

# Rancang Bangun Alat Desalinasi Air Laut Sistem Vakum Natural dengan Media *Evaporator* dan Kondensor yang Dimodifikasi *Flange*

Frenky Christian Nababan dan Himsar Ambarita

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Padang Bulan, Medan 20155, Indonesia

E-mail : frenkycn@gmail.com

## ABSTRAK

*Desalinasi air sistem vakum natural merupakan sebuah konsep inovatif sistem desalinasi baru yang memanfaatkan gaya gravitasi natural dan tekanan atmosfer untuk membentuk ruang vakum dimana air laut dievaporasikan menggunakan sumber panas dengan tingkat yang rendah. Sistem kerja alat desalinasi vakum natural terdiri dari evaporator berluas alas 0,2 m<sup>2</sup> menggunakan heater listrik dengan kebutuhan daya yang rendah sebagai sumber panas, pipa APK setinggi ± 10 m untuk membentuk kondisi vakum, kondensor yang dimodifikasi flange, dan 3 buah tangki sebagai penyuplai air laut, pembuangan konsentrat garam, dan pembuangan hasil kondensasi (air bersih). Evaporator dihubungkan dengan kondensor sebagai kondensasi uap air yang diambil sebagai produk. Proses pembentukan kondisi vakum dengan sistem natural dilakukan dengan meletakkan alat desalinasi pada ketinggian ± 10,34 m (ketinggian yang dibutuhkan pipa air yang dapat menyeimbangkan tekanan atmosfer). Pada penelitian ini konsep dipelajari secara teoritis dan eksperimental. Dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan pukul 09:00-17:00 WIB selama enam hari pada tanggal 12-14 November 2015 dan dilanjutkan 16-18 November 2015 diperoleh, kinerja alat desalinasi berada pada temperatur rata-rata evaporasi 50°C pada tekanan vakum rata-rata 61,083 cmHg dengan energi listrik rata-rata proses evaporasi selama pengujian adalah 1 kWh dan total kehilangan panas rata-rata 7,45 W. Adapun kuantitas air bersih rata-rata perhari yang diperoleh ialah 1,15 L.*

**Kata Kunci:** Air, desalinasi, vakum natural, evaporative cooling.

## ABSTRACT

*Water Desalination Natural Vacuum System is a new innovative desalination concept which uses natural gravitational forces and atmosphere pressure to create vacuum conditions where seawater evaporated using low grade heat. The system consists of an evaporator with a cross section area of 0.2m<sup>2</sup> using electric heater with low grade heat as a heat source, heat exchanger pipe with a height of about 10 m to provide vacuum condition, a modified flange condenser, and three vessels as seawater feeder, brine withdrawal, and condensate withdrawal (fresh water). Evaporator is connected with the condenser as vapor condensation which is the product of the system. The process of creating vacuum condition with natural system is done by positioning evaporator at a height of about 10.34 m (which is the height needed by the water pipe to balance the atmosphere pressure). In this research the concept was studied theoretically and experimentally. Based on experiments done from 09:00 – 17:00 West Indonesian Time for 6 days from November 12<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> and November 16<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup> 2015, the performance of the desalination unit at an average temperature of evaporation about 50°C and an average vacuum pressure 61.083 cmHg with an average power consumption for evaporation needed by the desalination unit is 1 kWh and the average total heat loss is 7.45 W. The average quantity of fresh water produced per day is 1.15 L.*

**Keywords :** Water, desalination, natural vacuum, evaporative cooling.

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan air bersih semakin meningkat dari hari ke hari yang disebabkan oleh faktor industrialisasi, motorisasi, dan peningkatan standar hidup umat manusia. Penelitian menunjukkan bahwa cadangan air bersih tidak akan mampu memenuhi kebutuhan penggunaan karena kurangnya ketersediaan air bersih. Hal ini sudah diperkirakan oleh United Nations Organization bahwa pada tahun 2025, hampir 1800 juta jiwa di dunia akan mengalami kelangkaan air bersih [1]. Kondisi ini dapat dicegah jika umat manusia dapat menemukan cara lain untuk memproduksi air bersih. Untungnya, teknologi desalinasi telah dikembangkan sejak lama menyerupai siklus hidrologi alami untuk mencegah permasalahan ini, tetapi teknologi ini tentunya memerlukan energi yang banyak dan mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan.

## 1.2 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah di dalam penelitian ini:

1. Perancangan dan pembuatan alat desalinasi sistem vakum.
2. Variabel yang diamati adalah temperatur, waktu, tekanan, kuantitas produksi air bersih dan bahan yang dipakai dalam pengujian.
3. Pengujian dilakukan di kota Medan yang terletak pada posisi 4°LU - 98°BT dengan ketinggian 2,5 - 37,5 m di atas permukaan laut.
4. Sumber panas menggunakan pemanas listrik agar suplai panas ke *evaporator* merata dan tidak mengganggu perhitungan konfigurasi *evaporator* dan kondensor.
5. Efek radiasi diabaikan.
6. Panas hilang secara konveksi natural.
7. Ketinggian air laut dalam *evaporator* konstan.

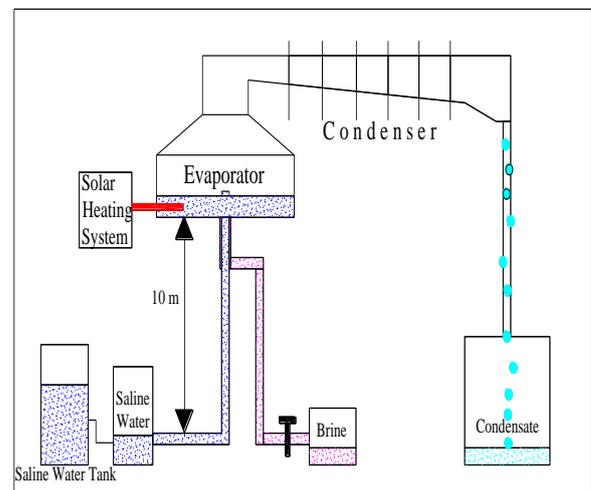
# 2. TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Teori Dasar Desalinasi

Desalinasi secara luas diadopsi dan Timur Tengah, Negara Arab, Amerika Utara, Asia, Eropa, Afrika, Amerika Tengah, Amerika Selatan

dan Australia untuk memenuhi kebutuhan air bersih dan kebutuhan pengolahan air. Hampir 10000 ton minyak dibutuhkan setiap tahun untuk memproduksi 1000 m<sup>3</sup>/hari air bersih [2]. Sistem desalinasi konvensional yang dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar fosil juga turut berkontribusi emisi rumah kaca atau GHG (Green House Gas) [3].

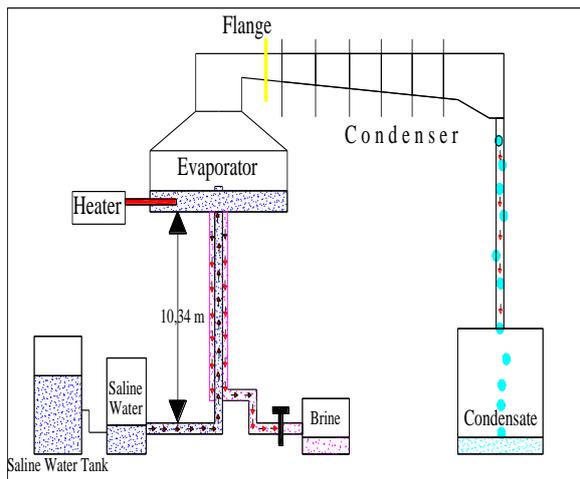
Desalinasi pada prinsipnya merupakan cara untuk mendapatkan air bersih melalui proses penyulingan air kotor. Secara umum terdapat berbagai cara yang sering digunakan untuk mendapatkan air bersih yaitu: perebusan, penyaringan, desalinasi dan lain-lainnya. Cara perebusan dilakukan hanya untuk mematikan kuman dan bakteri-bakteri yang merugikan, namun kotoran yang berupa padatan-padatan kecil tidak bisa terpisah dari air. Penyaringan digunakan hanya untuk menyaring kotoran-kotoran yang berupa padatan kecil, namun kuman dan bakteri yang merugikan tidak bisa terpisah dari air. Desalinasi merupakan cara yang efektif digunakan untuk menghasilkan air bersih yang bebas dari kuman, bakteri, dan kotoran yang berupa padatan kecil. Proses desalinasi secara umum biasanya yang diambil hanyalah air kondensatnya, sedangkan konsentrat garam dibuang dan ini dapat berakibat buruk bagi kehidupan air laut [4].



Gambar 1. Sistem Desalinasi Natural Vakum

Proses desalinasi yang akan penulis bahas pada penelitian ini adalah desalinasi sistem vakum dengan modifikasi suplai panas menggunakan elemen pemanas berdaya rendah. Konsep dari sistem ini adalah memanfaatkan ruang vakum yang dibentuk secara alami untuk dapat

mengevaporasikan sejumlah air laut pada tekanan rendah sehingga dapat berevaporasi dengan suplai energi panas yang lebih sedikit dibanding dengan teknik konvensional. Suplai energi panas yang sedikit dapat diambil dari kolektor surya plat datar dan/atau panas yang dibuang. Namun pada penelitian ini akan digunakan elemen pemanas daya rendah agar suplai panas dalam *evaporator* konstan. Keunikan dari sistem ini adalah cara gaya gravitasi dan tekanan atmosfer digunakan dalam pembentukan kondisi vakum. Pembentukan sistem vakum bertujuan untuk menurunkan tekanan ruang *evaporator* agar pemanasan dapat berlangsung dengan suplai panas yang rendah. Tekanan atmosfer akan sama dengan tekanan hidrostatik yang dibentuk dengan pipa air yang tingginya sekitar 10 m. Jadi, jika ketinggian pipa lebih dari 10 m dan ditutup dari bagian atas dengan air, dan air dibiarkan jatuh kebawah akibat gravitasi, air akan jatuh pada ketinggian sekitar 10 m, dan membentuk ruang vakum di atasnya [5].



**Gambar 2. Sistem Desalinasi Natural Vakum dengan menggunakan heater listrik dan modifikasi flange**

Kelebihan menggunakan Desalinasi Vakum Natural:

1. Tidak membutuhkan pompa vakum untuk penyuplaian air laut.
2. Biaya konstruksi termurah diantara semua jenis desalinasi tenaga surya.
3. Pemanasan dapat menggunakan suplai panas rendah karena sistem dalam keadaan vakum.

Kelemahan menggunakan Desalinasi Vakum Natural:

1. Konstruksi cukup sulit karena proses instalasi berhubungan dengan ketinggian.
2. Hanya cocok untuk pemakaian skala besar (untuk luas alas *evaporator* yang besar).
3. Pemilihan bahan konstruksi sangat mempengaruhi *lifetime* sistem.

Pada penelitian ini akan dibahas tentang rancang bangun desalinasi air sistem vakum untuk mengolah air laut menjadi air tawar dan konsentrat garam, kebutuhan penggunaan daya listrik yang digunakan selama proses evaporasi, besarnya kehilangan panas yang terjadi di *evaporator* selama proses berlangsung, kuantitas produksi air bersih yang diperoleh per hari, dan mengetahui kualitas produksi air yang diperoleh.

## 2.2 Analisis Kehilangan Panas di *Evaporator*

Selama pemanasan pada *evaporator*, akan terjadi kehilangan panas yang berasal dari alas *evaporator*, dinding *evaporator* dan bagian atas (kerucut) *evaporator*. Ketiga kehilangan panas ini dapat dinyatakan dengan rumus (1), (2) dan (3) berikut.

$$Q_{bottom} = \frac{T_{bottom} - T_a}{1 / h_{bottom} \cdot A_s} \quad (1)$$

$$Q_{side} = \frac{T_{side} - T_a}{1 / h_s 2\pi r_{ins} l_s} \quad (2)$$

$$Q_{top} = \frac{T_{top} - T_a}{1 / h_{top} \cdot A_{top}} \quad (3)$$

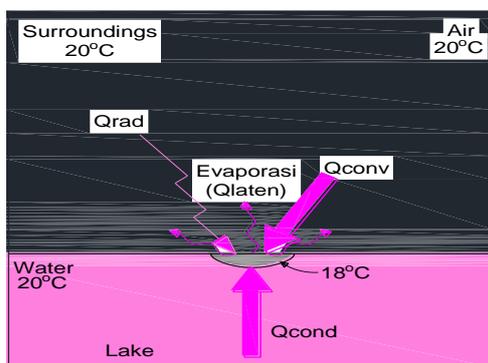
## 2.3 *Evaporative Cooling*

Fenomena yang terjadi pada *evaporator* untuk mengevaporasikan sejumlah fluida kerja bukan hanya bergantung pada pemanas air listrik, namun lebih bergantung pada fenomena *evaporative cooling* [6].

Untuk lebih memahami mekanisme *evaporative cooling*, bayangkan evaporasi air dari kolam renang ke udara. Asumsikan air dan udara bertemperatur sama pada kondisi awal. Jika udara bersaturasi (humiditas relatif 100%), maka tidak akan ada perpindahan panas atau massa selama

kondisi isothermal terjadi. Namun apabila udara tidak bersaturasi (humiditas relatif  $< 100\%$ ), maka akan ada perbedaan diantara konsentrasi uap air pada lapisan antara uap air dan udara (yang mana selalu tersaturasi) dan posisi di atas lapisan tersebut (lapisan batas konsentrasi). Perbedaan konsentrasi adalah gaya penggerak untuk perpindahan massa, dan oleh karena itu perbedaan konsentrasi ini akan menggerakkan air ke udara. Akan tetapi air harus berevaporasi terlebih dahulu, dan untuk berevaporasi air membutuhkan panas laten evaporasi. Pada kondisi awal, seluruh panas penguapan berasal dari air di dekat lapisan uap air – udara karena tidak ada perbedaan temperatur diantara air dan sekitarnya sehingga tidak mungkin ada perpindahan panas. Temperatur air yang dekat dengan permukaan harus turun sebagai akibat kehilangan panas sensibel, dimana juga menurunkan tekanan saturasi sehingga terbentuk uap air pada lapisan air – udara.

Penurunan temperatur ini membentuk perbedaan temperatur pada bagian atas air dan juga diantara air dan udara sekitarnya. Perbedaan temperatur ini akan menyebabkan perpindahan panas ke permukaan air dari udara dan bagian lebih dalam dari air, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Jika laju evaporasi tinggi dan kebutuhan panas penguapan lebih tinggi daripada jumlah panas yang dapat disuplai dari bagian bawah air dan sekitarnya, kekurangan panas akan disuplai oleh panas sensibel air pada permukaan, yang menyebabkan temperatur air pada permukaan akan jatuh lebih jauh. Fenomena ini akan berlangsung secara terus menerus hingga panas laten penguapan sama dengan laju perpindahan panas ke air pada permukaan.



**Gambar 3. Evaporative Cooling**

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu

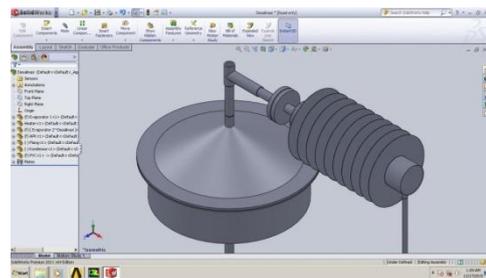
Perancangan alat desalinasi ini dikerjakan di laboratorium Instalasi Uap, Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, Jalan Civitas Akademika kampus USU, Medan, dengan waktu pengerjaan  $\pm 6$  minggu. Alat ini kemudian dipasang untuk pengujian/penelitian selanjutnya di koridor luar lantai 3 (Gedung J20) laboratorium menggambar teknik, Magister Pascasarjana Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jalan Tri Dharma kampus USU, Medan dengan lama pengujian 6 hari.

#### 3.2 Metode Desain

Cara merancang terdiri dari 4 tahap yang masing-masing terdiri dari beberapa langkah [7]. Keempat fase tersebut adalah :

1. Fase Fungsi (*Functional Phase*).
2. Fase Perancangan (*Design Phase*).
3. Fase Perumusan (*Formulation Phase*).
4. Hasil (*Result*).

Perancangan alat desalinasi ini terdiri dari *evaporator* dengan luas alas  $0,2 \text{ m}^2$  dengan kapasitas volume  $38 \text{ dm}^3$ , kondensor berdiameter 4 in, dengan panjang 50 cm. Kondensor ini dilengkapi dengan *fin* berdiameter 25,4 cm sebanyak 10 buah dengan jarak yang merata (4 cm) pada sisi kondensor dan ketebalan 1 mm.



**Gambar 4. Desain alat desalinasi menggunakan software Solidworks 2010**

Pada rancangan pipa APK (*tube-in-tube*) beserta pipa *fresh water*, dalam perancangannya pipa APK ini dirancang membentuk pipa annulus dengan dimensi 1 inci dan  $\frac{1}{2}$  inci yang dalam teorinya disebut *water desalination vacuum system*. Proses evaporasi air laut terjadi di dalam *evaporator* yang dilengkapi dengan *water heater* (pemanas air) sebagai pendukung proses kerja

evaporasi air laut dan proses perubahan fasa uap hasil evaporasi akan diteruskan untuk dikondensasikan di dalam kondesor. Karena alat ini bekerja secara vakum, proses kerjanya dirancang dengan memakai pipa dengan panjang (ketinggian alat) 10,34 m, dimana dirumuskan:

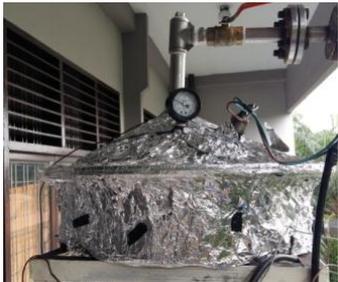
$$\begin{aligned}
 P &= \rho g h & (4) \\
 h &= \frac{P}{\rho g} \\
 &= \frac{101325 \text{ Pa}}{\left(998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} \\
 &= 10,34 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

**Tabel 1. Alat yang dipakai dalam penelitian**

|  |   |
|--|---|
| <p><b>1. Evaporator</b><br/>Sebagai alat evaporasi air laut. Bekerja dengan bantuan arus listrik yang disuplai ke <i>water heater</i>.</p> |  |
| <p><b>2. Elemen Pemanas</b><br/>Digunakan untuk membantu proses kerja evaporasi dalam <i>evaporator</i>.</p>                               |  |
| <p><b>3. Kondensor</b><br/>Digunakan sebagai proses kondensasi. Dilengkapi dengan <i>flange</i> agar dapat terkondensasi dengan baik.</p>  |  |

|   |  |
|---|--|
| <p><b>4. Pipa APK</b><br/>Sebagai pipa <i>inlet</i> masuknya air laut menuju <i>evaporator</i> saat pembuangan konsentrat garam yang masih panas menuju <i>brine tank</i> melalui pipa <i>outlet</i>, sehingga terjadi pemanasan di pipa <i>inlet</i>.</p>  |   |
| <p><b>5. Panel Termokontrol dan Termokopel</b><br/>Karena temperatur penguapan yang kecil ini, maka elemen pemanas dapat diatur lama pemanasan berdasarkan temperatur fluida di <i>evaporator</i>. Pengaturan lama pemanasan ini diatur oleh sebuah sensor temperatur yang disebut <i>thermocontrol</i> sedangkan pengukur temperatur dalam <i>evaporator</i> disebut termokopel.</p> |    |

|   |   |
|---|---|
| 6. Kompresor udara  |  |
| Kompresor udara digunakan untuk menguji kebocoran alat desalinasi |   |

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air laut sebanyak 150 L yang diambil dari pantai *Ocean Pacific* (OC), Belawan, Indonesia dengan kadar salinitas yang terkandung dalam air laut adalah 35% atau 3.5 g/kg (3.5 g dalam 1 kg air laut).

### 3.3.3 Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur variabel - variabel penelitian, antara lain:

**Tabel 2. Alat ukur variabel penelitian**

|   |   |
|---|---|
| 1. Agilent  |  |
| Digunakan untuk mengukur temperatur dalam sistem desalinasi.  |   |
| 2. <i>Laser Distance Meter</i>  |  |
| <i>Laser distance meter</i> digunakan sebagai alat pengukur ketinggian batas permukaan atas air laut di tangki inlet dengan alas evaporator di 10,34 m. |   |

|  |  |
|--|--|
| 3. <i>Vacuum Pressure</i>  |   |
| Digunakan untuk mengukur tekanan vakum yang bekerja pada sistem di <i>evaporator</i> dan kondensor yang masuk kompresor.   |  |
| 4. Gelas ukur  |  |
| Gelas ukur digunakan untuk mengukur kuantitas air bersih hasil produksi yang diperoleh selama pengujian. Gelas ukur yang dipakai dalam pengujian ini adalah gelas ukur <i>pyrex</i> 1000 ml. |  |

### 3.4 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Instalasi alat penelitian.
2. Pengecekan kebocoran sistem dan pelapisan isolasi panas pada *evaporator*.
3. Pemasangan *vacuum pressure*, termokopel panel dan termokopel agilent pada sistem.
4. Mengisi air laut pada sistem dan tangki air laut.
5. Pemvakuman sistem.
6. Saklar penyuplai listrik dihidupkan, panel kontrol yang terhubung dengan termokopel diatur pada temperatur 50°C.
7. Proses perekaman data dimulai.
8. Pengujian dilakukan selama 8 jam mulai pukul 09.00 sampai 17.00 WIB.
9. Tekanan vakum dicatat setiap 1 jam.

10. Ketinggian air laut di tangki diatur pada ketinggian 10,34 m.
11. Laju produksi air bersih dan konsentrat garam diukur setelah pengujian selesai.
12. Ulangi pengujian hingga 6 hari.
13. Hasil data pengujian dianalisis.

### 3.5 Setup Eksperimental

Untuk memulai pengujian, sistem harus divakumkan terlebih dahulu. Proses pemvakuman dilakukan dengan mengisi penuh air laut dalam *evaporator*, alat penukar kalor *tube-in-tube*, sedangkan pada sisi kondensor diisi penuh oleh air bersih. Antara *evaporator* dan kondensor terdapat keran untuk memisahkan air laut dan air bersih pada saat proses pemvakuman berlangsung. Untuk memvakumkan *evaporator*, keran pada pipa pengumpan (pipa dalam alat penukar kalor) dibuka, sehingga air laut di *evaporator* akan jatuh melalui pipa pengumpan sehingga membentuk ruang vakum pada bagian atas *evaporator* dengan ketinggian air laut dalam *evaporator* sama dengan ketinggian pipa umpan yang ada di dalam *evaporator* yaitu 9 cm atau sekitar  $\pm$  18 L air laut. Cara yang sama untuk memvakumkan kondensor yaitu dengan membuka keran pipa air bersih dan membiarkan air bersih jatuh melalui pipa air bersih sehingga membentuk ruang vakum pada kondensor. Keran antara *evaporator* dan kondensor pun dibuka setelah terbentuk ruang vakum di *evaporator* dan kondensor.

Air laut di dalam *evaporator* dipanaskan oleh elemen pemanas yang telah diatur pada *thermocontrol* untuk memanaskan hingga temperatur 50°C. Oleh karena pemanasan berlangsung pada tekanan vakum, maka kandungan air dalam air laut akan berevaporasi dan uap yang dihasilkan dialirkan melalui pipa penghubung *evaporator*-kondensor, dan proses kondensasi akan berlangsung di kondensor. Untuk menjaga agar panas dari *evaporator* tidak berpindah ke kondensor secara konduksi, maka antara pipa penghubung tersebut dipasang *flange*. Diantara *flange* terdapat *packing* karet yang digunakan untuk mengisolasi panas yang dikonduksi dari *evaporator* sehingga temperatur kondensor dapat dijaga tetap pada temperatur lingkungan.

Pada sisi kondensor, uap air akan dikondensasikan dengan bantuan sirip (*fin*) yang terpasang pada tabung kondensor. Hasil kondensasi akan jatuh melalui pipa air bersih dan menjadi produk air bersih. Air laut yang tidak mendidih akan jatuh melalui pipa luar alat penukar

kalor menuju tangki konsentrat garam. Karena air laut yang tidak mendidih mempunyai temperatur yang cukup tinggi, sebelum menuju tangki konsentrat garam, air laut yang panas akan memanasi pipa pengumpan dalam alat penukar kalor sehingga air laut umpan pada pipa pengumpan akan terpanasi sebelum memasuki *evaporator* untuk selanjutnya dipanasi oleh elemen pemanas. Air bersih dan konsentrat garam yang telah keluar dari sistem mengakibatkan volume fluida berkurang. Kekurangan volume fluida ini akan diisi oleh pipa pengumpan, sehingga air laut dapat ditarik ke atas *evaporator* tanpa memerlukan pompa air ataupun pompa vakum.

Pada sisi kondensor, uap air akan dikondensasikan dengan bantuan sirip (*fin*) yang terpasang pada tabung kondensor. Hasil kondensasi akan jatuh melalui pipa air bersih dan menjadi produk air bersih. Air laut yang tidak mendidih akan jatuh melalui pipa luar alat penukar kalor.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

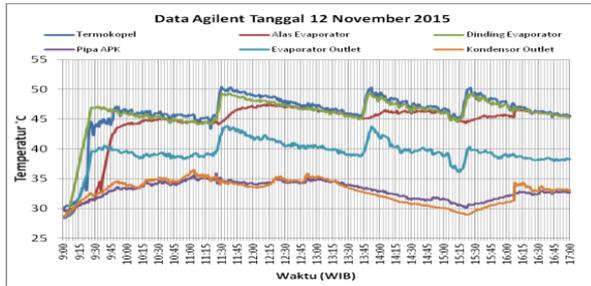
### 4.1 Hasil Rancang Bangun Kinerja Alat Desalinasi

Dari hasil eksperimen diperoleh selama proses desalinasi berlangsung, temperatur air laut di *evaporator* dijaga konstan oleh *heater* listrik pada 50°C dan pemanasan terus berlangsung dalam keadaan vakum dengan tekanan rata-rata 61,083 cmHg.

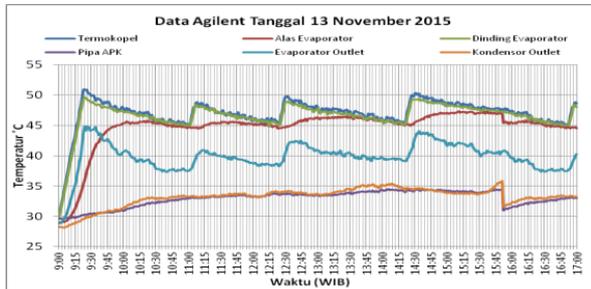


**Gambar 5. Hasil rancang bangun desalinasi di ketinggian 10,34 m**

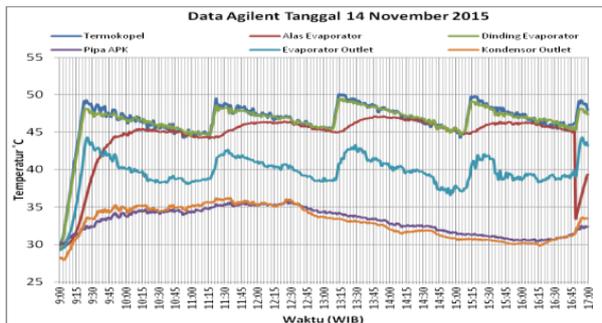
## 4.2 Grafik Suhu Hasil Pengukuran



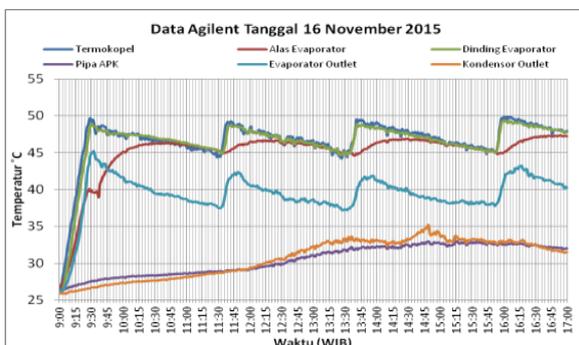
Gambar 6. Grafik waktu vs temperatur 12 Nov 2015 pukul 09.00-17.00 (WIB)



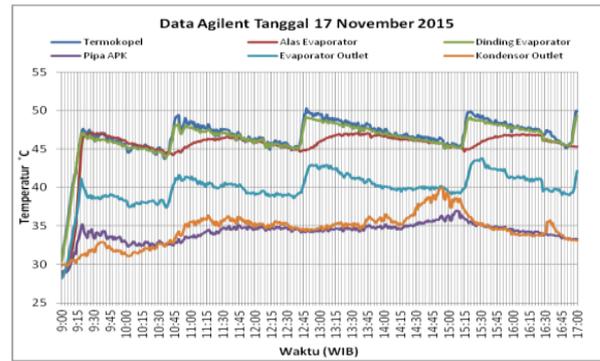
Gambar 7. Grafik waktu vs temperatur 13 Nov 2015 pukul 09.00-17.00 (WIB)



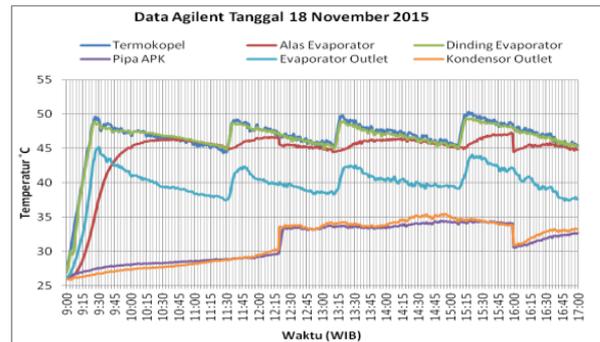
Gambar 8. Grafik waktu vs temperatur 14 Nov 2015 pukul 09.00-17.00 (WIB)



Gambar 9. Grafik waktu vs temperatur 16 Nov 2015 pukul 09.00-17.00 (WIB)



Gambar 10. Grafik waktu vs temperatur 17 Nov 2015 pukul 09.00-17.00 (WIB)

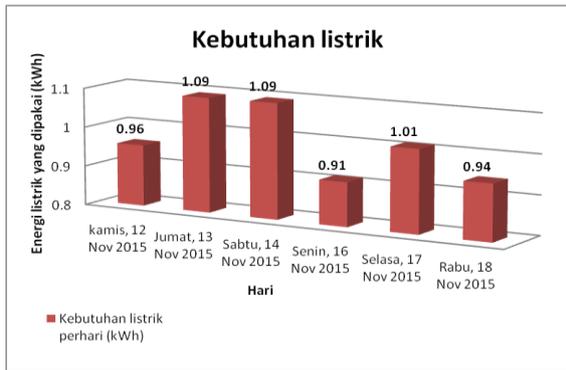


Gambar 11. Grafik waktu vs temperatur 18 Nov 2015 pukul 09.00-17.00 (WIB)

Naik turunnya temperatur yang signifikan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, cuaca, dan kelembaban relatif udara yang tidak dapat dikendalikan. Selain itu suhu lingkungan, kecepatan udara, serta intensitas radiasi matahari juga mempengaruhi kinerja alat desalinasi.

## 4.3 Energi yang Diperlukan Proses Evaporasi

Perhitungan pemakaian energi listrik per hari dihitung dengan mengukur lamanya waktu pemakaian listrik menggunakan *stopwatch* dalam hal ini besarnya energi yang ditinjau adalah energi yang diperlukan *heater* untuk mendidihkan air laut. Dalam hal ini air laut di dalam *evaporator* setelah kondisi vakum  $\pm 18$  L yang dipanaskan oleh elemen pemanas dan diatur pada *thermocontrol* di temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  diperlukan energi rata-rata listrik sebesar 1kWh.

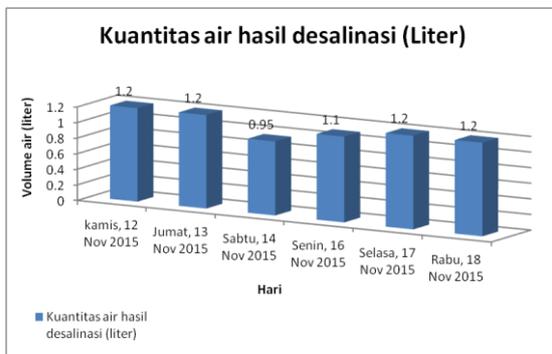


Gambar 12. Diagram pemakaian energi listrik

#### 4.3 Kehilangan Panas pada Evaporator

Adapun kehilangan panas rata-rata evaporator selama pengujian pukul 09:00-17:00 WIB pada tanggal 12 November 2015 adalah 8,11 W. Pada 13 November 2015; 7,504 W. Pada 14 November 2015: 6,897 W. Pada 16 November 2015: 8,054 W. Pada 17 November 2015: 6,891 W, dan pada 18 November 2015: 7,259 W. Sehingga diperoleh kehilangan panas rata-rata selama pengujian sebesar 7,45 W.

#### 4.4 Kuantitas Air Bersih yang Diperoleh



Gambar 13. Diagram kuantitas air bersih

Kuantitas air hasil desalinasi ditentukan oleh proses penguapan air laut dalam evaporator. Proses penguapan air laut akan semakin baik apabila suhu air laut dalam ruang evaporator dapat terjaga konstan di 50°C. Selain itu tekanan vakum yang bekerja juga dapat mempengaruhi kinerja alat desalinasi dimana hal ini dapat dibuktikan dalam persamaan gas ideal dimana tekanan sebanding dengan temperatur.

Tabel 3. Tekanan vakum desalinasi

| Hari Ke | Start Up | Pemvakuman Kondensor | Proses Evaporasi | Penurunan |
|---------|----------|----------------------|------------------|-----------|
| 1       | 73       | 68                   | 62.5             | 61        |
| 2       | 74       | 68                   | 62               | 61        |
| 3       | 74       | 68                   | 62.5             | 61        |
| 4       | 74       | 68                   | 62               | 61        |
| 5       | 74       | 68                   | 61               | 59        |
| 6       | 73       | 68                   | 61.5             | 60        |

#### 4.6 Kualitas Air Bersih yang Diperoleh

Kualitas air tawar yang diperoleh setelah hasil pengujian dianalisis di Laboratorium Proses Industri Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik USU. Adapun parameter pengukuran yang dilakukan yaitu, salinitas, pH, total suspended solids (TSS). Adapun hasil analisa kualitas produksi air yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil uji kualitas air

| No | Parameter | Satuan    | Hasil Analisa |              | Metode Uji           |
|----|-----------|-----------|---------------|--------------|----------------------|
|    |           |           | Air Laut      | Air Tawar    |                      |
| 1  | pH        | -         | 6,72          | 6,48         | pH meter/Lab/Ekologi |
| 2  | Warna     | Skala TCU | 1,5           | 1,3          | Spektrofotometri     |
| 3  | Bau       | -         | Tidak Berbau  | Tidak Berbau | Organoleptis         |
| 4  | Salinitas | *ppt      | 31%           | 0,9%         | Pengukuran Densitas  |
| 5  | TSS       | *ppm      | 2,06          | 4,65         | Gravimetri           |

\*terlampir

## 5. KESIMPULAN

1. Kinerja alat desalinasi air laut sistem vakum natural ini bekerja pada panas yang rendah dengan rentang temperatur 27°C - 50°C, dan dijaga konstan pada temperatur evaporasi 50°C dengan tekanan vakum rata-rata sebesar 61,083 cmHg.
2. Dari perhitungan yang diperoleh energi listrik rata-rata yang diperlukan oleh alat desalinasi selama proses pendidihan adalah 1 kWh.
3. Kehilangan panas rata-rata yang terjadi dianalisis pada sisi alas evaporator, dinding evaporator, dan tutup evaporator. Total kehilangan panas

- menyeluruh rata-rata *evaporator* adalah 7,45 W.
4. Kuantitas produksi rata-rata air bersih yang diperoleh selama pengujian adalah 1,15 L.
  5. Secara kualitas air hasil produksi yang diperoleh sudah layak untuk dikonsumsi dan produk air hasil desalinasi sudah memenuhi standar, yaitu pH sebesar 6,48, warna di skala 1,3, tidak berbau, salinitas 0,9% dan nilai TSS sebesar 4,65 Mg/L.
  6. Sebagai perbandingan untuk menguapkan 1 L air menggunakan *boiler*, dibutuhkan panas laten penguapan sebesar 2,3 MJ. Nilai ini jika dibandingkan dengan pemanasan 18 L air dengan menggunakan sistem desalinasi natural vakum, panas laten penguapan yang dibutuhkan hanya 3,6 MJ (1 kWh). Artinya panas laten penguapan sistem ini sebesar 0,2 MJ untuk 1 L air.
  7. Untuk rancang bangun yang lebih baik dikemudian hari sebaiknya digunakan jenis bahan *Stainless Steel 316*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] UN-Water. 2006. *Coping With Water Scarcity: a Strategic Issue and Priority for System-Wide Action*
- [2] Kalogirou S. Seawater desalination using renewable energy sources. *Prog EnergyCombust Sci* 2005;31:242-81.
- [3] Ali MT, Fath HES, Armstrong PR. A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:4187-99.
- [4] Ketut Astawa, Made Sucipta, dan I Putri Gede Artha Negara. Analisa Performansi Destilasi Air Laut Tenaga Surya Menggunakan Penyerap Radiasi Surya Tipe Bergelombang Bahan Dasar Beton. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Udayana*. April 2011
- [5] Al-Kharabsheh, A. and Goswami, D. Y., Theoretical analysis of a water desalination system using low grade solar heat, *Journal of Solar Energy Engineering* 126 (2004)774-780.
- [6] Yunus, A. Cengel. 2002. *Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition*. MC Graw-Hill, Book Company, Inc: Singapore.
- [7] Pahl, G *et al.* 2007. *Engineering Design 3<sup>rd</sup> Edition: A Systematic Approach*, Springer: University of Berlin.