

**PROTOTIPE DISTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN LISTRIK
YANG DIHASILKAN DARI SISTEM *PHOTOVOLTAIC***

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Bidang Ilmu Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



Oleh :

YUSRIL MUHAMMAD YASIN

D331 16 509

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PROTOTYPE DISTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN LISTRIK
YANG DIHASILKAN DARI SISTEM *PHOTOVOLTAIC***

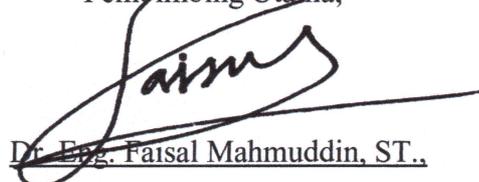
Disusun dan diajukan oleh

Yusril Muhammad Yasin

D331 16 509

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 11-10-2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST.,
M.Inf.Tech., M. Eng.

Nip. 198102112005011003

Pembimbing Pendamping


Ir. Syerly Klara, M.T

Nip. 196405011990022001

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan


Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M. Eng.
Nip. 198102112005011003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yusril Muhammad Yasin

NIM : D331 16 509

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PROTOTYPE DISTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN LISTRIK YANG
DIHASILKAN DARI SISTEM *PHOTOVOLTAIC*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya tersebut.

Makassar, 11 Oktober 2021

Yang menyatakan



(Yusril Muhammad Yasin)

KATA PENGANTAR



Puji syukur selalu penulis lantunkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “ Prototipe Distilator Dengan Memanfaatkan Listrik Yang Dihasilkan Dari Sistem *Photovoltaic*” dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa terlimpah dan tucurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Aamin Aamin Ya Robbal Aalamiin.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program S1 (Strata Satu) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Selesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibunda Harianti dan Ayahanda Mali' Sallun yang senantiasa mendoakan, memberikan motivasi, dan dukungan materi selama ini.
2. Bapak Dr. Eng Faisal Mahmuddin, ST., MT., Tech, M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, sekaligus dosen pembimbing I yang telah mengarahkan, membimbing, dan memotivasi penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Ir. Syerly Klara, MT selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan banyak waktu untuk mengarahkan, membimbing, dan memotivasi penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Andi Husni Sitepu, ST., M.T dan Bapak Baharuddin. ST., MT selaku penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang dijadikan sebagai bahan perbaikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. Bapak Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan saran, masukan, dan motivasi selama masa perkuliahan.
6. Dosen-dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, dan motivasi selama perkuliahan.
7. Seluruh kanda-kanda senior yang selalu memberikan kritik dan saran yang dijadikan sebagai bahan motivasi diri untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh saudara-saudari mahasiswa Jurusan Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Khususnya, CRUIZER 2016 yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan serta waktu yang telah dilalui bersama.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran serta kritik penulis harapkan sebagai bahan pertimbangan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini.

Gowa, 2021

Yusril Muhammad Yasin
Penulis

ABSTRAK

Yusril Muhammad Yasin. D331 16 509. “Prototipe Distilator Dengan Memanfaatkan Listrik Yang Dihasilkan Dari Sistem *Photovoltaic*”

Dibimbing oleh Dr.Eng. Faisal Mahmuddin ST.,M.Eng. dan Ir. Syerly Klara, MT.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat prototipe distilator dengan memanfaatkan listrik dari sistem *photovoltaic*, dan menguji performa prototipe dalam menghasilkan air tawar. Indonesia merupakan negara kepulauan yang rata-rata penduduknya tinggal di daerah pesisir yang berprofesi sebagai nelayan dan kekurangan menghasilkan air tawar. Pemanfaatan *solar panel* pada kapal listrik nelayan, dapat kita gunakan sebagai sumber listrik untuk memasukan element yang ada di dalam prototipe distilator untuk mengubah air laut menjadi air tawar. Pada penelitian ini kita memvariasikan daya *solar panel* yaitu 80WP, dan 100WP, yang akan digunakan untuk memanaskan element di dalam prototipe distilator untuk mendistilasi air laut, yang nantinya akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan air tawar nelayan selamat melaut, agar tidak lagi membawa air tawar saat melaut. Dari hasil satu hari pengujian selama 9 jam dari prototipe distilator didapat, rata-rata nilai laju perpindahan panas selama satu hari pengujian adalah 24,516 W, sedangkan rata-rata nilai koefisien perpindahan panas selama satu hari pengujian adalah 18,830 W/m²K, adapun distilasi yang dihasilkan selama satu hari adalah 120 ml, dan efisiensi tertinggi *solar panel* 80 W adalah 12,813 %, sedangkan efisiensi tertinggi *solar panel* 100 W adalah 8,610 %.

Kata kunci : Prototipe, *Photovoltaic*, *Solar panel*, Distilasi, Perpindahan Panas Konveksi, Perpindahan Panas Radiasi

ABSTRACT

Yusril Muhammad Yasin. D331 16 509. "Distillator Prototype Using Electricity Generated From Photovoltaic System"

Consultant by Dr.Eng. Faisal Mahmuddin ST., M. Eng. and Ir. Syerly Klara, MT.

This research aimed to make a prototype of a distillator by utilizing electricity from a photovoltaic system, and to test the performance of the prototype in producing fresh water. Indonesia is an archipelagic country whose average population lives in coastal areas who work as fishermen and lack of fresh water. Utilization of solar panels on electric fishing boats, we can use as a source of electricity to cook the elements in the distillator prototype to convert seawater into fresh water. In this research, we vary the power of the solar panel, namely 80WP, and 100WP, which would be used to heat the elements in the distillator prototype to distill seawater, which would later be used to meet the freshwater needs of fishermen safely at sea, so they no longer carry fresh water when fishing. From the results of one day of testing for 9 hours from the prototype ditilator, the average heat transfer rate for one day of testing is 24.516 W, while the average value of the heat transfer coefficient for one day of testing is 18.830 W/m²K, as for the resulting distillation for one day is 120 ml, and the highest efficiency of 80W solar panel is 12.813% while the highest efficiency of 100W solar panel is 8.610%.

Key words : Prototype, Photovoltaic, Solar panel, Distillation, Convection Heat Transfer, Radiation Heat Transfer

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBARAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR SIMBOL	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	2
I.3. Batasan Masalah	3
I.4. Tujuan Penelitian	3
I.5. Manfaat Penelitian	3
I.6. Sistematika Penelitian.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
II.1. Definisi Desalinasi	5
II.2. Teknologi Desalinasi Air Laut	5
II.2.1 Teknologi Desalinasi Termal	5
II.2.2 Teknologi Desalinasi Membran	6
II.3. Pemanfaatan <i>Solar panel</i>	8
II.3.1 Energi Matahari	8
II.3.1 Macam-Macam <i>Solar panel</i>	8
II.4. Analisa Perhitungan Transfer Kalor	9
II.4.1. Perpindahan Panas Konveksi	9
II.4.2. Perpindahan Panas Radiasi	10
II.5. Efisiensi <i>Solar panel</i>	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
III.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	13
III.1.1 Tempat dan Lokasi Penelitian.....	13

III.1.2 Waktu Pengambilan Data Penelitian	13
III.2. Desain Alat Pengujian	13
III.3. Prototipe Distilator	13
III.4. Alat dan Bahan Penelitian	14
III.5. Tahapan Pengujian Prototipe	17
III.6. Cara Analisis Data	17
III.7. Kerangka Pemikiran	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
IV.1 Pembuatan Prototipe Distilator	19
IV.2 Hasil Pengujian Distilator Satu Hari	21
IV.2.1 Suhu Air Satu Hari	21
IV.2.2 Volume Air Distilasi Satu Hari	23
IV.3 Perhitungan Hasil Data Pengujian Satu Hari	23
IV.3.1 Koefisien Perpindahan Panas Konveksi dan Radiasi	23
IV.3.2 Laju Perpindahan Panas Konveksi dan Radiasi	27
IV.4 Efektivitas Penghasilan Prototipe Distilator.....	33
IV.5 Perhitungan Efisiensi <i>Solar panel</i>	33
BAB V PENUTUP	41
V.1 Kesimpulan	41
V.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42

LAMPIRAN

- Dokumentasi Pembuatan Prototipe Distilator
- Dokumentasi Pengujian Prototipe Distilator
- SK Pembimbing

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Input, Proses, Dan Output Utama Desalinasi Energi Surya	.....5
Gambar 2.2	Diagram unit MSF	.....6
Gambar 2.3	Diagram unit MED	.....6
Gambar 2.4	Diagram unit VC	.....6
Gambar 2.5	Diagram unit RO	.....7
Gambar 2.6	Diagram unit ED	.....7
Gambar 3.1	Desain alat	.....13
Gambar 3.2	<i>Solar panel 1</i>	.....14
Gambar 3.3	<i>Solar panel 2</i>	.....14
Gambar 3.4	Glow Plug	.....15
Gambar 3.5	Multi meter	.....15
Gambar 3.6	Thermometer Suhu Air	.....15
Gambar 3.7	Stopwatch	.....16
Gambar 3.8	Plat Besi	.....16
Gambar 3.9	Akrilik	.....16
Gambar 4.1	Koneksi Komponen Distilator	.....19
Gambar 4.2	Tampak Depan Desain Bagian Dalam Prototipe Distilator	.....20
Gambar 4.3	Tampak Samping Desain Bagian Dalam Prototipe Distilator	.....20
Gambar 4.4	Tampak Atas Prototipe Distilator	.....20
Gambar 4.5	Tampak Depan Prototipe Distilator	.....20
Gambar 4.6	Bagian Keseluruhan Dari Instalasi Prototipe Distilator	.....20
Gambar 4.7	Grafik hubungan antara waktu dengan suhu air laut dalam satu hari	.....21
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara waktu dengan intensitas rasdiasi matahari	.....22

Gambar 4.9	Grafik hubungan antara waktu dengan volt source, dan arus	22
Gambar 4.10	Volume air distilasi	23
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Waktu Dengan h_c dan h_r	27
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Q_c dan Q_r Dalam Bentuk Presentase Terhadap Waktu	32
Gambar 4.13	Grafik perbandingan efisiensi <i>solar panel</i> 80WP dan 100WP selama percobaan	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi <i>Solar panel 1</i>	.....14
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Solar panel 2</i>	.....14
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Prototipe Distilator Satu Hari	.....21
Tabel 4.2	Hasil Data Volume Air Distilasi Satu Hari	.....23
Tabel 4.3	Tabulasi Waktu Terhadap h_c & h_r	.....26
Tabel 4.4	Tabulasi Perbandingan Q_c dan Q_r	.....32
Tabel 4.5	Tabel efisiensi <i>solar panel 80WP</i>	.....36
Tabel 4.6	Tabel efisiensi <i>solar panel 100WP</i>	.....39

DAFTAR SIMBOL

A	: Luas Permukaan (m^2)
D	: Diameter Pipa Tembaga (m)
FF	: Faktor pengisi
hc	: Koefisien Perpindahan Konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
hr	: Koefisien Perpindahan Panas Radiasi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
Im	: Arus maksimum (Ampere)
Isc	: Arus hubungan singkat (Ampere)
Ir	: Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
P_{in}	: Daya intensitas matahari (watt)
P_{max}	: Daya maksimum keluaran (watt)
P_{out}	: Daya keluaran (W)
Qc	: Laju Perpindahan Panas Konveksi (W)
Qr	: Laju Perpindahan Panas Radiasi (W)
$T_{sw_{out}}$	: Suhu Air Laut Setelah Dipanaskan ($^\circ C$)
$T_{sw_{in}}$	: Suhu Awal Air Laut ($^\circ C$)
Vm	: Tegangan maksimum (Volt)
Voc	: Tegangan rangkaian terbuka (Volt)
ε	: Daya Emisi (Emissive Power) Benda (W/m^2)
σ	: Konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^2$)
η	: Efisiensi <i>solar panel</i> (%)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang berjudul “Protoripe Distilator Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Penggerak Kapal” oleh Aldy Nuary S (2019). Berbagai macam kendala yang dihadapi masyarakat dalam memperoleh air tawar dikarenakan daerah pemukiman penduduk yang memiliki kondisi yang berbeda-beda. Masyarakat yang bermukim di daerah yang terdapat banyak sumber air bersih dan air tawar, bukanlah suatu masalah. Hal tersebut jauh berbeda jauh jika dibandingkan dengan masyarakat yang bermukim pada daerah-daerah yang terletak di pulau-pulau kecil, daerah pesisir pantai dan masyarakat nelayan. Masyarakat pesisir yang notabenehnya nelayan terbatas dalam menghasilkan air tawar, dimana pada saat mereka melaut jumlah air tawar yang mereka bawa terbatas disebabkan daya muat dari kapal akan air tawar terbatas, para nelayan ini biasanya berlayar selama beberapa hari, beberapa minggu bahkan berbulan-bulan tergantung pada lama mereka mencari ikan.

Berdasarkan uraian di atas maka untuk mengatasi kendala yang dihadapi perlu diterapkan suatu teknologi tepat guna yang diharapkan dapat membantu masyarakat nelayan untuk memperoleh air tawar, adapun solusi yang diupayakan adalah destilasi atau penyulingan air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan energi panas matahari yang selama ini belum dimanfaatkan. Destilasi pemanfaatan panas matahari

ini dapat mengubah fase cair menjadi fase uap air laut dan fase uap menjadi air tawar. Suhu yang diperlukan untuk mengubah fase air laut menjadi uap sebesar pada tekanan satu atmosfer.

Metode desalinasi yang akan digunakan adalah metode distilasi dimana panas matahari yang ditangkap *solar panel* yang akan digunakan memanaskan air laut sehingga beruap kemudian diproses lagi untuk menjadi air tawar. Dalam penelitian sebelumnya, telah dilakukan perhitungan untuk membuat desain prototipe desalinasi yang efisien dengan menggunakan prototipe distilator yang di uji lab, desain dan spesifikasi desalinasi ini dibuat sehingga dapat mengkonversi air laut menjadi air tawar.

Dari uraian diatas dan dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka penulis akan meneliti mengenai “Prototipe Distilator Dengan Memanfaatkan Listrik Yang Dihasilkan Dari Sistem *Photovoltaic*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang dapat dikemukakan pada studi ini yaitu :

1. Bagaimana merancang dan membuat sebuah prototipe distilator air laut dengan memanfaatkan panas listrik yang dihasilkan sistem *photovoltaic* ?
2. Bagaimana menentukan laju dan koefisien perpindahan panas dari prototipe tersebut ?
3. Berapa volume air distilasi yang dihasilkan selama pengujian ?

4. Berapa efisiensi tertinggi dari *solar panel* tersebut ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup maka diberikan batasan :

1. *Solar panel* yang digunakan adalah 80WP, 100 WP.
2. Fluida yang digunakan adalah air laut.
3. Volume air laut dalam wadah 3,5 liter.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membuat sebuah prototipe distilator air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan listrik *solar panel*.
2. Mengetahui laju dan koefisien perpindahan panas dari prototipe distilator tersebut.
3. Mengetahui berapa banyak volume air distilasi yang dihasilkan selama satu hari pengujian.
4. Mengetahui nilai dari efisiensi dari *solar panel*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memanfaatkan listrik yang dihasilkan dari *solar panel* untuk mengubah air laut menjadi air tawar.
2. Mengurangi beban nelayan dalam membawa air tawar saat melaut.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, penulis membagi kerangka masalah menjadi beberapa bagian yaitu sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang berkaitan dengan pembahasan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, perolehan data, penyajian data dan kerangka pemikiran

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari penelitian tersebut

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran sebagai jawaban akhir dari permasalahan yang di analisa.

Daftar Pustaka

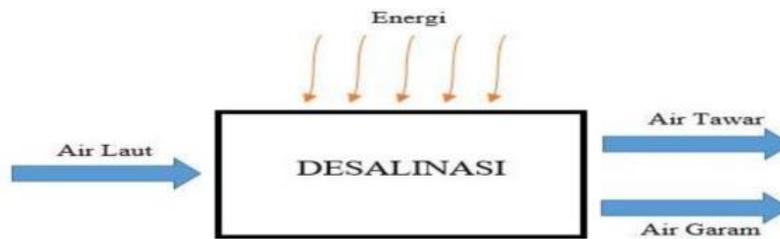
Lampiran

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Definisi Desalinasi

Menurut kamus besar bahasa indonesia (KBBI), desalinasi adalah suatu proses untuk membuat air laut menjadi air tawar. Proses ini dimanfaatkan untuk mendapatkan air yang dapat dikonsumsi oleh makhluk hidup. Hasil sampingan dari proses ini ialah garam. Ketika air laut dididihkan, garam akan mengendap dan air akan menguap. Air yang menguap akan menghasikan uap yang dapat berubah fasa ketika temperature menurun. Perubahan fasa yang terjadi ialah kondensasi yang dapat merubah uap menjadi air kembali (I Gede Yogi Dewantara dkk, 2018).

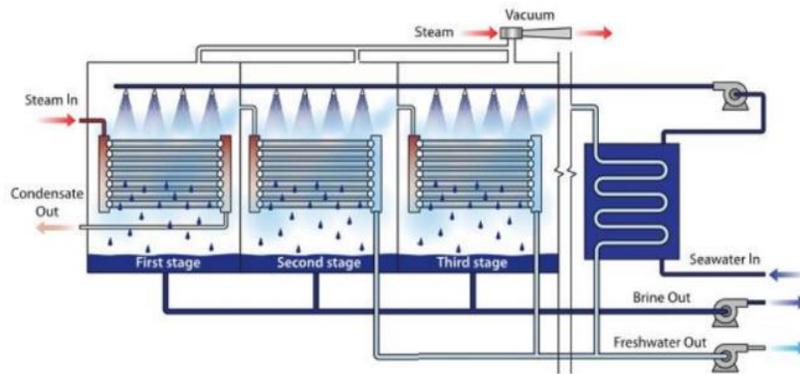


Gambar 2.1 Input, proses, dan output utama desalinasi energi surya

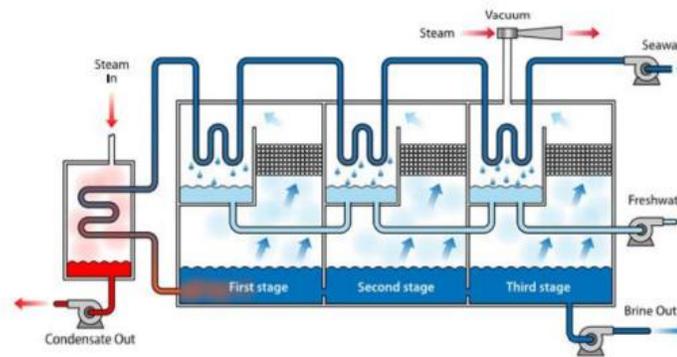
II.2 Teknologi Desalinasi Air Laut

II.2.1 Teknologi desalinasi termal

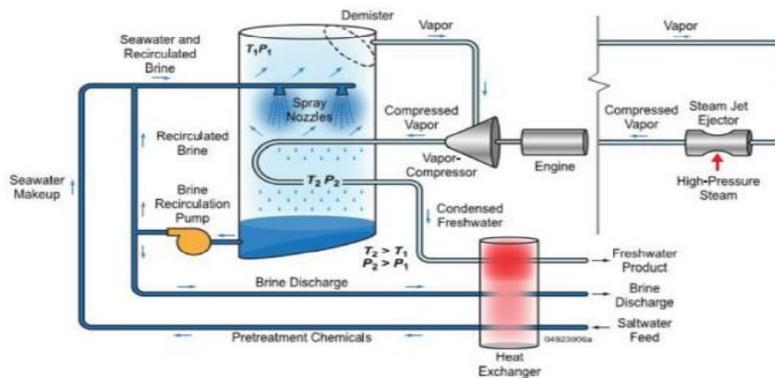
Proses destilasi meniru siklus air alami, sebagaimana larutan garam dipanaskan, menghasikan uap air, kemudian air dikondensasikan menjadi air tawar. Proses yang termasuk tipe ini adalah MSF (*Multi-stage Flash*), MED (*Multi-effect Distillation*), VC (*Vapor Compression*). Saat ini 25% kapasitas desalinasi dunia berbasis MSF. Namun teknologi desalinasi lainnya seperti MED dan VC meningkat pesat dan diantisipasi akan berperan penting di masa yang akan datang. Sebab MED dan VS akan lebih dipahami dan diterima. Seluruh proses ini membutuhkan energi termal atau mekanis untuk menguapkan air.



Gambar 2.2 Diagram unit MSF



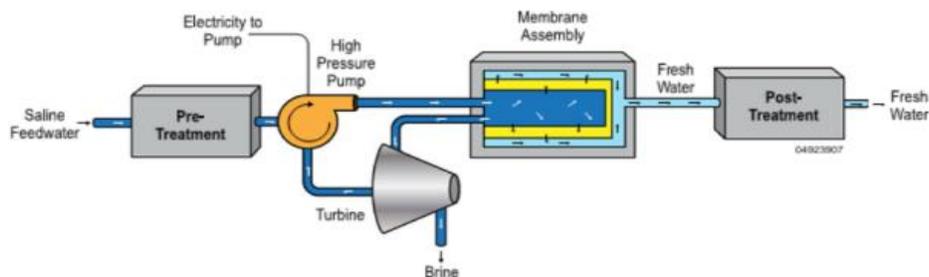
Gambar 2.3 Diagram unit MED



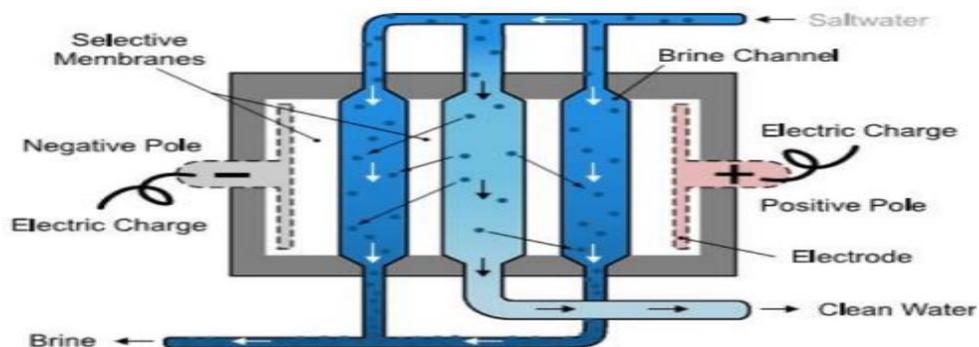
Gambar 2.4 Diagram unit VC

II.2.2 Teknologi desalinasi membran

Membran dan penyaring dapat secara selektif melewatkan atau merejeksi ion tertentu, dan teknologi desalinasi telah dirancang dengan memanfaatkan kemampuan tersebut. Membrane memainkan peran penting dalam memisahkan garam dalam proses desalinasi dan osmosis. Prinsip alami ini telah diadaptasi oleh dua proses desalinasi penting yang komersial, *electrodialysis* (ED) dan *reverse osmosis* (RO). Meskipun mereka biasanya digunakan untuk menghilangkan garam air payau, pengebangannya yang meningkat memungkinkan untuk diaplikasikan pada air laut. Sejumlah system desalinasi jika menambahkan unit filtrasi sebelum masuk unit utama untuk menghilangkan kontaminasi yang dapat mempengaruhi operasi filter jangka panjang. Ssstem filtrasi yang dimaksud yaitu *microfiltrasi*, *nanofiltarasi*, dan *ultrafiltrasi* (Sudrajat Harris Abdulloh, 2015).



Gambar 2.5 Diagram unit RO



Gambar 2.6 Diagram unit ED

II. 3 Pemanfaatan *Solar panel*

II.3.1 Energi Matahari

Energi matahari berkenaan dengan listrik dan panas yang di manfaatkan dari matahari. Listrik DC yang didapat langsung dari matahari dengan menggunakan PV (Sudrajat Harris Abdulloh, 2015).

Asaad Rehman Saeed Al-hilhy dengan judul penelitian *Development of Basin Solar Still By Adding Magnetic Treatment Unit and Double Glass Cover Provit With Water*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata intensitas matahari adalah 889,55 W/m². Suhu basin solar still, permukaan penutup kaca dan ambien meningkat, dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari. Maksimum suhu air di basin solar still 56,61°C menggunakan air magnetic + penutup kaca tunggal yang memiliki kinerja terbaik dibandingkan dengan perlakuan lain dan memiliki pH 7,03, konduktivitas listrik minimum adalah 0,000672 S/m dan kecepatan mencapai 1000kg/m² dan memberikan efisiensi tertinggi pada 32,55% dan produktivitas meningkat 50% dibandingkan dengan konvensional (M. Syafwansyah Effendi dkk, 2018).

II.3.2 Macam-Macam *Solar panel*

a. Monokristal

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas.

b. Polikristal

Merupakan panel surya yang memiliki susunan Kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama.

c. Thin Film *Photovoltaic*

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal (Bambang Hari Purwoto, dkk, 2007).

II.4 Analisa Perhitungan Transfer Kalor

II.4.1 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur, konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat, cairan atau gas. Perpindahan panas secara konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) menurut cara menggerakkan alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu maka disebut konveksi bebas atau alamiah. Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Keefektifan perpindahan panas dengan cara konveksi tergantung sebagian besarnya pada gerakan mencampur fluida. Akibatnya studi perpindahan panas konveksi didasarkan pada pengetahuan tentang ciri-ciri aliran fluida. (Frank Kreith., 1985)

$$q_c = h.A (T_f - T_w) \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

q_c : laju aliran panas konveksi (watt)

h : koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A : luas permukaan yang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2)

T_f : temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

T_w : temperatur permukaan ($^{\circ}\text{C}$)

II.4.2 Perpidahan Panas Radiasi

Radiasi termal adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena suhunya. Banyak proses dalam industri seperti pemanasan, pendinginan dan pengeringan berlangsung dengan perpindahan panas secara pancaran termasuk pembakaran minyak hidrokarbon dan tenaga pancaran dari matahari. Dengan teori relativitas dan thermodinamika statistic maka akan diperoleh suatu rumus yang disebut Hukum *Stefan Boltzmann* dimana energi total yang dipancarkan oleh suatu benda sebanding dengan pangkat 4 suhu absolut. (Buku Ajar Perpindahan Panas)

$$qr = \varepsilon \sigma A T^4 \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

qr : laju perpindahan panas radiasi, watt (Btu/h)

A : luas permukaan, m^2 (ft^2)

T : suhu absolut benda, K ($^{\circ}\text{R}$)

ε : daya emisi (*emissive power*) benda (W/m^2)

σ : konstanta *Stefan-Boltzmann* ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^2$)

II.5 Efisiensi *Solar panel*

Efisiensi sel surya (η) adalah perbandingan daya keluaran dengan daya intensitas matahari dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

η : efisiensi *solar panel* (%)

P_{in} : daya intensitas matahari (watt)

P_{max} : daya maksimum keluaran (watt)

Daya keluaran (P_{out}) pada sel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

P_{out} : daya keluaran (W)

V_{oc} : tegangan rangkaian terbuka (Volt)

I_{sc} : arus hubungan singkat (Ampere)

FF : faktor pengisi

Daya masuk (P_{in}) diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya menggunakan persamaan :

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

P_{in} : daya input akibat radiasi matahari (W)

I_r : intensitas radiasi matahari (W/m^2)

A : luas area permukaan *solar panel* (m^2)

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek dengan persamaan (Rifaldo Pido, dkk, 2018) :

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

- FF* : factor pengisi
- V_m* : tegangan maksimum (Volt)
- I_m* : arus maksimum (Ampere)
- V_{oc}* : tegangan rangkainan terbuka (Volt)
- I_{sc}* : arus hubungan singkat (Ampere)