

PENGARUH PANJANG PIPA ALUMINIUM KONDENSATOR DAN KETEBALAN AIR PADA PERENCANAAN DISTILATOR TEPAT GUNA

THE INFLUENCE OF ALUMINIUM CONDENSER PIPE LENGTH AND WATER THICKNESS ON THE DESIGN OF APPROPRIATE WATER DISTILLATOR

Abdu Fadli Assomadi dan Haris Permadi
Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP ITS
Email: assomadi@its.ac.id

Abstract

Communities in coastal areas use rain water and ground water to meet the needs of clean water. Precipitation occurs only during the rainy season. The ground water is brackish because of seawater intrusion. This is a problem for this community. Therefore, appropriate water treatment technology is needed especially during the dry season. This research was aimed to measure the influence of the length of long aluminium condenser pipe and the water thickness to the brackish water distillation yield. Variables which were tested were water thickness of 0.5, 1 and 1.5 cm and the length of aluminium pipe condenser of 260, 320, and 380 cm. Two types of glass roofs were applied. One roof was flat, and the other had an angle of 60°. The results showed that the sloped roof produced the highest water volume, with an average of 1045 mL/m². The percentage of condensate volume produced from distillator with pipe lengths of 260, 320, and 380 cm were 50%, 96%, and 98.3% respectively. Water thickness of 1 cm yielded the highest water volume of 1102.1 mL/m². The highest distillation rate was 0.167 L/m² hour.

Keywords: brackish water, distillator, condenser length, water thickness

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air di bumi adalah 97% air laut yang memiliki kadar garam berkisar >10.000 mg/L. Hal ini menyebabkan air tersebut tidak dapat langsung digunakan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Sedangkan ketersediaan air tawar di daratan sekitar 3% (Heitmann, 1990).

Salah satu permasalahan yang dialami oleh penduduk di daerah pesisir dan pulau terpencil adalah kurangnya ketersediaan air minum. Masyarakat di daerah pesisir dan pantai mengandalkan air hujan dan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Pada musim kemarau masyarakat hanya menggunakan air tanah. Sedangkan air tanah di daerah pesisir pada umumnya telah mengalami intrusi air laut yang menyebabkan air tanah menjadi payau.

Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi yang tepat guna untuk dapat memenuhi kebutuhan akan air bersih penduduk di daerah pesisir, khususnya pada saat musim kemarau. Distilasi dengan menggunakan tenaga surya merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan air bersih tersebut. Indonesia merupakan daerah tropis di mana energi matahari merupakan sumber energi yang murah, efektif, dan non polusif (Indartono, 2005).

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan suatu rancangan alat distilasi yang menggunakan metoda evaporasi menggunakan energi sinar matahari, seperti yang telah dilakukan oleh Dhamayanti (2005), Narmasari (2005), dan Purwoto (2006). Dari ketiga penelitian tersebut, yang menghasilkan

produk air tawar terbanyak adalah penelitian yang dilakukan oleh Purwoto (2006) dengan laju evaporasi 390 mL/m² jam.

Menurut Purwoto (2006), proses kondensasi hanya terjadi di permukaan atap kaca. Tambahan kondensator belum digunakan untuk memaksimalkan proses penguapan. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memaksimalkan proses penguapan pada alat distilasi tepat guna.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh bentuk atap datar dan atap dengan kemiringan 60^o terhadap volume air produk distilator. Tujuan lainnya adalah untuk mendapatkan informasi mengenai panjang pipa aluminium kondensator dan tinggi air yang optimum guna menentukan distilator yang efektif.

Intrusi air laut menyebabkan air tanah yang berada di daerah pesisir memiliki kadar garam tinggi (Barus dalam Purwoto, 2006). Menurut Nontji (1986), salah satu alat yang paling populer untuk mengukur salinitas dengan ketelitian tinggi adalah salinometer yang bekerja didasarkan pada daya hantar listrik. Semakin besar salinitas, makin besar pula daya hantar listriknya. Klasifikasi air berdasarkan Daya Hantar Listrik (DHL) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Air Berdasarkan DHL

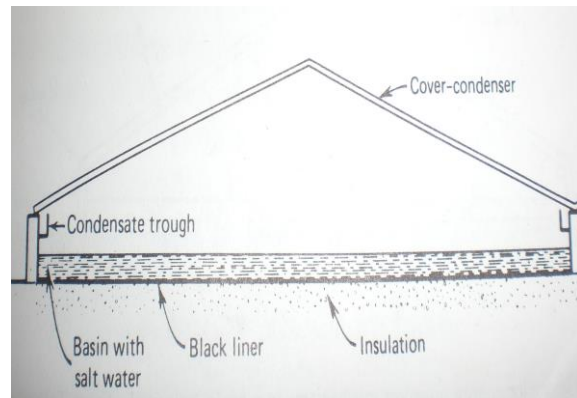
Kriteria Air	DHL (µmhos/cm)
Air Tawar	< 1000
Air agak Tawar	1000 - < 3000
Air Payau	3000 - < 10000
Air Laut	≥ 10000

Sumber: Jurnal Litbang Pengairan dalam Karnaningroem (1990)

Salah satu cara pengolahan air payau adalah dengan evaporasi/penguapan. Sumber energi yang digunakan dapat berupa energi matahari. Prosesnya disebut distilasi surya. Di daerah-daerah terpencil dengan tingkat radiasi matahari tinggi, di mana hanya tersedia air

payau atau air asin, distilator tipe atap ini dapat menjadi sumber potensial untuk penyediaan air minum. Rancangan dasar dari desalinasi surya ini merupakan sebuah kolam air dangkal dengan kedalaman 25 mm hingga 50 mm yang ditutupi dengan atap kaca.

Skema alat (Gambar 1) menunjukkan air yang dipanasi oleh radiasi matahari sebagian akan menguap dan sebagian dari uap air itu akan mengembun pada bagian bawah permukaan atap kaca yang lebih dingin. Kaca tersebut dimiringkan sedikitnya 10^o untuk memungkinkan kondensat mengalir ke dalam saluran, dan air akan mengalir ke dalam tangki penyimpanan (Jansen, 1995).



Gambar 1. Bentuk Desalinasi Surya (sumber: Duffie, John, dan Beckman, 1991)

Alat desalinasi yang baik adalah alat yang menghasilkan air produk dalam jumlah besar dan dapat menurunkan salinitas. Efektivitas dari desalinasi surya ini dapat diketahui dari laju distilasinya, yaitu kecepatan perpindahan massa penguapan persatuan luas dan waktu. Nilai laju distilasi didapatkan dari rumus berikut ini:

$$\frac{\text{Volume air produk (liter)}}{\text{Luas ruang evaporator (m}^2\text{)} \times \text{Lama pengoperasian (jam)}}$$

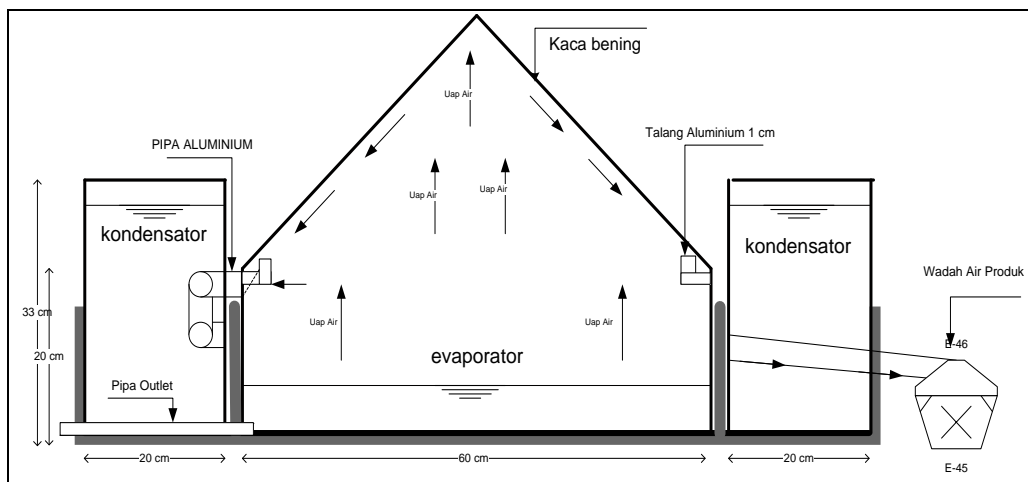
Energi yang berasal dari radiasi matahari merupakan potensi energi terbesar dan terjamin keberadaannya di muka bumi, terutama di daerah tropika. Berbeda dengan sumber energi lainnya, energi matahari dapat dijumpai di

seluruh permukaan bumi. Selain itu pemanfaatan radiasi matahari tidak menimbulkan polusi ke atmosfer (Indartono, 2005).

Jenis bahan yang menerima panas juga mempengaruhi besarnya panas sinar matahari yang terserap. Untuk benda yang mempunyai permukaan kasar dan berwarna gelap akan dapat menyerap panas sinar matahari lebih banyak dibandingkan dengan benda yang memiliki permukaan halus dan berwarna terang.

2. METODOLOGI

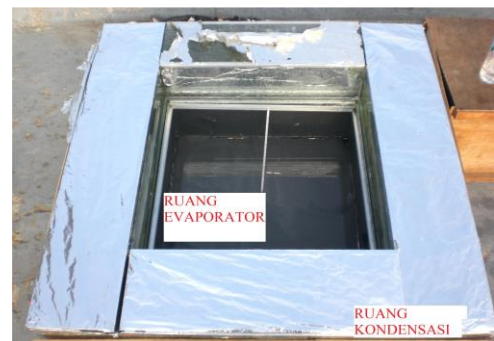
Dalam penelitian ini digunakan distilator tenaga surya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Purwoto (2006), distilator dengan kemiringan sudut atap 60° memberikan hasil destilasi yang terbesar dibandingkan dengan distilator atap datar. Sehingga dalam penelitian ini digunakan distilator dengan sudut atap yang optimum, yaitu 60° . Selain itu digunakan pula distilator atap datar sebagai pembanding. Skema distilator yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Distilator

Skema proses destilasi pada distilator atap miring adalah air dimasukkan ke dalam evaporator, lalu ditutup dengan atap kaca miring. Kemudian pemanasan akan terjadi pada evaporator hingga air menguap. Uap air akan bergerak ke atas dan sebagian masuk ke dalam pipa kondensasi. Uap air yang bergerak ke atas akan terkondensasi pada atap kaca, kemudian mengalir ke dalam talang aluminium. Selanjutnya air dari talang aluminium mengalir ke dalam pipa kondensator. Di dalam pipa kondensator uap air yang belum terkondensasi di atap kaca akan terkondensasi. Selanjutnya air hasil kondensasi ditampung di dalam bak penampung. Hal yang sama terjadi pada distilator atap datar. Dimensi dari distilator ini adalah 100 x 100 cm yang terdiri dari 2 bagian, yaitu evaporator dan kondensator.

Bagian pertama distilator adalah ruang evaporator yang berfungsi sebagai tempat pemanasan dan penguapan air. Ruang ini berdimensi 60 x 60 cm dan tinggi dindingnya 20 cm. Dinding ruang evaporator terbuat dari kaca bening dengan ketebalan 5 mm, kecuali bagian alas yang dibuat dari kaca rayban. Denah distilator disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah Distilator

Kedua atap distilator dibuat dari kaca bening dengan ketebalan 5 mm. Ketinggian atap miring adalah 55,5 cm. Dalam penelitian ini tidak digunakan variabel volume ruang evaporator, sehingga untuk penentuan ketinggian atap datar dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{atap miring}} &= V_{\text{atap datar}} \\
 \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{panjang} \times \text{tinggi} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \\
 \frac{1}{2} \times 60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 55,5 \text{ cm} &= 60 \times 60 \times \text{tinggi} \\
 \text{tinggi} &= 27,75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Bagian yang kedua adalah ruang kondensator (Gambar 4) yang berdimensi 400 x 20 x 30 cm yang mengelilingi sisi luar dari ruang evaporator. Ruang kondensator ini berisi pipa kondensator yang terbuat dari pipa aluminium berdiameter 3/4 inchi dengan panjang pipa bervariasi, yaitu 260 cm, 320 cm, dan 380 cm.



Gambar 4. Ruang Kondensator

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah panjang pipa aluminium kondensator

dan ketebalan air. Variasi panjang pipa kondensator adalah 260, 320, dan 380 cm. Sebagai kontrol digunakan pipa dengan panjang 260 cm tanpa air pengkondensasi. Variasi ketebalan air yang diupkan adalah 0,5 cm, 1 cm, dan 1,5 cm. Atap distilator yang digunakan adalah atap datar dan atap dengan kemiringan sudut 60⁰ dari bidang datar.

Distilator tersebut dioperasikan di lantai 3 gedung Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Distilator dioperasikan selama 8 jam dari pukul 08.00 hingga 16.00. Pengoperasian distilator dilaksanakan pada musim kemarau, yaitu mulai awal bulan Juli hingga September 2008. Tingkat intensitas matahari rata-rata pada bulan Juli 452 Watt/m², Agustus 480,1 Watt/m², dan September 530 Watt/m² (Badan Meteorologi dan Geofisika, 2008).

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air payau yang diambil dari sumur penduduk di daerah Kenjeran Lama Surabaya. Hasil pengukuran nilai DHL air tersebut adalah 5060 µmhos/cm. Sampel air tersebut termasuk dalam kategori air payau. Nilai DHL awal air dalam penelitian ini dijaga agar tetap, yaitu 5000 ± 100 µmhos/cm sebagai pembanding terhadap hasil dari penelitian distilator.

Distilator atap miring disajikan pada Gambar 5, sedangkan distilator atap datar dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Distilator Atap Miring



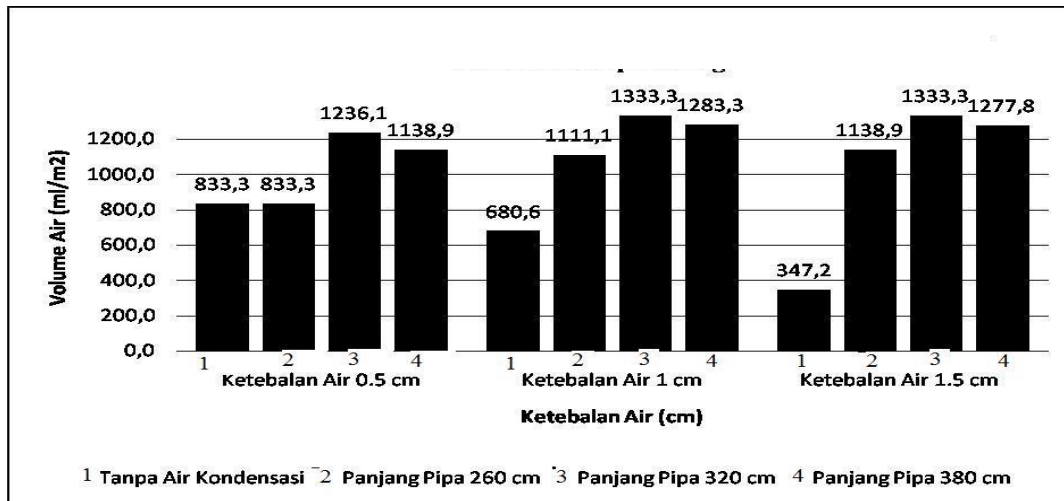
Gambar 6. Distilator Atap Datar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Distilator Atap Miring 60°

Proses pengembunan pada distilator atap miring terjadi di atap kaca dan pipa kondensator. Hasil penelitian yang didapatkan dari pengoperasian distilator atap miring dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa panjang pipa kondensator berpengaruh terhadap volume air produk yang dihasilkan. Semakin pendek pipa kondensator, volume air yang dihasilkan semakin sedikit. Nilai rata-rata volume air produk pada masing-masing variabel disajikan seperti pada Tabel 2.



Gambar 7. Grafik Volume Air Produk Pada Distilator Atap Miring 60°

Tabel 2. Rata-rata Volume Air Produk Distilator pada Atap Miring 60° dengan Berbagai Variabel

Atap Miring	Volume Air Produk (ml/m ²)				Rata-rata
	Pipa Tanpa Air Pengkondensasi	Panjang Pipa 260 cm	Panjang Pipa 320 cm	Panjang Pipa 380 cm	
Ketebalan Air 0.5 cm	833,3	833,3	1236,1	1138,9	1010,4
Ketebalan Air 1 cm	680,6	1111,1	1333,3	1283,3	1102,1
Ketebalan Air 1.5 cm	347,2	1138,9	1333,3	1277,8	1024,3
Rata-rata	620,4	1027,8	1300,9	1233,3	

Sumber: Hasil Perhitungan 2008

Dari Tabel 2 diperoleh nilai rata-rata volume air produk terbesar pada distilator dengan panjang pipa 320 cm. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada panjang pipa 320 cm uap air memiliki waktu kontak yang lebih lama dibandingkan dengan pada pipa tanpa air kondensator dan pada panjang pipa 260 cm. Sehingga embun yang dihasilkan pada panjang pipa 320 cm lebih banyak. Sedangkan pada pipa 380 cm ada *headloss* aliran udara besar, yang diakibatkan oleh panjang pipa yang semakin panjang dan belokan saluran. *Headloss* aliran ini menghambat aliran udara ke luar bak evaporator sehingga kesetimbangan cepat

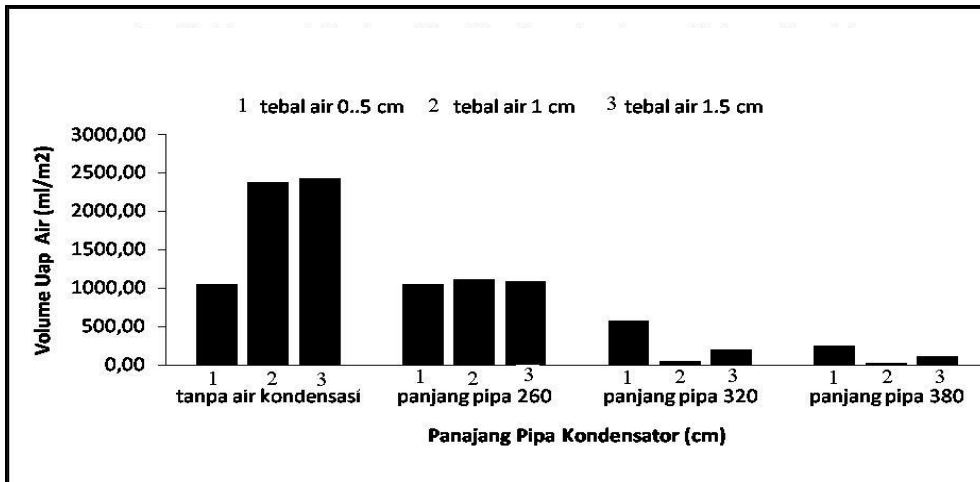
terjadi. Jika kesetimbangan terjadi maka penguapanpun berhenti.

Dari Tabel 2, jika masing-masing ketebalan air dirata-ratakan, maka nilai rata-rata terbesarnya ada pada ketebalan 1 cm. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin tipis ketebalan air maka transfer panas di air berlangsung cepat sehingga penguapan yang terjadi akan semakin cepat dan banyak. Dengan semakin banyaknya uap air yang muncul, maka kesetimbangan yang ada pada bak evaporasi akan semakin cepat terjadi. Jika kesetimbangan terjadi maka penguapan berhenti. Dengan demikian, kondisi setimbang lebih cepat terjadi pada ketebalan air

0,5 cm dibandingkan ketebalan air yang lain. Sedangkan pada ketebalan air 1,5 cm penguapan yang terjadi lebih sedikit dibandingkan pada ketebalan air 1,5 cm.

Untuk mengetahui pengaruh panjang pipa kondensator terhadap volume uap air yang hilang pada distilator atap miring 60⁰ dapat

disajikan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa pada distilator atap miring 60⁰ panjang pipa kondensator berpengaruh terhadap volume air yang hilang, yaitu uap air yang tidak terkondensasi pada pipa kondensasi maupun pada atap kaca. Semakin panjang pipa kondensator, semakin sedikit pula uap air yang hilang.



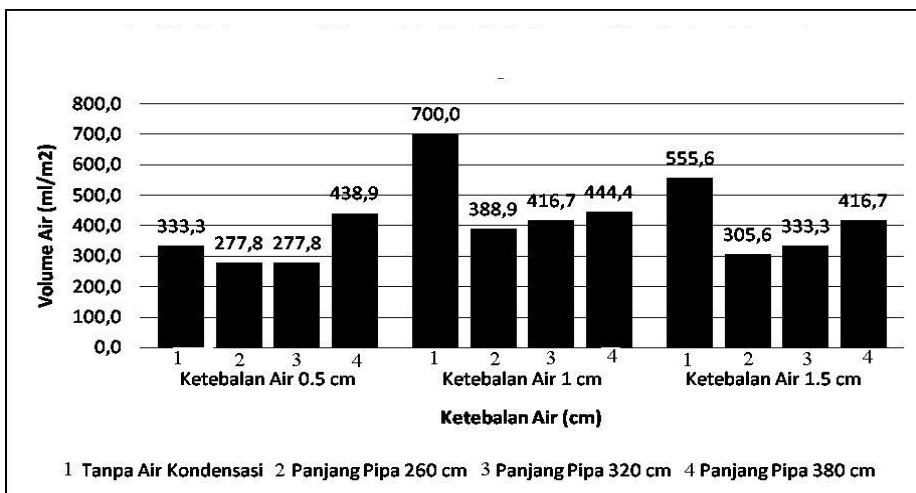
Gambar 8. Grafik Volume Uap Air Yang Hilang Pada Distilator Atap Miring 60⁰

Distilator Atap Datar

Data hasil penelitian pada atap datar berbeda dengan atap miring 60⁰. Perbedaannya terletak pada pengembunan di atap kaca, yaitu embun hasil kondensasi pada atap miring akan dialirkan ke dalam talang karena adanya kemiringan atap. Sedangkan pada atap datar embun yang terbentuk tidak dapat dialirkan ke dalam talang karena tidak adanya kemiringan atap. Embun yang menempel

pada atap datar mempengaruhi sistem kesetimbangan yang ada pada bak evaporator. Embun tersebut menyebabkan kelembaban yang tinggi sehingga proses kesetimbangan pada atap datar lebih cepat terjadi dibandingkan pada atap miring 60⁰.

Hasil penelitian yang didapatkan dari pengoperasian distilator atap miring dapat dilihat pada Gambar 9. Pada



Gambar 9. Grafik Volume Air Produk Pada Distilator Atap Datar

Gambar 9 dapat diketahui bahwa pada pipa tanpa air pengkondensasi didapatkan nilai volume air produk lebih banyak dibandingkan dengan pipa yang terendam air. Hal ini disebabkan karena kondisi setimbang cepat terjadi pada pipa kondensator yang terendam air. Pergerakan uap air pada pipa tanpa air kondensasi lebih leluasa dan uap air akan mudah masuk ke dalam pipa kondensator

karena adanya aliran udara. Sedangkan pada pipa kondensator yang terendam air, aliran udara yang masuk ke dalam pipa kondensator akan terhambat oleh uap air yang menempel dan mengalami proses kondensasi dalam pipa kondensator. Hasil perhitungan nilai rata-rata volume air produk pada masing-masing variabel dapat dilihat pada Tabel 3.

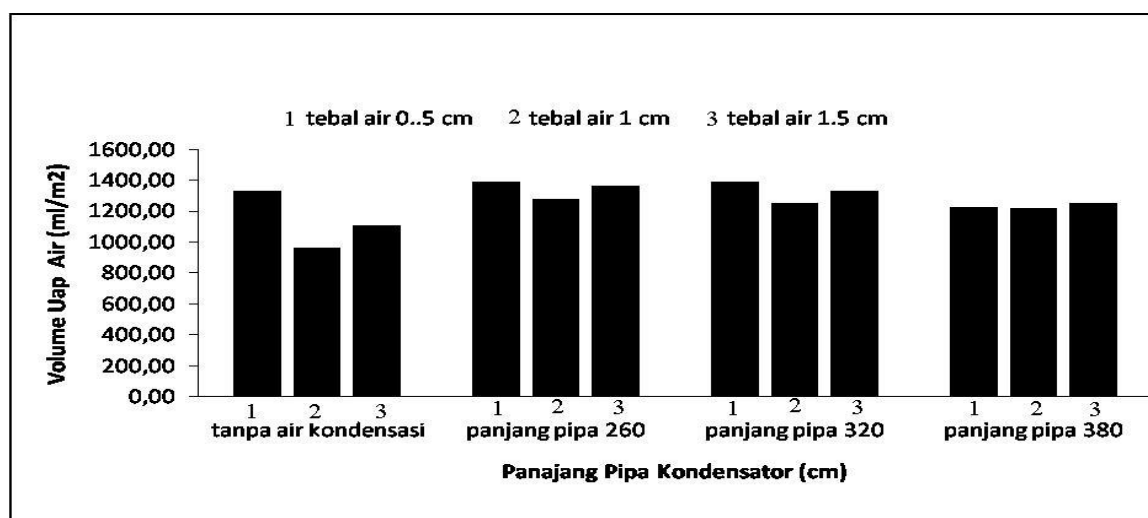
Tabel 3. Rata-rata Volume Air Produk Distilator pada Atap Datar dengan Berbagai Variabel

Atap Datar	Volume Air Produk (ml/m ²)				Rata-rata
	Tanpa Air Pengkondensasi	Panjang Pipa 260 cm	Panjang Pipa 320 cm	Panjang Pipa 380 cm	
Ketebalan Air 0.5 cm	333,3	277,8	277,8	438,9	332,0
Ketebalan Air 1 cm	700	388,9	416,7	444,4	487,5
Ketebalan Air 1.5 cm	555,6	305,6	333,3	416,7	402,8
Rata-rata	529,6	324,1	342,6	433,3	

Sumber: Hasil Perhitungan 2008

Dari Tabel 3 dapat diketahui jika masing-masing ketebalan air dirata-ratakan maka nilai rata-rata terbesarnya sama seperti atap miring 60⁰, yaitu pada ketebalan 1 cm. Untuk

mengetahui pengaruh panjang pipa kondensator terhadap volume uap air yang hilang pada atap miring dapat disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Volume Air yang Hilang Pada Distilator Atap Datar

Dari Gambar 10 dapat diketahui bahwa pada atap datar nilai terkecil volume uap air yang hilang ada di panjang pipa tanpa air kondensasi. Hal ini terjadi karena kesetimbangan yang cepat terjadi pada atap datar yang disebabkan embun pada atap kaca. Sehingga kondisi tersebut mempengaruhi hasil dari pengukuran nilai uap air yang hilang.

Perbandingan antara distilator atap miring 60⁰ dengan Atap Datar

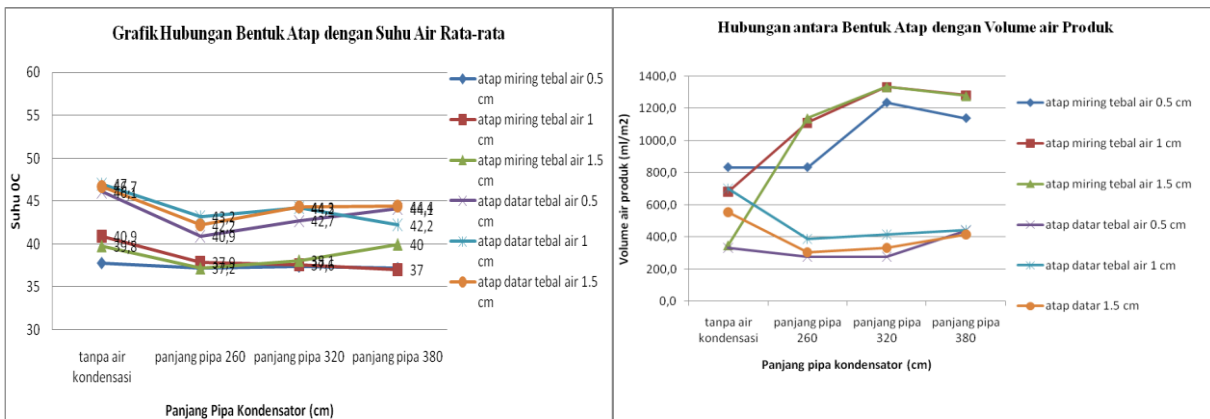
Hasil perbandingan kedua distilator, atap miring 60⁰ dan atap datar, dapat dilihat pada Gambar 11. Pada distilator atap datar suhu yang terukur pada ruang evaporator lebih tinggi dibandingkan pada atap miring 60⁰. Hal ini disebabkan banyaknya sinar yang dipantulkan pada atap kaca miring.

Sedangkan volume air produk atap kaca miring 60° lebih banyak dibandingkan pada atap kaca datar. Hal ini disebabkan pada atap kaca datar uap air yang terkondensasi pada atap kaca tidak dapat dialirkan karena tidak adanya kemiringan atap sehingga embun yang terbentuk hanya menempel pada atap kaca.

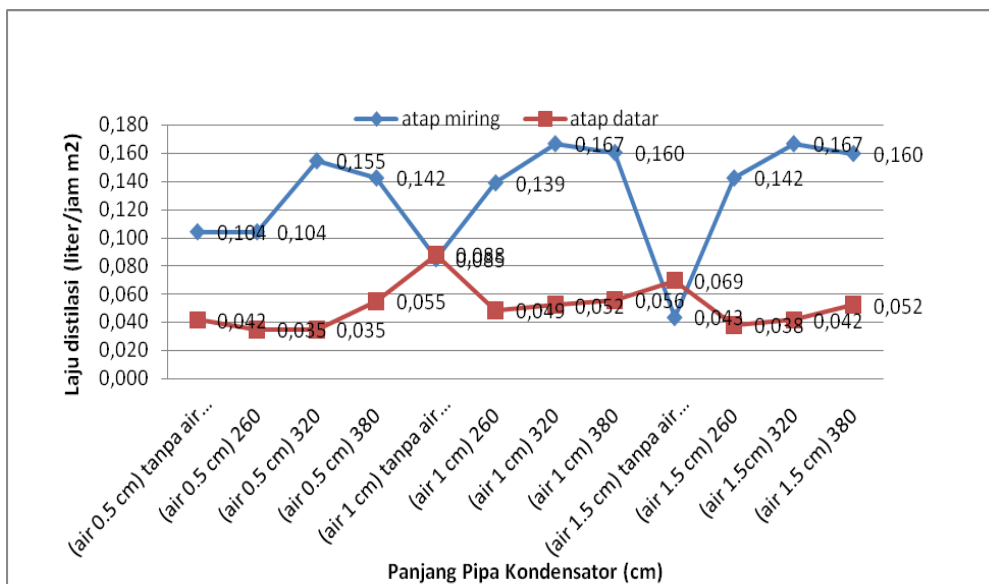
Nilai laju distilasi dari distilator ini disajikan pada Gambar 12. Nilai laju distilasi terbesar adalah pada atap miring 60° dengan variabel

panjang pipa 320 cm dan ketebalan air 1 cm serta 1,5 cm. Dari nilai efektivitas air awalnya, maka variabel yang efektif adalah pada atap miring 60° dengan panjang pipa 320 cm dan ketebalan air 1 cm.

Air hasil produk untuk distilator pada penelitian ini masih terdapat kandungan garam.. Nilai penyisihan garam (CI) berbanding lurus dengan nilai penurunan DHL, seperti yang terlihat pada Tabel 4.



Gambar 11. Perbandingan Suhu dan Volume Air Produk Pada Distilator Atap Miring 60° dan Datar



Gambar 12. Grafik Laju Distilasi

Tabel 4. Nilai Removal DHL dan Klorida (Cl)

Parameter	Satuan	Hasil Analisa Air Payau	Hasil Anlisa Air Produk	% removal
Daya Hantar Listrik	μmhos/cm	5230	198	96
Kadar Klorida	mg/l Cl	1544	60	96

Sumber: Hasil Perhitungan 2008

Adanya kandungan garam yang ikut menguap (CI) dapat dijelaskan karena adanya titik *azeotrope*, yaitu campuran 2 atau lebih komponen pada komposisi tertentu. Pada titik *azeotrope* komposisi tersebut tidak bisa berubah hanya melalui distilasi biasa.

Nilai CI pada air produk adalah 60 mg/L sedangkan batas maksimum untuk syarat air minum adalah 250 mg/L. Guna mengetahui kelayakan air produk distilasi untuk keperluan konsumsi, perlu dilakukan uji laboratorium untuk seluruh parameter air minum.

4. KESIMPULAN

Bentuk atap yang terbaik untuk proses distilasi air baku air minum adalah atap miring dengan sudut kemiringan 60° yang memiliki nilai rata-rata volume produk sebesar $1045,6 \text{ mL/m}^2$. Sedangkan untuk atap datar rata-rata volume produknya adalah $407,4 \text{ mL/m}^2$. Persentase volume uap air terkondensasi pada panjang pipa 260, 320, dan 380 cm berturut-turut adalah 50%, 96%, dan 98,3%. Ketebalan air yang terbaik dalam penelitian ini adalah 1 cm dengan nilai volume produk rata-rata $1102,1 \text{ mL/m}^2$. Sedangkan ketebalan 1,5 cm dan 0,5 cm masing-masing menghasilkan produk sebesar $1024,3 \text{ mL/m}^2$ dan $1010,4 \text{ mL/m}^2$. Nilai laju distilasi terbesar dalam penelitian ini adalah $0,167 \text{ L/m}^2 \text{ jam}$ yaitu pada variabel atap miring dengan panjang pipa kondensator 320 cm pada ketebalan air 1 cm.

Adapun saran yang dapat diberikan adalah perlu adanya: (1) penelitian dengan variabel ketinggian atap kaca ruang evaporator guna mendapatkan ketinggian optimum atap kaca, (2) penelitian tentang tekanan di dalam bak evaporator dan pengaruhnya terhadap kecepatan terjadinya kondisi setimbang dan volume produk yang dihasilkan, (3) penelitian dengan variasi luas permukaan dan ketinggian bak evaporator untuk mengetahui faktor yang lebih berpengaruh dalam

kecepatan penguapan, (4) penelitian tentang kualitas air produk hasil distilasi sebagai air minum.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi dan Geofisika. 2008. Data Temperatur dan Radiasi Sinar Matahari. Stasiun Meteorologi Juanda, Surabaya.
- Dhamayanti. 2005. Modifikasi Alat Desalinasi dengan Metode evaporasi Menggunakan Energi Matahari untuk Skala Kecil. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Duffie, John, dan Beckman, W.A. 1980. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley and Son Inc, USA.
- Heitmann, Hans-Gunter. 1990. Saline Water Processing. Federal Republik of VCH Verlagsgesellschaft D6940 Weinheim, Germany.
- Indartono, Y.S. 2005. Krisis Energi di Indonesia: Mengapa dan Harus Bagaimana.
- Jansen, Ted J diterjemahkan oleh Prof. Wiranto Arismunandar. 1995. Teknologi Rekayasa Surya. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Karnaningroem, N. 1990. Efisiensi Evaporasi sebagai Metode Penyediaan Air Minum dari Sumber Air Payau. Program Studi Teknik Penyehatan-Pusat penelitian Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Narmasari, A. 2005. Proses Penyulingan Air Payau dengan Metode Desalinasi Sederhana. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Nontji, A. 1986. Laut Nusantara. Djambatan, Jakarta.

Purwoto, S. 2006. Desalinasi Air Payau

secara Penguapan dalam Ruang Kaca. Tesis. Jurusan Teknik Lingkungan, Institut teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.