

Analisis Nomografi Suhu, Laju Penguapan dan Tekanan Udara untuk Perancangan Alat Desalinasi Tenaga Surya Dengan Pengaturan Vakum

Analysis of Temperature Nomography, Evaporation Rate and Air Pressure for Solar-Driven Desalination System Design With Vacuum Setting

Alexander Tunggul Sutan Haji^{1,*}, Ruslan Wirosodarmo¹, Martina W Tyas¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang

*Email Korespondensi: tunggulsutanhaji@yahoo.com

ABSTRAK

Krisis air bersih pada beberapa tahun yang lalu melanda banyak daerah di Indonesia, sedangkan penyaluran air bersih belum mampu memenuhi kebutuhan penduduk banyak masyarakat kesulitan terlebih pada musim kemarau panjang. Teknologi desalinasi air laut sangat diharapkan untuk menghasilkan air tawar dengan produksi tinggi tetapi dengan energi murah oleh karena itu di buatlah alat desalinasi air laut menggunakan tenaga surya dengan energi matahari sebagai sumber panas utama untuk penguapan. Tujuan dari penelitian ini adalah : 1) Mendapatkan hubungan antara intensitas radiasi matahari dan laju perubahan suhu air laut pada berbagai tekanan udara 2) Mendapatkan hubungan antara suhu air laut dan besarnya laju penguapan air laut pada berbagai tekanan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2012 di Laboratorium Teknik Sumber Daya Alam Dan Lingkungan Universitas Brawijaya

Penelitian ini dilakukan dengan dua perlakuan yaitu penguapan dengan volume air laut 30 liter dan penguapan dengan volume air laut 40 liter, masing- masing perlakuan dilakukan sebanyak tiga pengamatan dengan tekanan -5,-7,5, -10 CmHg. Tiap pengamatan dilakukan selama tiga jam dalam satu hari dan diambil data dari jam 10.00, 11.00, 12.00,13.00 WIB. Parameter yang di ukur pada penelitian ini antara lain : Laju penguapan (ml/jam), Energi kalor matahari (KJ), Suhu ($^{\circ}$ C), Energi selama proses penguapan (KJ) Efisiensi penguapan (%) Intensitas radiasi matahari (W/m^2). Hasil penelitian ini adalah nilai intensitas radiasi matahari berkisar antara 591 W/m^2 sampai 680 W/m^2 , energi kalor matahari yang terjadi berada pada kisaran 1263,83 KJ - 1636,08 KJ, suhu bahan rata- rata dalam alat desalinasi adalah 34.95 $^{\circ}$ C pada volume 30 liter dan 34.33 $^{\circ}$ C pada volume 40 liter. Laju penguapan rata- rata didalam ruang desalinasi adalah 169,86 ml/jam pada volume 30 liter dan 161,37 ml/jam pada volume 40 liter. Energi selama penguapan rata- rata harian adalah 430 KJ pada volume 30 liter dan 556 KJ pada volume 40 liter. Hubungan antara intensitas radiasi matahari dengan laju perubahan suhu air laut dan laju penguapan air laut berbanding lurus, semakin besar intensitas radiasi matahari laju perubahan suhu air laut yang dicapai semakin tinggi begitu juga dengan laju penguapan semakin besar.

Kata Kunci: desalinasi, laju penguapan, titik didih

ABSTRACT

Clean water crisis is quite prominent throughout previous years in many regions of Indonesia. The distribution of clean water is not satisfying the demand of population for water, precisely during long dry season. Industrial demand for water is also great because natural resource is very scarce mainly in regions without adequate water source throughout a year. Seawater desalination technology is, therefore, a possible way to supply high production of freshwater. However, cheaper energy is an important matter and thus, solar-based seawater desalination device is manufactured to utilize solar energy as main heat source for evaporation. The objectives of research are (1) to produce a relationship between solar radiation intensity and seawater temperature change rate in various air pressures and (2) to obtain a relationship between seawater temperature and seawater evaporation rate in various air pressures. Research is conducted on March 2012 at Engineering Laboratory of Natural Resource and Environment of University of Brawijaya.

Research involves two treatments which are the evaporation of 30 liters seawater and the evaporation of 40 liters sweater. Each treatment has three observations at pressure rates of -5, -7, 5, and -10 CmHg. Each observation is made for three hours in a day, and data are collected at 10.00, 11.00, 12.00, and 13.00. Parameters measured in this research are evaporation rate (ml/hour), solar heat energy (KJ), temperature ($^{\circ}$ C), and energy during evaporation (KJ), evaporation efficiency (%) and solar radiation intensity (W/m^2). Result of research indicates that solar radiation intensity remains between $591 W/m^2$ and $680 W/m^2$ while solar heat energy develops between 1263.83 KJ-1636.08 KJ. Average temperature in the desalination device is 34.95° C for 30 liters volume and 34.33° C for 40 liters volume. Average evaporation rate in the desalination chamber is 169.86 ml/hour for 30 liters volume and 161.37 ml/hour for 40 liters volume. The energy required for daily average evaporation is 430 KJ for 30 liters volume and 556 KJ for 40 liters volume. The relationship between solar radiation intensity, seawater temperature change rate, and seawater evaporation rate is perpendicular. Higher solar radiation intensity may cause higher sweater temperature change rate and greater evaporation rate.

Keywords: *desalination, evaporation rate, boiling point*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Indonesia memiliki luas wilayah 5.193.252 km², dua per tiga luas wilayahnya merupakan lautan, yaitu sekitar 3.288.683 km² sehingga Indonesia memiliki julukan sebagai negara maritim. Ironisnya, di tengah kepungan air laut, ternyata masih ada beberapa tempat yang mengalami kekurangan air, terutama mengenai ketersediaan air bersih. Akibatnya, di tempat seperti itu air menjadi barang eksklusif nan mahal. Masyarakat harus membeli untuk mendapatkan air bersih. Ironi inilah yang menimpa masyarakat Kepulauan Seribu pada tahun 2006. Di kepulauan yang berada di utara kota Jakarta tersebut, air bersih menjadi barang langka. Ketersediaan air bersih adalah masalah utama bagi daerah tersebut. Setidaknya, untuk mendapatkan satu liter air bersih, masyarakat harus membayar Rp 50,- sampai Rp75,-. Pada era teknologi sekarang ini seharusnya air bukan lagi menjadi masalah. Negara-negara di kawasan Timur-Tengah telah lama memanfaatkan air laut untuk memenuhi kebutuhan air bersih atau yang sering kita kenal sebagai desalinasi.

Pemurnian air laut ini dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti distilasi, penyulingan, dan lain-lain. Namun seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, telah lahir teknologi baru yaitu Reverse Osmosis (RO) dengan bantuan membran. Salah satu kelebihan teknologi ini adalah penampilannya portable, tidak memakan tempat yang luas. Secara prinsip, proses destilasi merupakan perubahan fase cair menjadi fase uap. Dimana pada tahap akhir, air laut akan mengalami kondensasi menjadi air murni. Sementara, pada proses RO, tidak terjadi perubahan fase. Pada proses RO yang terjadi hanya fase cair saja. Dimana untuk memisahkan air tawar dengan air laut di dapat dari adanya perbedaan tekanan yang menggunakan membran semi permeablenya saja. Proses destilasi juga disebut dengan proses penguapan yang merupakan proses menghilangkan kandungan garam dengan menggunakan pemanasan, cara ini dapat dilakukan dengan pemanasan api, menggunakan alat pemanas dan pemanasan matahari. Ketika sinar

dipancarkan oleh sinar matahari permukaan molekul-molekul air mempunyai cukup energi untuk melepaskan ikatan molekul air tersebut dan kemudian terlepas sehingga mengembang menjadi uap air. Desalinasi secara penguapan dapat menggunakan tenaga surya pada sebuah evaporator.

METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin penguap vakum tipe water jet
2. Kondensor atau pendingin, sebagai alat untuk mengkondensasikan uap
3. Termometer sebagai pengukur suhu pada evaporator
4. Manometer sebagai alat pengukur tekanan vakum pada bak evaporator
5. Ruang penguapan atau evaporator sebagai tempat bahan yang akan di uapkan
6. Pompa listrik
7. Penggaris untuk mengukur tinggi air
8. *Stopwatch* untuk mengukur waktu penguapan
9. Stopkontak untuk menyalakan aliran listrik

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Air laut sebagai bahan yang akan di uji
2. Air, sebagai media pendingin pada kondensor dan fluida pendorong pada pompa *water jet*.
3. Sinar matahari sebagai energi alternatif tenaga surya

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggabungkan studi literatur analisa deduktif dan percobaan. Dimana *study literature* merupakan hasil percobaan orang lain yang telah teruji kebenarannya kemudian dilakukan analisa deduktif dengan menggunakan formulasi matematis dan fisika sehingga diadakan percobaan atau eksperimen untuk membuktikan kebenaran dari hasil analitik. Pada percobaan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan dua perlakuan yaitu perlakuan volume dan tekanan, volume yang digunakan adalah 30 liter dan 40 liter sedangkan tekanan yang

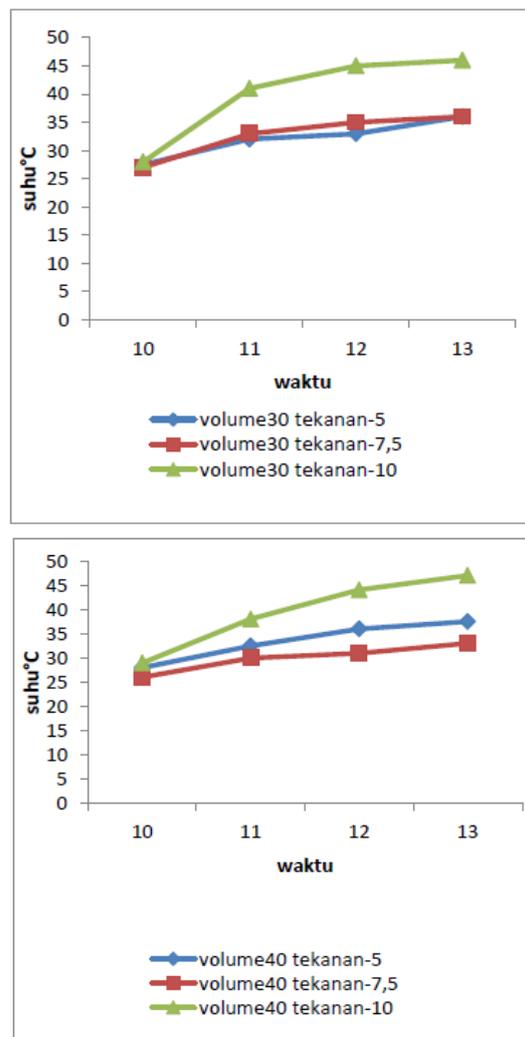
digunakan adalah -5,-7,5 dan -10 CmHg. Pengambilan data dilakukan dari jam 10.00, 11.00, 12.00 dan 13.00. Data hasil penelitian dianalisa secara matematis dan disajikan dalam bentuk grafik. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk mengetahui perbedaan besarnya laju penguapan dengan volume yang berbeda dan tekanan yang berbeda pula.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu Bahan

Suhu bahan merupakan besarnya suhu yang di hasilkan oleh bahan (air) selama proses penguapan. Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa pada awal evaporasi berlangsung suhu bahan cenderung meningkat, hal ini terjadi karena adanya transfer energy panas dari matahari ke bahan yang terus menerus sampai tercapai suhu maksimal titik didih air laut selama proses evaporasi. Pada grafik (a) volume 30 liter tekanan -10 CmHg merupakan peningkatan suhu yang paling tinggi sedangkan untuk yang terendah yaitu pada volume 30 tekanan - 5 CmHg. Sedangkan untuk grafik (b) volume 40 liter tekanan -10 CmHg merupakan terjadinya peningkatan suhu tertinggi yaitu 47.0, sedangkan untuk yang terendah peningkatan suhunya yaitu pada volume 40 liter tekanan - 7,5 yaitu 26.0 hal tersebut dikarenakan kondisi cuaca yang sedang mendung sehingga transfer panas yang terjadi tidak maksimal. Penelitian ini menggunakan alat evaporator vakum dari bahan kaca sehingga panas matahari akan langsung mengenai kaca yang akan mengalirkan panas ke dalam bahan kemudian panas tersebut akan merata keseluruh permukaan bahan dan sistem. Jika intensitas radiasi matahari yang diterima besar maka suhu yang mengenai kaca juga besar yang secara tidak langsung akan mempengaruhi suhu pada ruang evaporator dan suhu pada air laut. Suhu bahan dalam ruang vakum tergantung pada intensitas panas matahari dan banyaknya air, semakin tinggi panas matahari dan semakin sedikit air yang di desalinasi maka suhu bahan dalam ruang vakum semakin tinggi. Besarnya suhu juga dipengaruhi oleh

tekanan dimana pada saat suhu terus meningkat tekanan cenderung fluktuatif. Berikut adalah gambar grafik hubungan antara suhu air laut dengan waktu pada perlakuan pertama dan kedua. Berikut adalah gambar grafik hubungan suhu air laut dengan waktu.



Gambar 1. Grafik hubungan antara suhu bahan dengan waktu pada perlakuan pertama dan kedua

Pada mesin penguap vakum ini suhu yang digunakan tidak dapat dikendalikan karena menggunakan energy alternative matahari yang langsung di suplay dari matahari tanpa kolektor hal tersebut lain halnya dengan menggunakan gas LPG atau menggunakan aliran listrik yang dapat di atur dengan mengatur besar kecilnya gas yang di gunakan sehingga suhu yang di dapatkan bisa ditentukan.

Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari yang diamati pada penelitian ini merupakan jumlah dari intensitas matahari yang jatuh pada permukaan kaca. Besarnya intensitas radiasi matahari pada tempat pengujian alat selama penelitian dari pukul 10.00-13.00 WIB berkisar antara 591 Watt/m²- 600 Watt/m². Besarnya nilai intensitas radiasi matahari pada setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Waktu WIB	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)					
	Volume 30 liter (CmHg)			Volume 40 liter		
	-5	-7,5	-10	-5	-7,5	-10
10.00	591,9	592	593	593,1	591	593,6
11.00	594,9	594,9	650	596	593,9	600
12.00	595	599,1	680	599,5	595	665
13.00	590	593,1	598,5	584,4	596,1	610
Rerata	592,95	594,75	630,37	593,25	593,75	617,15

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa intensitas radiasi maksimum terjadi pada perlakuan dengan volume 30 liter tekanan -10 CmHg pukul 12.00 WIB yaitu sebesar 680 Watt/m² dan nilai minimum terjadi pada perlakuan volume 40 liter tekanan -7,5 pukul 10.00 WIB yaitu sebesar 591 Watt/m². Nilai intensitas radiasi maksimum ini terjadi saat cuaca cerah pada tengah hari sedangkan nilai minimum terjadi pada sore hari ketika cuaca mendung. Hal tersebut berbeda dengan penelitian (Mulyanef dkk,2007) yaitu desalinasi dengan menggunakan tipe kaca miring 2 menghasilkan produksi air paling banyak pada pukul 13.00 intensitas radiasi matahari 757,37 W/m² dengan produksi kondensatnya 255 ml/jam dan paling sedikit pukul 08.00 intensitas radiasi matahari 428,7 W/m² hasil kondensatnya 50 ml/jam.

Nilai intensitas radiasi matahari berfluktuasi setiap satu jam pengamatan, semakin siang nilainya semakin tinggi hingga mencapai puncaknya ketika pukul 11.00 atau 12.00, kemudian nilai intensitas radiasi matahari ini mengalami penurunan pada jam-jam berikutnya. Hal ini disebabkan sudut jatuh sinar matahari pada permukaan kaca tergantung pada posisi sinar matahari terhadap *zenit*, semakin jauh dari *zenit* maka semakin kecil sudut jatuh sehingga intensitas radiasi matahari yang diterima pun semakin kecil. Kondisi seperti ini terjadi pada pagi dan sore hari. Intensitas radiasi matahari

sangat berpengaruh terhadap kenaikan suhu air laut karena semakin besar intensitas radiasi matahari maka semakin tinggi suhu air laut yang diperoleh. Hal ini terjadi karena pada dasarnya pada penelitian ini intensitas radiasi matahari merupakan faktor utama yang digunakan untuk menentukan nilai suhu air laut dan besarnya penguapan. Rerata nilai intensitas radiasi matahari.

Tekanan

Pada penelitian ini dilakukan pengaturan tekanan sesuai dengan yang diinginkan yaitu -5 cmHg -7.5 cmHg dan -10 cmHg dengan cara membuka dan menutup kran yang di sediakan untuk mengatur tekanan. Unit yang di gunakan untuk membangkitkan tekanan vakum adalah berasal dari pompa yang di hidupkan dengan tenaga listrik

Penurunan tekanan digunakan untuk menurunkan titik didih cairan agar lebih rendah daripada titik didih air biasa pada tekanan normal yaitu 1 atm. Sehingga tanpa memerlukan suhu yang tinggi, penguapan akan tetap berlangsung. Penurunan tekanan ini juga dilakukan terutama untuk pengolahan pangan yang sensitif terhadap suhu pemanasan (Wirakartakusumah, 1989)

Selama penguapan terjadi perubahan suhu disebabkan oleh perubahan tekanan, Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan tekanan merupakan fungsi dari kenaikan suhu. Tekanan dari suatu sistem adalah gaya yang dihasilkan oleh system tersebut pada satuan luas dari batas-batasnya.

Hubungan antara suhu dengan besarnya tekanan vakum pada literatur bahwa semakin rendah suhu maka tekanan vakum akan semakin rendah sehingga tekanan absolute yang dicapai akan semakin tinggi. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa besarnya tekanan vakum sangat dipengaruhi oleh besarnya suhu.namun pada penelitian dihasilkan tekanan vakum yang berbanding terbalik dengan suhu hal tersebut di karenakan waktu yang di gunakan untuk menyalakan pompa vakum kurang maksimal sehingga panas yang masuk dan yang keluar dari evaporator tidak seimbang.

Energi Kalor Matahari

Energi kalor matahari yang diamati pada penelitian ini merupakan jumlah dari energy panas matahari untuk menaikkan suhu pada ruang vakum. Besarnya energi panas matahari pada tempat pengujian alat selama penelitian dari pukul 10.00-13.00 WIB berkisar antara 1247,07 KJ -1636,08 KJ Besarnya nilai energi panas matahari pada setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Perlakuan	Waktu	Tekanan	KJ	
1 30 Liter	10.00	-5 CmHg	1272,27	
	11.00		1350,21	
	12.00		1368,03	
	13.00	-7,5 CmHg	1445,00	
	10.00		1263,83	
	11.00		1368,03	
	12.00	-10 CmHg	1404,13	
	13.00		1445,00	
	10.00		1280,77	
	11.00	-5 CmHg	1516,78	
	12.00		1595,56	
	13.00		1615,73	
	2 40 Liter	10.00	-5 CmHg	1280,77
		11.00		1359,09
		12.00		1445,00
13.00		-7,5 CmHg	1450,28	
10.00			1247,07	
11.00			1315,15	
12.00		-10 CmHg	1353,75	
13.00			1368,03	
10.00			1318,47	
11.00		-5 CmHg	1459,64	
12.00			1475,59	
13.00			1636,08	

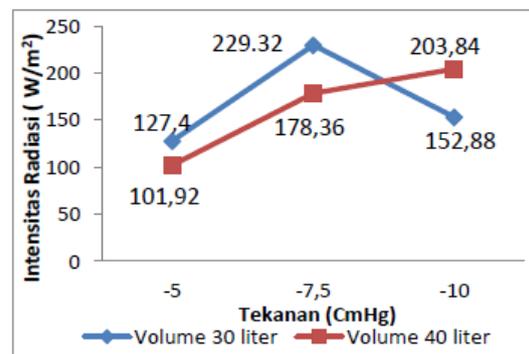
Nilai minimum terjadi pada volume 40 kg tekanan -7,5 CmHg pukul 10.00 yaitu sebesar 1247,07 KJ.

Nilai energi panas matahari maksimum ini terjadi saat cuaca cerah sedangkan nilai minimum terjadi pada saat cuaca mendung. Energi panas matahari setiap harinya berubah-ubah sehingga menghasilkan suhu yang berubah ubah pula bergantung pada keadaan cuaca. Nilai energi panas matahari mencapai maksimum pada pukul 13.00 WIB kemudian mengalami penurunan pada jam jam berikutnya , hal ini di sebabkan karena penelitian di laksanakan pada musim penghujan sehingga pada pukul di atas jam 13.00 sering terjadi hujan.

Laju Penguapan

Laju penguapan air bahan merupakan jumlah air yang dapat diuapkan secara simultan oleh mesin penguap vakum

dalam satu satuan waktu. Laju penguapan akan menunjukkan kemampuan mesin untuk menguapkan air dengan menggunakan energy panas yang berasal dari energy panas matahari dan laju penguapan ditentukan baik oleh laju perpindahan panas ke dalam bahan dan laju massa pindah panas uap air dari bahan cair. Berikut adalah Gambar 2 grafik rerata laju penguapan volume 30 liter dan 40 liter pada berbagai tekanan.



Gambar 2. Grafik hubungan antara laju penguapan dengan suhu air laut pada perlakuan pertama 30 liter (a) dan kedua 40 liter (b).

Berdasarkan Gambar 2 laju penguapan dari berbagai perlakuan tidak berbeda signifikan atau hampir sama. Hal ini terjadi karena proses berlangsung pada suhu yang tidak berbeda jauh dan tekanan vakum yang telah ditentukan serta luas permukaan evaporasi antar perlakuan yang sama. Grafik diatas dapat diketahui bahwa rerata laju penguapan tertinggi pada volume 30 liter tekanan -7,5 CmHg sebesar 229,32 ml/hari pukul 12.00 WIB dengan suhu rata-rata 32,750C. sedangkan rerata laju penguapan terendah pada volume 40 liter tekanan -5 CmHg sebesar 101,92 ml/hari mencapai suhu rata-rata 33,50C pada pukul 10.00 WIB. Pada awal evaporasi laju penguapan masih kecil karna dengan tekanan yang diatur konstan, laju penguapan tergantung pada suhu sehingga laju penguapan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu bahan akibat panas yang terus menerus diberikan dari matahari. Selain suhu dan tekanan laju penguapan dipengaruhi oleh kadar air larutan dimana semakin rendah kadar air maka larutan menjadi semakin pekat sehingga laju penguapan semakin turun karena semakin sukar terbentuk uap. Faktor

lain yang mempengaruhi laju penguapan adalah luas permukaan, lama evaporasi, dan panas jenis bahan.

Penguapan adalah salah satu cara untuk menghilangkan atau mengeluarkan sebagian air dari suatu bahan sehingga didapatkan larutan zat cair yang konsentrasinya lebih pekat. Tujuan dari penguapan adalah untuk memekatkan larutan yang terdiri dari zat terlarut yang tidak mudah menguap dan pelarut yang mudah menguap (Mc Cabe *et al.*, 1985).

Menurut Earle (1982) faktor yang mempengaruhi laju penguapan adalah :

- a) Laju pindah panas pada waktu dipindahkan ke bahan cair
- b) Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan setiap kilogram air
- c) Suhu maksimum yang diperkenankan terjadi untuk bahan cair
- d) Tekanan pada saat uap terjadi
- e) Perubahan lain yang mungkin terjadi di dalam bahan selama penguapan.

Pada penelitian ini proses kondensasi tidak berjalan dengan baik. Secara empiris destilator memiliki pontensi uap air yang cukup besar, akan tetapi bila dibandingkan dengan hasil yang didapat sangatlah sedikit. Proses kondensasi tidak berjalan baik dapat disebabkan beberapa hal, yaitu terlalu besarnya ruang kondensasi sehingga proses pendinginan oleh air pendingin menjadi kurang maksimal. Selain itu, kondensasi yang kurang maksimal dapat dikarenakan ruang evaporator terlalu besar sehingga uap air yang telah mengembun banyak terjebak di dalam ruang evaporator dan tidak sampai mengembun di ruang kondensasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Earle, R. L. 1982. *Unit Operation In Food Processing*. Ellis Howard Limited. England
- Goswami,D,Y, and Al-kharabsheh,S . 2004. *Theoretical Analysys Of A Water Desalination System Using Low Grade Heat*. Vol.126:774-780
- Mc. Cabe, W. L. D. Horriot, and J. C. Smith. 1985. *Unit Operation Of Chemical Engineering. Fourth Edition*. Mc. Graw

Hill Internasional Book Company.
New York

Mulyanef. 2007. *Efisiensi Evaporasi Sebagai Metoda Penyediaan Air Minum*. FTSP. Puslit-ITS, Surabaya

Wirakartakusumah. 1989. *Kualitas Dan Penanganan Penyediaan Air Bersih Di Desa- desa Pantai di Indonesia*. ITB. Bandung