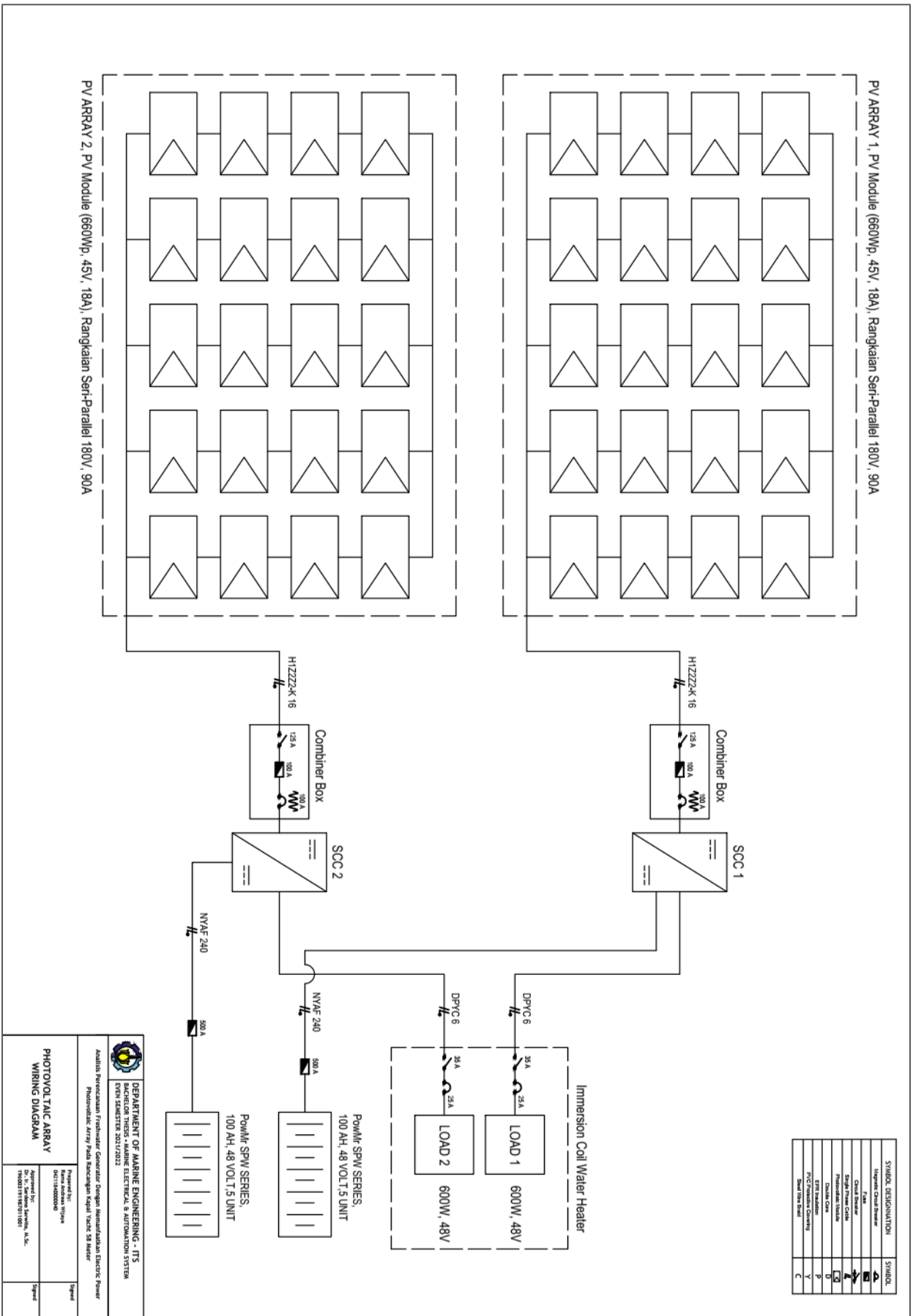
## 13. Tabel Kabel DPYC

Conductor			Thick. of insulation	Thick. of bedding	Dia. of steel wire	(FA-) DPYC		
Size	Construction	OD				Nominal overall dia.	Tolerance	Cable weight (Approx.)
mm²	No./mm	mm	mm	mm	mm	mm	Kg/Km	
1.5	7/0.53	1.59	1	1.1	0.3	11.7	0.5	205
2.5	7/0.67	2.01	1	1.2	0.3	12.8	0.5	250
4	7/0.85	2.55	1	1.2	0.3	13.9	0.6	300
6	7/1.04	3.12	1	1.3	0.3	15.2	0.6	370
10	7/1.35	4.05	1	1.3	0.3	17.1	0.7	490
16	7/1.70	5.1	1	1.4	0.3	19.4	0.8	660
25	7/2.14	6.42	1.2	1.5	0.3	23	0.9	945
35	7/2.52	7.56	1.2	1.6	0.3	25.5	1	1200
50	19/1.78	8.9	1.4	1.8	0.3	29.4	1.2	1580
70	19/2.14	10.7	1.6	2	0.4	35.1	1.4	2300
95	19/2.52	12.6	1.6	2.1	0.4	39.1	1.6	2960
120	37/2.03	14.2	1.6	2.3	0.4	42.7	1.6	3600
150	37/2.25	15.8	1.8	2.4	0.4	46.8	1.7	4330
185	37/2.52	17.6	2	2.6	0.4	51.8	1.9	5330

# 14. P&ID untuk Sistem Desalinasi *Freshwater Generator* yang Direncanakan



### 15. Wiring Diagram Sistem Photovoltaic Array



SYMBOL	DESIGNATION	SYMBOL
	Inverter/Charger Breaker	
	Circuit Breaker	
	SINGLE PHASE CABLE	
	THREE PHASE CABLE	
	EARTH CONNECTION	
	P-Cable	
	Y-Cable	
	C-Cable	

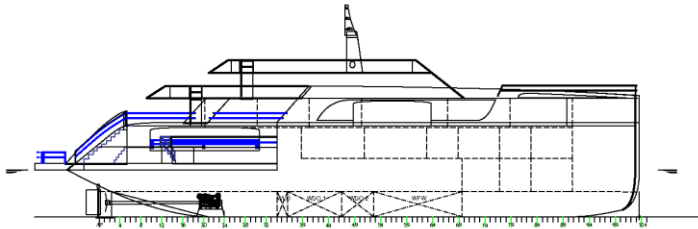
**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING - ITS**  
**BACHELOR THESIS - MARINE ELECTRIC & AUTOMATION SYSTEM**  
 Analisis Perencanaan Freshwater Generator Dengan Memanfaatkan Electric Power Photovoltaic Array Pada Kapal Perikanan Kapal Tackle 58 Meter  
 Seri Susut: 180119011801

**PHOTOVOLTAIC ARRAY WIRING DIAGRAM**

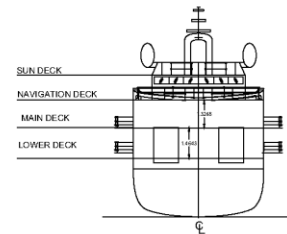
Disusun Oleh:	Pranata Nugraha	Signat
Dibimbing Oleh:	Dr. Ir. H. Agus Setiawan, M.Sc.	Signat

16. General Arrangement Kapal Yacht 58 Meter

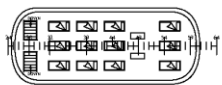
SIDE ELEVATION



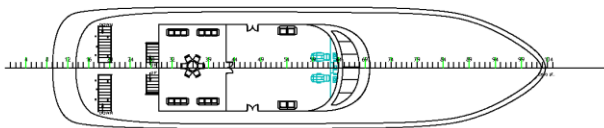
FRONT ELEVATION



SUN DECK



NAVIGATION DECK



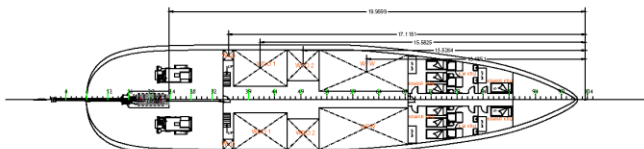
MAIN DECK



LOWER DECK



DOUBLE BOTTOM



PRINCIPAL DIMENSIONS	
LENGTH OVERALL	(L <sub>OA</sub> ) : 58 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	(L <sub>BP</sub> ) : 52 m
BREADTH	(B) : 12 m
HEIGHT	(H) : 9 m
DRAUGHT	(T) : 4.5 m
SERVICE SPEED	(V <sub>s</sub> ) : 10 Knots

	DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER			
	<h2 style="margin: 0;">KIREI CRUISE</h2> <h3 style="margin: 0;">GENERAL ARRANGEMENT</h3>			
SCALE	1 : 200	SIGNATURE	DATE	REMARK
DRAWN BY	Karika Deyastri			
NRP	4114100085			
CHECKED BY	Andi Nugroho Yulianto, S.T., M.T			
APPROVED BY	Dr. Hevly Andri Kurniawan, M.Sc.			

## 17. Demister

### Demister of evaporators

Demister of evaporators technology and description:

Item	DWG No.	Description (W × L × H)
Demister of evaporators, Density: 75Kg/Cu Meter, Wire Diameter: 0.25mm, Material: SUS 316L; Frame: Stainless Steel SUS 316L. Height of Pads: 152.4mm, Demister complete with SS316L frame		
1	TDC-82521	325 × 884 × 152.4
2	TDC-82521	315 × 884 × 152.4
3	TDC-82522	340 × 684 × 152.4
4	TDC-82522	325 × 684 × 152.4
5	TDC-82523	336 × 684 × 152.4
6	TDC-82524	340 × 684 × 152.4
7	TDC-82525	340 × 1034 × 152.4
8	TDC-82525	325 × 1034 × 152.4
9	TDC-82526	340 × 1184 × 152.4
10	TDC-82526	325 × 1184 × 152.4
11	TDC-82527	340 × 815 × 152.4
12	TDC-82527	325 × 815 × 152.4
13	TDC-82528	325 × 940 × 152.4
14	TDC-82528	315 × 940 × 152.4



## 18. Salinometer

### Salinometer for Freshwater Generators and Boilers SL8005

#### Function

The salinometer measures and supervises the salinity (salt content) by conductivity measurement in fresh water. The measured value is displayed as ppm and by comparing the measured value to a user defined alarm setpoint value, relay outputs are available to indicate if salinity is above or below the alarm setpoint value.

#### Typical Use

In areas where fresh water generation or purification is taking place and level of salinity in the fresh water must be monitored as well as in areas where a set level of salinity is requested in a process. Salinometers are used in: Freshwater Generators, Boilers, Reversed Osmosis Fresh Water Systems (RO) and other systems where salinity has to be supervised.

#### Mains Supply

85 - 265 V AC, 50/60 Hz, 10 VA typ. - 15 VA max.

Mains supply must be protected against overcurrent by an external 250 mA slow-blow fuse.

#### Measuring Salinity Range

Measuring salinity range: 0 - 200 ppm, displayed as "000" to "199" and "HI" if value exceeds 200 ppm.

#### Alarm Function

User defined alarm setpoint value (0 - 199 ppm) is set using "+" and "-" buttons. When measured value exceeds alarm setpoint, change-over relay contacts A and B are activated. Alarm relay B may be enabled/disabled from the front by pressing a button.



SL8005 for panel mounting



SL8005 in wallbox



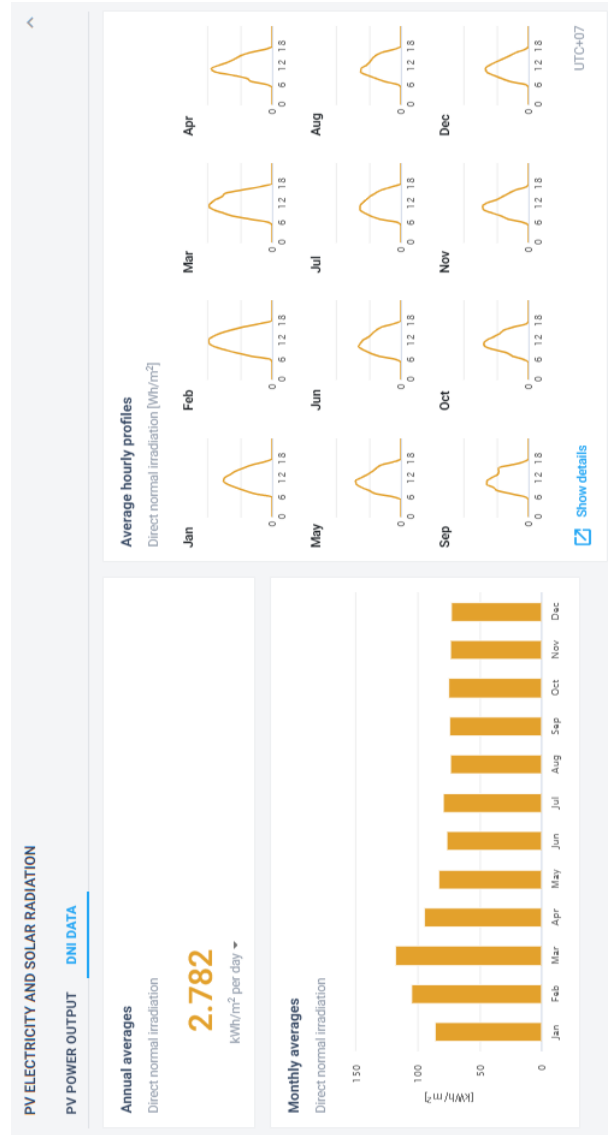
Electrode unit

I-0727

19. Data rata-rata Global Solar Irradiasi dalam (DNI Wh/m<sup>2</sup>) di Batam

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0-1												
1-2												
2-3												
3-4												
4-5												
5-6												
6-7		11	23	36	48	36	24	19	22	37	40	19
7-8	129	160	168	160	191	169	163	125	130	123	158	141
8-9	213	273	311	200	246	241	237	198	241	167	213	211
9-10	284	371	388	312	305	294	288	264	272	265	292	276
10-11	347	453	460	445	348	330	320	314	326	341	353	327
11-12	380	493	494	474	354	315	319	311	324	350	359	336
12-13	371	495	478	420	312	295	301	273	289	323	324	308
13-14	328	465	442	346	261	249	271	245	242	271	249	258
14-15	288	408	389	292	222	223	242	226	232	224	200	203
15-16	226	325	362	248	192	194	200	200	235	194	154	148
16-17	158	223	229	171	153	150	153	154	132	113	101	98
17-18	57	97	91	59	53	55	67	55	35	16	16	28
18-19		1										
19-20												
20-21												
21-22												
22-23												
23-24												
Sum	2782	3773	3833	3162	2686	2553	2582	2384	2481	2422	2458	2353

Source: globalsolarlatas.info



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rama Andreas Wijaya. Dilahirkan di Palembang, 20 Desember 2000, merupakan anak keempat dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Brawijaya 3 YPK Malang, SMPK PETRA Malang dan SMAN 2 Malang. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis melanjutkan jenjang pendidikan Program S1 (Strata 1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS dengan pendalaman bidang studi laboratorium *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*.

Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Penulis pernah menjalani Kerja Praktik di perusahaan PT. Orela Shipyard serta PT. Optima Sinergi Convestama (OPSICO) Terminal LPG Semarang pada saat semester 6. Pada bidang non-akademik Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) dan aktif sebagai Staff Departemen Komunikasi dan Informasi (Kominfo) Badan Eksekutif Mahasiswa FTK-ITS periode 2020/2021 kemudian dilanjutkan sebagai Wakil Ketua Divisi Media Visual Departemen Komunikasi dan Informasi (Kominfo) Badan Eksekutif Mahasiswa FTK-ITS periode 2021/2022. Apabila pembaca ingin berdiskusi dengan penulis dapat melalui e-mail: [ramaandreas.w@gmail.com](mailto:ramaandreas.w@gmail.com)