

**UNJUK KERJA DESTILASI AIR ENERGI SURYA
BERKONDENSOR PASIF DENGAN *HEAT RECOVERY*
MENGUNAKAN BAK AIR DUA TINGKAT**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan

Mencapai derajat Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin



Diajukan oleh:

TRI CAHYO WIBOWO

NIM: 115214006

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SANATA DHARMA**

2014

**PERFORMANCE OF SOLAR WATER DISTILLATION
WITH HEAT RECOVERY PASSIVE CONDENSER USING
TWO LEVEL WATER TANK**

FINAL PROJECT

**Presented as partial fulfillment of the requirement
to obtain the *Sarjana Teknik* degree
in Mechanical Engineering**



Presented by:

TRI CAHYO WIBOWO

Student Number : 115214006

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA**

2014

TUGAS AKHIR

**UNJUK KERJA DESTILASI AIR ENERGI SURYA
BERKONDENSOR PASIF DENGAN *HEAT RECOVERY*
MENGUNAKAN BAK AIR DUA TINGKAT**

Disusun Oleh:

Tri Cahyo Wibowo

NIM : 115214006



Telah disetujui oleh:

Pembimbing 1

(I Gusti Ketut Puja, S.T, M.T.)

**UNJUK KERJA DESTILASI AIR ENERGI SURYA
BERKONDENSOR PASIF DENGAN *HEAT RECOVERY*
MENGUNAKAN BAK AIR DUA TINGKAT**

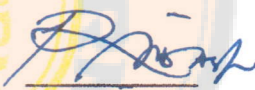
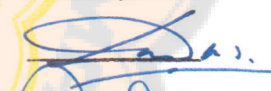

Dipersiapkan dan ditulis oleh:

NAMA : TRI CAHYO WIBOWO

NIM : 115214006

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Penguji
pada tanggal 31 Oktober 2014

Susunan Dewan Penguji

	Nama Lengkap	Tanda tangan
Ketua	: Ir. Rines, M.T.	
Sekretaris	: RB DwisenoWihadi, S.T., M.Si	
Anggota	: I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T	

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, 31 Oktober 2014

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

Dekan




Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

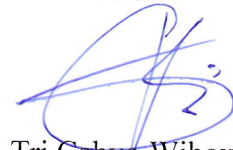
Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam Tugas Akhir dengan judul :

**UNJUK KERJA DESTILASI AIR ENERGI SURYA
BERKONDENSOR PASIF DENGAN *HEAT RECOVERY*
MENGUNAKAN BAK AIR DUA TINGKAT**

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan yang wajib ditempuh untuk menjadi Sarjana teknik pada Program Strata-1, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma. Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan dari tugas akhir yang sudah dipublikasi di Universitas Sanata Dharma atau bagian karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan dalam kutipan dan daftar pustaka, sebagaimana layaknya karya ilmiah.

Yogyakarta, 31 Oktober 2014

Penulis



Tri Cahyo Wibowo

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma:

NAMA : TRI CAHYO WIBOWO

NOMOR INDUK MAHASISWA : 115214006

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah saya yang berjudul :


**UNJUK KERJA DESTILASI AIR ENERGI SURYA
BERKONDENSOR PASIF DENGAN *HEAT RECOVERY*
MENGUNAKAN BAK AIR DUA TINGKAT**

Dengan demikian saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma hak untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain, mengelola dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas, dan mempublikasikan di internet atau media lain untuk kepentingan akademis, tanpa perlu meminta izin dari saya maupun memberikan royalti kepada saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian ini pernyataan yang saya buat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 31 Oktober 2014

Yang menyatakan



Tri Cahyo Wibowo

INTISARI

Air bersih merupakan keperluan sehari-hari masyarakat terutama untuk minum dan memasak. Sumber air yang ada sering terkontaminasi dengan tanah, garam (air laut), logam berat, bakteri atau bahan lain yang merugikan. Air dalam kondisi ini dapat merugikan kesehatan jika digunakan untuk minum atau memasak, untuk itu air tersebut harus dijernihkan lebih dahulu. Terdapat beberapa cara untuk menjernihkan air yang terkontaminasi, salah satunya dengan cara destilasi. Proses destilasi air memerlukan energi panas untuk menguapkan air yang terkontaminasi sebelum diembunkan dan menghasilkan air jernih. Penelitian ini bertujuan membuat prototipe alat destilasi energi surya sederhana menggunakan *energy recovery* dengan metode bak dua tingkat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil dan membandingkan unjuk kerja (efisiensi) dari alat destilasi air energi surya menggunakan kondensor pasif dengan metode bak dua tingkat dan alat destilasi air energi surya konvensional. Variasi yang digunakan adalah variasi ketinggian air 10 mm, 15 mm, dan 27 mm di dalam kotak destilator

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi aktual tertinggi pada alat destilasi menggunakan kondensor pasif dengan metode bak dua tingkat ditunjukkan pada variasi ketinggian air 10 mm pada bak destilator yaitu sebesar 23,63 % pada intensitas radiasi matahari, G sekitar 537 watt/m^2 . Tetapi untuk keseluruhan alat destilasi menggunakan kondensor pasif dengan metode bak dua tingkat maupun alat destilasi konvensional, alat destilasi konvensional memperoleh efisiensi aktual tertinggi mencapai 37,63 % dari rata-rata selama 3 hari pada intensitas radiasi matahari, G sekitar 473 watt/m^2 . Serta hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil air destilasi terbanyak pada alat destilasi menggunakan kondensor pasif ditunjukkan pada variasi ketinggian air 10 mm pada bak destilator mencapai 1,4 liter per hari.

Kata kunci: destilasi air, energi surya, efisiensi, *energy recovery*

ABSTRACT

Clean water is a daily use, especially the community for drinking and cooking. Existing water sources are often contaminated with soil, salt (sea water), heavy metals, bacteria or other harmful materials. The water in these conditions can be detrimental to health if used for drinking or cooking, for that water must be clarified first. Many ways to purify contaminated water, one of them by way of distillation. Water distillation process requires heat energy to evaporate the contaminated water before it condensed and produce clear water. This study aims to create a prototype solar energy simple distillation apparatus using energy recovery with two level water tank.

This study aims to determine and compare the results of the performance (efficiency) of solar water distillation devices using passive condenser with a two-level methods and tools tub water distillation of conventional solar energy. Variation used was 10 mm water level variation, 15 mm, and 27 mm in the box distillation

The results showed that the highest actual efficiency of the distillation equipment using passive condenser with two level water tank shown at 10 mm water level variations in the distillation box is equal to 23,63% at 537 G watt/m². But for the entire tool distillation using passive condenser with two levels or methods like conventional distillation equipment, distillation equipment conventionally obtain the highest current efficiency reached 37,63% on average over the 3 days with G 473watt/m². And the results showed that the distilled water results in poor distillation tool uses the passive condenser shown in the variation of water level in the tub 10 mm distillation at 1,4 liters per day.

Keywords: water distillation, solar energy, efficiency, energy recovery

KATA PENGANTAR

Mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat yang diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana S-1 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.

Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik atas berkat bimbingan, dukungan maupun nasihat dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
2. Ir. Petrus Kanisius Purwadi, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin atas segala yang telah diberikan selama penulis belajar di Program Studi Teknik Mesin
3. Budi Setyahandana, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik
4. I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan waktu, tenaga dan pikiran selama penulisan Tugas Akhir
5. Ir. Franciscus Asisi Rusdi Sambada, M.T., atas bantuan selama proses penelitian berlangsung
6. Segenap dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta atas segala kerjasama, pelayanan dan bimbingan selama penulis menempuh kuliah dan proses penulisan Tugas Akhir
7. Bapak Kus Haryanto dan Ibu Riwayati, selaku orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan moril maupun materil, penghiburan secara penuh selama proses perkuliahan dan penulisan Tugas Akhir
8. Ika Suryanti Amd Kep, Dwi Wulan Sari GH, Umu Annisatul Mubarakah, selaku saudara yang selalu memberikan dukungan dan semangat selama proses perkuliahan dan penulisan Tugas Akhir

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

9. Daniel Ramos Simanjuntak, Felik Kurniawan, dan R Asmara Yudha Kumara atas kerjasama dan kebersamaan dari awal pengerjaan sampai penulisan Tugas Akhir ini selesai
10. Ursula Sekar Arum, selaku teman dekat yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, dan menemani dalam segala proses mulai dari pembuatan alat destilasi sampai penulisan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman Obrolan, Damar, Dani, Yudha, Felix, Prima, Yushendra dan Daniel yang telah memberikan hiburan saat mengalami kepenatan.
12. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2011 Universitas Sanata Dharma dan teman-teman saya lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu

Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima saran positif dan kritik dari pembaca demi perbaikan tugas akhir. Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 31 Oktober 2014

Penulis



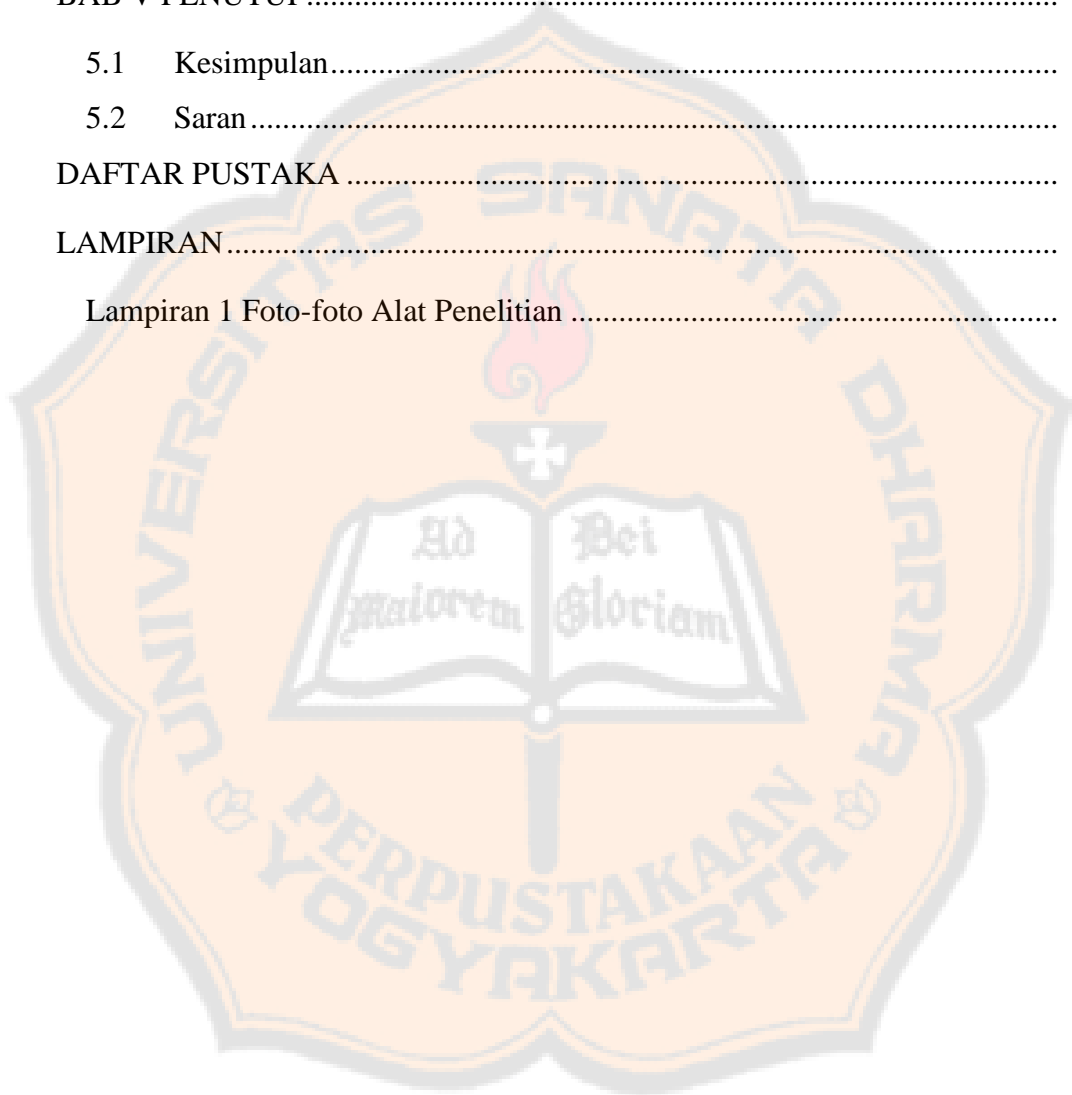
Tri Cahyo Wibowo

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
INTISARI.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Teori	5
2.2 Persamaan yang Digunakan	8
2.3 Penelitian yang Pernah Dilakukan.....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Skema Alat Penelitian	13
3.2 Alat yang Mendukung Dalam Pengambilan Data.....	15
3.3 Parameter yang Divariasikan.....	16
3.4 Variabel yang Diukur	17
3.5 Langkah Penelitian	18

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil Penelitian.....	20
4.2 Pembahasan	24
BAB V PENUTUP.....	32
5.1 Kesimpulan.....	32
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	36
Lampiran 1 Foto-foto Alat Penelitian	36



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi berkondensor pasif dengan ketinggian air 10 mm pada bak destilasi hari pertama.....	21
Tabel 2	Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi berkondensor pasif dengan ketinggian air 15 mm pada bak destilasi hari kedua.....	21
Tabel 3	Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi berkondensor pasif dengan ketinggian air 27 mm pada bak destilasi hari ketiga.....	22
Tabel 4	Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi konvensional hari pertama.....	22
Tabel 5	Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi konvensional hari kedua.....	23
Tabel 6	Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi konvensional hari ketiga.....	23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema alat destilasi air energi surya yang umum 6

Gambar2 Mekanisme perpindahan massa uap air pada destilator konvensional .. 7

Gambar 3 Mekanisme perpindahan massa uap air pada alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan metode bak dua tingkat..... 8

Gambar4 Skema alat destilasi air tenaga surya konvensional tanpa menggunakan kondensor 14

Gambar 5 Skema alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energyrecovery* dengan metode bak air dua tingkat. 15

Gambar 6 Ketinggian air di dalam bak destilasi yang divariasikan..... 17

Gambar 7 Grafik perbandingan efisiensi aktual antara alat destilasi berkondensor pasif dengan alat destilasi konvensional. 26

Gambar 8 Grafik hubungan antara efisiensi aktual dan rata-rata energi surya yang datang (G) terhadap alat destilasi berkondensor pasif variabel yang divariasikan. 27

Gambar 9 Grafik perbandinganantara efisiensi teoritis dan aktual pada alat destilasi berkondensor pasif variabel yang divariasikan..... 28

Gambar 10Grafik hubungan hasil hasil air destilasi yang didapat (m_D) dan energi surya yang datang (G) terhadap alat destilasi menggunakan kondensor pasif pada variabel yang divariasikan. 30

Gambar 11Grafik perbandingan antara massa uap air destilsasi pada efisiensi teoritis (m_g) dan aktual (m_D) tiap harinya pada destilasi berkondensor terhadap variabel yang divariasikan..... 31

Gambar L. 1 Alat Destilasi Energi Surya Konvensional 37

Gambar L. 2 Logger (Biru) dan Stalker (Merah)..... 37

Gambar L. 3 Penampung Air Kotor dan Pengatur Ketinggian Air Di dalam Bak Destilator..... 38

Gambar L. 4 *Dallas semiconductor TemperatureSensor(TDS)* 38

Gambar L. 5Alat Destilasi Air Energi Surya Berkondensor Pasif menggunakan bak dua tingkat..... 39

Gambar L. 6Penampung Air Hasil Destilasi..... 39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia masalah ketersediaan air minum semakin hari semakin dirasakan baik oleh masyarakat di perkotaan terutama di daerah-daerah terpencil. Sumber air yang ada sering telah terkontaminasi oleh tanah, garam (air laut) atau bahan lain yang dapat merugikan kesehatan jika dikonsumsi secara langsung. Masyarakat umumnya harus membeli air untuk minum. Pada musim hujan, masyarakat di daerah-daerah terpencil memanfaatkan air hujan untuk air minum. Pemenuhan kebutuhan air minum dengan cara membeli akan berdampak pada turunya tingkat kesejahteraan. Pemanfaatan air hujan untuk air minum dapat merugikan kesehatan. Sebenarnya ada cara penjernihan air terkontaminasi yang dapat dilakukan diantaranya dengan menggunakan destilasi air tenaga surya. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi tenaga surya cukup baik dengan radiasi harian tenaga surya rata-rata 4,8 kWh/m².

Melihat Potensi Indonesia akan ketersediaan cahaya matahari dan air laut yang melimpah penulis ingin menyalurkan ketrampilan dan keahlian yang dimiliki untuk mengabdikan pada masyarakat dengan membuat aplikasi model penjernihan air. Salah satu alternatif untuk pengadaan air bersih adalah dengan menggunakan teknologi destilasi air tenaga surya (*desalination/solar still*). Alat destilasi air tenaga surya konvensional umumnya berbentuk kotak dan disebut

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

kotak destilator. Kotak destilator terdiri dari 2 (dua) komponen utama yakni bak air dan kaca penutup. Bak air berfungsi menyerap tenaga surya untuk menguapkan air sehingga air terpisah dari zat yang mengontaminasinya. Kaca penutup berfungsi sebagai tempat mengembun uap air sehingga dihasilkan air bersih yang langsung dapat dikonsumsi.

Keuntungan alat destilasi air energi surya diantaranya adalah murah dalam pembuatan dan pengoperasian serta perawatan yang mudah (Kunze, 2001). Penulis tertarik memilih alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery*. Dikarenakan alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* mempunyai keunggulan dalam hal konstruksi yang sederhana dibandingkan beberapa jenis alat destilasi air tenaga surya lain.

Permasalahan yang ada pada alat destilasi air tenaga surya saat ini adalah masih rendahnya efisiensi yang dihasilkan. Rendahnya efisiensi diantaranya disebabkan terjadinya kerugian kalor. Kerugian kalor terjadi karena temperatur dalam kotak destilator lebih tinggi dibandingkan temperatur sekitar. Perbedaan temperatur ini menyebabkan aliran kalor keluar kotak destilator. Kerugian kalor dapat dibedakan menjadi dua jenis, pertama adalah kerugian kalor karena kurang baiknya bahan isolasi atau tidak rapatnya kotak destilator dan kedua adalah kerugian kalor pada saat proses pengembunan uap air. Pada proses pengembunan, uap air melepaskan kalor ke lingkungan melalui kaca penutup agar dapat mengembun. Salah satu cara meningkatkan efisiensi alat destilasi air tenaga surya adalah memperkecil kerugian kalor pada saat proses pengembunan uap air dengan memanfaatkan tenaga panas yang dilepas

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

uap air saat proses pengembunan untuk menguapkan air pada tingkat berikutnya cara ini disebut dengan *energy recovery*. *Energy recovery* memerlukan komponen tambahan pada alat destilasi yakni kondensor pasif.

Kondensor pasif umumnya berupa kotak yang terletak dibagian belakang kotak destilator. Penggunaan kondensor pasif pada alat destilasi menyebabkan sebagian uap air hasil proses penguapan dalam kotak destilator akan mengalir ke dalam kondensor pasif. Uap air yang masuk kedalam kondensor pasif digunakan untuk menguapkan air didalam kondensor pasif. Uap air hasil penguapan dalam kondensor pasif dapat langsung dibuang ke sekitar (*energi recovery* satu tingkat) tetapi dapat dimanfaatkan lagi untuk penguapan air didalam kondensor pasif (*energi recovery* dua tingkat). Terdapat dua metode penguapan air didalam kondensor pasif yakni (1) bak air dan (2) difusi

1.2 Tujuan Penelitian

1. Membuat model alat destilasi air energi surya menggunakan *energy recovery* dengan metode bak air dua tingkat.
2. Membandingkan unjuk kerja alat destilasi air energi surya berkondensor pasif menggunakan variasi ketinggian air pada kotak destilator dengan alat destilasi air energi surya konvensional.

1.3 Batasan Masalah

2. Agar topik tidak meluas penulis membatasi penelitian khusus untuk alat destilasi air energi surya menggunakan *energy recovery* dengan bak dua tingkat.
3. Menggunakan variasi ketinggian air pada bak destilator yang akan di aplikasikan untuk alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery*.
4. Membandingkan alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan metode bak dua tingkat dengan destilasi air tenaga surya konvensional.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian antara lain :

1. Dapat menguasai proses pembuatan alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan metode bak dua tingkat.
2. Menambah kepustakaan teknologi alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* sehingga hasil penelitian ini dapat dikembangkan menjadi alat destilasi air tenaga surya bagi masyarakat.
3. Diharapkan dapat dikembangkan untuk membuat *prototype* dan produk teknologi tenaga surya yang dapat diterima oleh masyarakat dengan baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

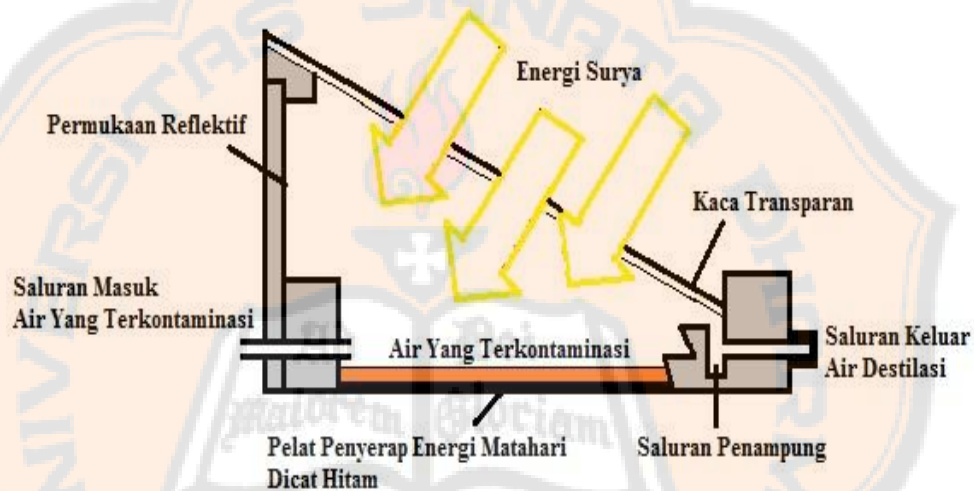
Destilasi adalah metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Suatu campuran dapat dipisahkan dengan cara destilasi untuk memperoleh senyawa murninya. Senyawa-senyawa yang terdapat dalam campuran akan menguap pada saat mencapai titik didih masing-masing (Atmojo, 2011). Proses destilasi air meliputi dua proses yaitu evaporasi dan kondensasi.

Teknologi destilasi dalam hal ini memanfaatkan pemisahan komponen suatu bahan berdasarkan perbedaan didihnya dengan menggunakan tenaga panas. Sedangkan prinsip kerja pada alat destilasi air tenaga surya pada umumnya adalah proses penguapan air yang terkontaminasi dan pengembunan uap air. Dalam proses destilasi khususnya menggunakan tenaga surya, terdapat satu proses yang pasti terjadi yaitu perpindahan panas. Perpindahan panas atau (heat transfer) merupakan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perpindahan suhu diantara benda atau material.

Gambar 1 merupakan ilustrasi proses destilasi secara umum. Destilasi itu sendiri menggunakan proses penguapan dan pengembunan. Energi surya yang datang memanasi bak destilator dan diserap oleh air terkontaminasi yang didestilasi. Akibatnya air tersebut berubah fase dari cair menjadi gas berupa uap air. Pada proses ini, bahan-bahan yang mengkontaminasi air tidak dapat

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

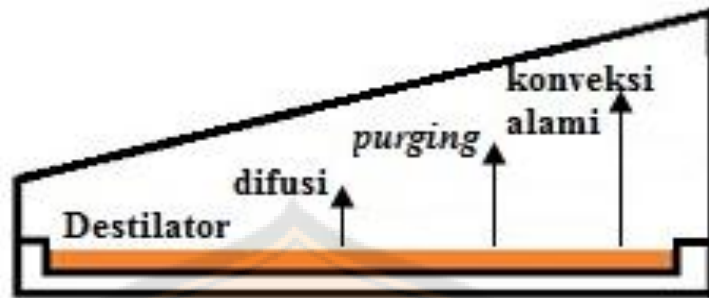
berubah fase dan terpisah dari air yang telah menjadi gas. Uap air yang bersentuhan dengan kaca akan mengembun. Pengembunan tersebut diakibatkan suhu lingkungan di bagian luar kaca lebih rendah dibandingkan suhu bak air di kaca bagian dalam sehingga panas mengalir dari uap air menuju lingkungan. Embun mengalir ke saluran keluar karena posisi kaca yang miring.



Gambar 1 Skema alat destilasi air energi surya yang umum

Gambar 2 merupakan ilustrasi proses mekanisme perpindahan massa uap air dari bak air ke kaca penutup pada alat destilasi air terjadi secara konveksi alami, *purging*, dan difusi. Sebagian besar massa uap air berpindah secara konveksi alami dan sebagian kecil yang berpindah secara *purging* dan difusi. Mekanisme perpindahan massa uap air dari destilator ke dalam kondensor pasif pada alat destilasi air energi surya dengan penambahan kondensor pasif terjadi secara *purging* dan difusi. Sebagian besar massa uap air berpindah secara *purging* dan hanya sebagian kecil yang berpindah secara difusi.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI



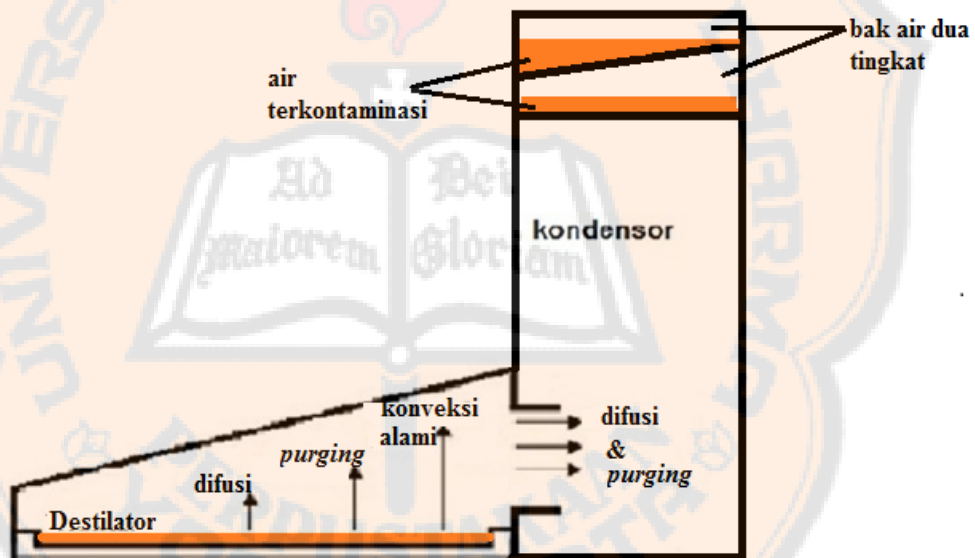
Gambar 2 Mekanisme perpindahan massa uap air pada destilator konvensional

Gambar 3 menjelaskan mekanisme alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan metode bak dua tingkat. Konveksi alami adalah mekanisme berpindahnya massa uap air disebabkan adanya perbedaan temperatur. Molekul air yang mempunyai temperatur lebih tinggi akan memiliki energi kinetik lebih besar dan molekul tersebut dapat lepas dari permukaan air (menguap). *Purging* merupakan mekanisme berpindahnya massa uap air karena adanya perbedaan tekanan. Uap air akan mengalir dari tempat bertekanan lebih tinggi ke tempat yang bertekanan lebih rendah. Difusi adalah mekanisme berpindahnya massa uap air yang disebabkan adanya perbedaan konsentrasi uap air. Uap air akan mengalir dari tempat dengan konsentrasi uap lebih tinggi ke tempat dengan konsentrasi uap lebih rendah.

Kondensor pasif adalah suatu volume yang dapat ditambahkan pada alat destilasi air energi surya. Sebagai contoh kondensator dapat berbentuk kotak dengan perbandingan volume tertentu terhadap volume bak destilator. Tujuan penambahan kondensor pasif pada alat destilator diharapkan meningkatkan efisiensi alat destilasi air energi surya karena: (1) dapat mengaktifkan proses pengembunan (temperaturnya dapat diupayakan rendah), (2) dapat

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

meningkatkan kapasitas pengembunan dikarenakan pengembunan terjadi di kaca dan di kondensor pasif, (3) dapat mempercepat proses penguapan karena sejumlah massa uap air berpindah dari destilator ke kondensor pasif yang menyebabkan massa uap air di destilator berkurang sehingga proses penguapan terjadi lebih cepat, (4) adanya kondensor energi panas dalam uap air dapat digunakan untuk penguapan air pada tingkat berikutnya atau disimpan dalam penyimpan panas untuk proses destilasi air pada malam hari.



Gambar 3 Mekanisme perpindahan massa uap air pada alat destilasi air tenaga surya menggunakan energy recovery dengan metode bak dua tingkat

2.2 Persamaan yang Digunakan

Menurut Arismunandar (1995) efisiensi alat destilasi energi surya didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah energi yang digunakan dalam proses penguapan air dengan jumlah radiasi surya yang datang selama waktu tertentu:

$$\eta = \frac{m_g \cdot h_{fg}}{A_c \int_0^t G \cdot dt} \quad (1)$$

dengan :

A_c : luas alat destilasi (m^2),

dt : lama waktu pemanasan (detik),

G : energi surya yang datang (W/m^2),

h_{fg} : panas laten air ($J/(kg)$, dan

m_{uap} : massa uap air (kg).

Massa uap air (mg) dapat diperkirakan dengan persamaan matematis berikut (Arismunandar, 1995):

$$m_g \cdot h_{fg} = q_{uap} = 16,27 \cdot 10^{-3} \cdot q_{kon} \cdot \left(\frac{P_w - P_c}{T_w - T_c} \right) \quad (2)$$

$$q_{kon} = 8,84 \cdot 10^{-4} \left[T_w - T_c + \frac{P_w - P_c}{268,9 \cdot 10^3 - P_w} T_w \right]^{1/3} \cdot (T_w - T_c) \quad (3)$$

dengan :

q_{uap} : bagian energi matahari yang digunakan untuk proses penguapan (W/m^2),

q_{konv} : bagian energi matahari yang hilang karena konveksi (W/m^2),

P_w : tekanan parsial uap air pada temperatur air (N/m^2),

P_c : tekanan parsial uap air pada temperatur kaca penutup (N/m^2),

T_w : temperatur air ($^{\circ}C$), dan

T_C : temperatur kaca penutup ($^{\circ}\text{C}$)

Dari penelitian tentang mekanisme *purging* yang pernah dilakukan dapat disimpulkan bahwa besar perpindahan massa uap air dari destilator ke kondensor pasif dengan mekanisme *purging* sebanding dengan perbandingan antara volume kondensor pasif dengan jumlah volume kondensor pasif dan destilator (Fath, 1993):

$$\frac{m_{purging}}{m_{penguapan}} = \frac{volume_{kondensor}}{volume_{kondensor} + volume_{destilator}} \quad (4)$$

2.3 Penelitian yang Pernah Dilakukan

Penelitian secara eksperimental destilasi air energi surya menggunakan energi recovery dapat meningkatkan efisiensi sebesar 94% jika dibandingkan destilasi air energi surya konvensional. Efisiensi yang dicapai sebesar 67% dengan hasil air destilasi sebanyak $4,86 \text{ l/m}^2 \cdot \text{hari}$ (Kalbasi, 2010). Analisis teoritis alat destilasi air energi surya menggunakan energi recovery tiga tingkat dengan metode difusi yang dihubungkan dengan pipa panas (heat pipe) memperkirakan hasil air destilasi sebanyak $21,8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari}$ dengan asumsi energi surya sebesar $22,4 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{hari}$ (Tanaka, 2004). Studi parametrik pada destilasi air energi surya vertikal jenis difusi dengan variasi tingkat difusi memperkirakan dapat menghasilkan air destilasi antara 18 sampai $21,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari}$ hasil air destilasi secara eksperimental sangat bergantung pada kualitas pembuatan alat. Pembuatan yang kurang baik dapat menyebabkan

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

kerugian panas dan menurunkan produksi air destilasi sampai 50% dari perkiraan secara teoritis (Tanaka, 2005). Analisis transien berdasarkan kesetimbangan energi tiap komponen pada destilasi air energi surya menggunakan energi recovery metode bak satu tingkat memperkirakan dapat menghasilkan air destilasi sebanyak $10,7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari}$ (Hassan, 1995). Destilasi air energi surya menggunakan energi recovery dua tingkat metode bak air menghasilkan efisiensi 62% lebih tinggi jika dibandingkan destilasi air energi surya konvensional. Tingkat pertama memberikan kontribusi sebesar 22% sementara tingkat kedua 18% pada total air destilasi yang dihasilkan (Madhlopa, Johnstone, 2009). Penelitian secara teoritis dan eksperimental menggunakan kondensor pasif di bagian belakang menghasilkan kenaikan efisiensi sebesar 50% (Fath, 1993).

Penelitian destilasi air energi surya dengan kondensor pasif menghasilkan efisiensi yang berbeda pada posisi kondensor yang berbeda. Posisi kondensor di bagian atas alat destilasi menghasilkan efisiensi 15,1% sementara pada posisi di bawah dihasilkan efisiensi 30,54%. (Ahmed, 2012). Penelitian destilasi energi surya dengan posisi kondensor dibagian bawah destilator dan posisi destilator miring menghasilkan kenaikan efisiensi yang cukup baik sehingga dapat menghasilkan air destilasi sebanyak $5,1 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{hari)}$. Posisi alat destilasi yang miring menyebabkan terjadinya sirkulasi alami udara yang mendorong uap air ke kondensor dibagian bawah. Pada alat destilasi dengan posisi miring berpindahannya uap air disebabkan oleh beda tekanan destilator dengan kondensor dan sirkulasi alami (Fath, 2004).

Penelitian secara teoritis dan eksperimental menggunakan kondensor pasif di bagian belakang menghasilkan kenaikan efisiensi sebesar 48% sampai 70% jika kondensor mengalami pendinginan (El-Bahi, 1999). Penelitian eksperimental pada destilasi air energi surya vertikal di Aljasair menghasilkan air destilasi sebanyak 0,275 sampai 1,31 l/m².hari dengan radiasi surya bervariasi antara 8,42 sampai 14,71 MJ/hari. Efisiensi yang dihasilkan bervariasi antara 7,85 sampai 21,19% (Boukar, 2005).

Penelitian pada sebuah alat destilasi air energi surya vertikal jenis tak langsung di Aljasair dapat menghasilkan air destilasi antara 0,863 sampai 1,323 l/m². hari dan efisiensi antara 47,69% sampai 57,85% dengan energi surya antara 19,15 sampai 26,08 MJ/m². hari (Boukar, 2006). Penambahan kondensor pasif tanpa energi recovery dapat meningkatkan efisiensi dari 70% (tanpa kondensor pasif) menjadi 75% (dengan kondensor pasif). Kemiringan kaca yang digunakan 4 derajat dan hasil air destilasi sebesar 7 l/m².hari (El-Bahi, 1999). Penelitian secara eksperimental alat destilasi air energi surya vertikal tanpa energi recovery di Aljasair menghasilkan air destilasi sebanyak 0,5 sampai 2,3 kg/m².hari (Boukar, 2004).

BAB III

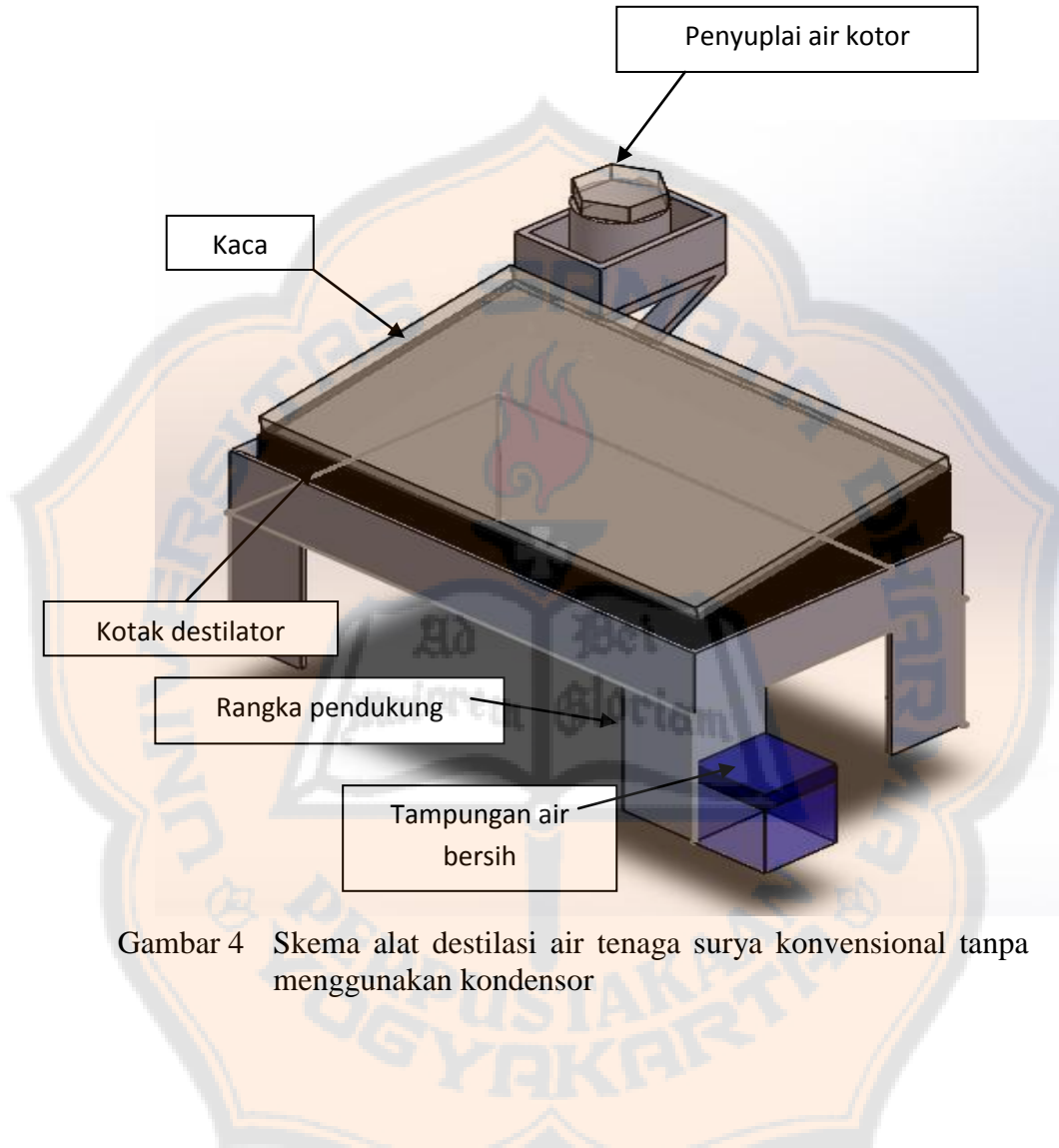
METODE PENELITIAN

3.1 Skema Alat Penelitian

Alat destilasi air tenaga surya yang dibuat berjumlah 2 (dua) alat, seperti pada gambar 4 dan gambar 5. Terdapat bagian-bagian penting pada alat destilasi yaitu bak destilator, bak variasi dua tingkat, kondensor, dan indikator ketinggian air. Bak destilator pada alat destilasi konvensional dan alat destilasi menggunakan kondensor pasif sama, terbuat dari bahan logam seng dengan ketebalan 0,03 cm, dan panjang(P) = 71,5 cm, lebar (L) = 120 cm, tinggi (T) = 9,5 cm. Ukuran bak variasi dua tingkat terbuat dari aluminium dengan tebal 0,03 cm, 120x30x8 (P x L x T)cm. Sedangkan kondensor dibuat dari kayu dengan ketebalan 1,2 cm, 30 x 120 x 86 (P x L x T)cm. Untuk pengaturan jumlah ketinggian air di dalam bak destilator digunakan tempat air minum ayam, dikarenakan tempat minum ayam dapat konstan untuk mempertahankan ketinggian air didalam bak dengan laju aliran air yang rendah.

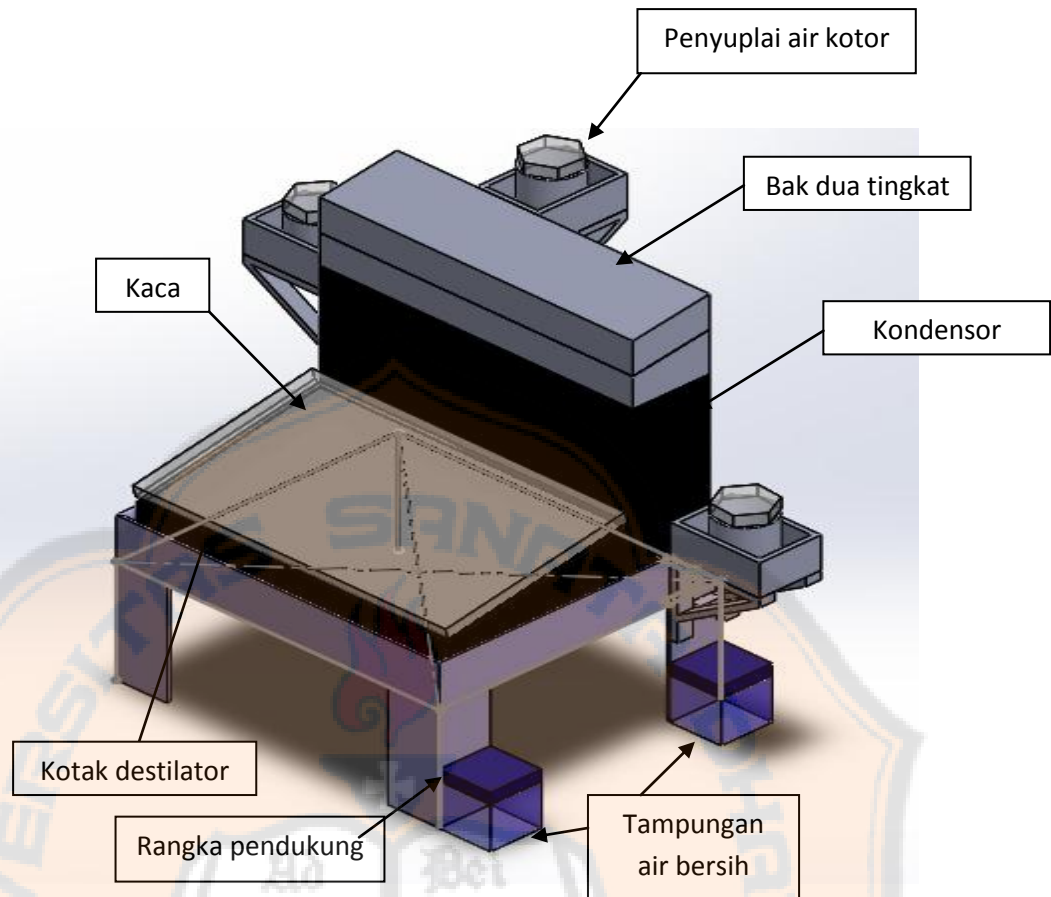
PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

1. Alat destilasi air tenaga surya konvensional tanpa menggunakan kondensor.



Gambar 4 Skema alat destilasi air tenaga surya konvensional tanpa menggunakan kondensor

2. Alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan metode bak air dua tingkat.



Gambar 5 Skema alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan metode bak air dua tingkat.

3.2 Alat yang Mendukung Dalam Pengambilan Data

1. Piranometer

Piranometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari, alat tersebut digunakan untuk mengkalibrasikan dengan solar meter agar dapat memberikan hasil data energi surya yang datang sama dengan hasil data energi surya yang datang pada alat *piranometer*.

2. Dallas Semiconductor Temperature Sensors (TDS)

Dallas Semiconductor Temperature Sensors (TDS) digunakan untuk mengukur temperatur alat destilasi.

3. Sensor Capacitive

Sensor Capacitive alat yang digunakan untuk mengukur hasil ketinggian air dalam penampung air yang sudah didestilasi.

4. Solarmeter

Solarmeter digunakan untuk mengukur intensitas energi matahari yang datang.

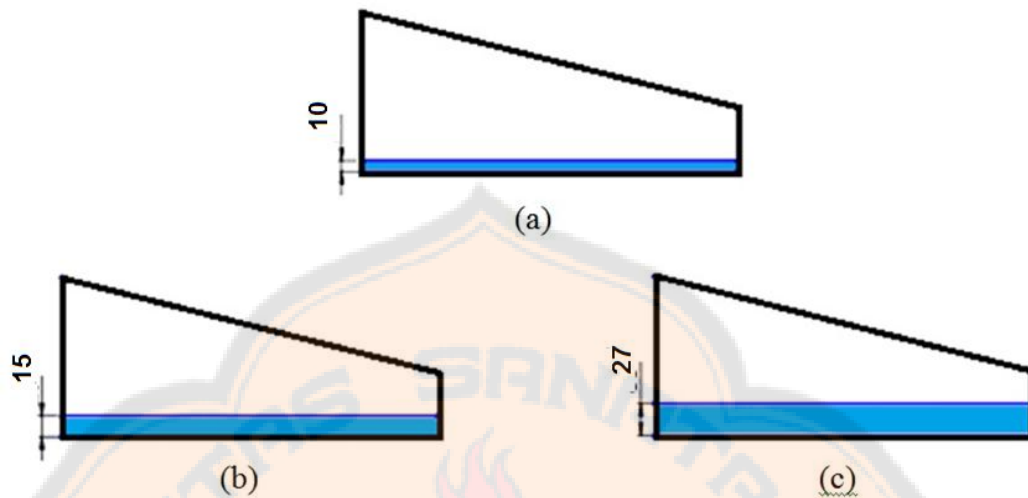
5. Microcontroller Arduino-1.5.2

Microcontroller Arduino merupakan aplikasi software yang digunakan untuk pembacaan hasil dalam pengambilan data alat destilasi energi surya.

Untuk foto-foto alat pendukung penelitian dapat dilihat pada lampiran gambar.

3.3 Parameter yang Divariasikan

1. Alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan ketinggian 10 mm (Gambar 6a)
2. Alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan ketinggian 15 mm (Gambar 6b)
3. Alat destilasi air tenaga surya menggunakan *energy recovery* dengan ketinggian 27 mm (Gambar 6c)



Gambar 6 Ketinggian air di dalam bak destilasi yang divariasikan

3.4 Variabel yang Diukur

Terdapat beberapa jenis variabel yang akan diukur diantaranya sebagaiberikut :

1. Temperatur air (T_W)
2. Temperatur air pendingin (T_S)
3. Temperatur kaca penutup (T_C)
4. Temperatur udara sekitar (T_A)
5. Kelembaban udara sekitar (RH_A)
6. Jumlah massa air destilasi yang dihasilkan (m_D)
7. Energi surya yang datang (G)
8. Lama waktu pencatatan data (t)

Untuk pengukuran temperatur digunakan sensor temperatur DS18B20, untuk pengukuran kelembaban digunakan sensor kelembaban DHT22 dan untuk pengukuran intensitas energi surya yang datang digunakan

photovoltaic yang dikalibrasi dengan *pyranometer*. Untuk pengukuran air bersih yang dihasilkan digunakan *E-tape level*. Selain sensor-sensor tersebut, untuk mengambil data diperlukan juga beberapa peralatan penunjang dalam pengambilan data yakni *WSN, Xbee* dan *Stalker*. *WSN* berfungsi untuk memonitor pengambilan data, *Xbee* untuk mentransfer data dari *Stalker* ke *WSN*. *Stalker* berfungsi untuk mengatur pengambilan data dan menyimpan data untuk keperluan analisis. Sensor dan peralatan penunjang merupakan komponen penting dalam penelitian ini. Kegiatan penelitian dimulai dengan survey dan pembelian bahan untuk pembuatan alat destilasi. Konfigurasi alat destilasi yang diteliti berjumlah 3 (tiga) konfigurasi seperti pada Gambar 5, 6 dan 7. Setelah pembuatan alat perlu dilakukan uji coba. Tujuan uji coba adalah untuk mengevaluasi apakah alat destilasi yang dibuat dapat bekerja dengan baik atau tidak. Jika dari uji coba diperoleh data yang menyatakan alat destilasi dapat bekerja dengan baik maka langkah selanjutnya adalah pengambilan data tetapi jika tidak maka dilakukan perbaikan dan uji coba kembali.

3.5 Langkah Penelitian

Secara rinci prosedur penelitian alat destilasi air energi surya ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan alat destilasi air tenaga surya
2. Mengawali penelitian dengan mempersiapkan alat-alat destilasi air energi surya Gambar 4 dan 5

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

3. Kedua konfigurasi alat tersebut dipanasi dengan energi surya secara bersamaan
4. Melakukan pengambilan data selama kurang lebih 8 jam mulai dari pukul 08.00 WIB selama 4 hari untuk setiap variasi konfigurasi alat dan variasi ketinggian air dalam bak destilator
5. Selama sistem melakukan perekaman data dengan *microcontroller*, dilakukan *monitoring* secara berkala. Apabila terjadi kendala pada sensor di dalam pencatatan data (kendala teknis), segera dilakukan perbaikan
6. Data yang tercatat adalah temperatur kaca penutup (T_C), temperatur dalam kotak kondensor (T_{COND}), temperatur air dalam kotak destilator (T_W), ketinggian air hasil destilasi dari kotak destilator pada alat destilasi konvensional (Lev1), ketinggian air hasil destilasi dari kotak destilator pada alat destilasi konvensional dengan kondensor (Lev2), ketinggian air hasil destilasi dari kotak kondensor (Lev3), dan energi surya yang datang (G).
7. Sebelum melanjutkan pengambilan data pada variasi berikutnya, kondisi alat destilasi diperiksa untuk memastikan ketinggian air dalam bak destilator saat awal dan tidak terjadi masalah seperti kebocoran atau alat ukur terlepas.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Berikut ini adalah data keseluruhan hasil penelitian dari tiga variasi, yaitu:

1. Ketinggian air 10 mm di dalam kotak destilator pada alat destilasi berkondensor pasif dengan bak dua tingkat dibandingkan dengan alat destilasi konvensional di uji pada hari pertama
2. Ketinggian air 15 mm di dalam kotak destilator pada alat destilasi berkondensor pasif dengan bak dua tingkat dibandingkan dengan alat destilasi konvensional di uji pada hari kedua
3. Ketinggian air 27 mm di dalam kotak destilator pada alat destilasi berkondensor pasif dengan bak dua tingkat dibandingkan dengan alat destilasi konvensional di uji pada hari ketiga

Secara lengkap data dari tiga variasi tersebut dapat dilihat secara berurutan pada tabel dengan keterangan sebagai berikut :

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 1 Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi berkondensor pasif dengan ketinggian air 10 mm pada bak destilasi hari pertama

13 Agustus 2014 destilasi berkondensor, ketinggian 10 mm												
Jam ke-	T _C (°C)	T _w (°C)	G (W/m ²)	P _C (Pa)	P _w (Pa)	h _{fg} (kJ/kg)	q _{konv} (kW/m ²)	q _{uap} (kW/m ²)	m _g (kg/jam.m ²)	m _d total (kg)	η teoritis (%)	η aktual total (%)
1	49,7	38,5	377,1	12029,7	6776,1	2410,3	0,03	0,20	0,29	0,00	60,63	0,00
2	59,9	48,7	586,9	19745,5	11464,3	2385,8	0,03	0,33	0,50	0,02	65,80	2,84
3	54,2	50,7	478,6	15026,6	12663,4	2381,1	0,01	0,06	0,10	0,08	15,42	12,26
4	59,5	61,4	683,8	19414,6	21208,9	2355,3	0,00	0,04	0,06	0,46	7,16	50,91
5	59,8	68,1	653,1	19676,3	28639,8	2339,2	0,02	0,36	0,55	0,16	63,48	18,47
6	63,8	73,2	672,0	23644,2	35655,2	2326,8	0,02	0,52	0,80	0,24	90,17	27,17
7	60,9	69,6	513,6	20682,7	30599,6	2335,5	0,02	0,41	0,62	0,29	92,05	42,63
8	55,0	62,3	331,2	15632,9	22111,3	2353,2	0,02	0,24	0,36	0,15	82,86	34,76
			537,05	Hasil Destilasi, Rata Rata Efisiensi dan G						1,40	58,54	24,92

Tabel 2 Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi berkondensor pasif dengan ketinggian air 15 mm pada bak destilasi hari kedua

14 Agustus 2014 destilasi berkondensor, ketinggian 15 mm												
Jam ke-	T _C (°C)	T _w (°C)	G (W/m ²)	P _C (Pa)	P _w (Pa)	h _{fg} (kJ/kg)	q _{konv} (kW/m ²)	q _{uap} (kW/m ²)	m _g (kg/jam.m ²)	m _d total (kg)	η teoritis (%)	η aktual total (%)
1	51,7	35,6	376,5	13259,2	5835,9	2417,0	0,04	0,31	0,46	0,00	96,37	0,00
2	59,5	48,7	565,1	19382,6	11432,3	2385,9	0,03	0,31	0,47	0,01	64,83	1,01
3	58,9	56,0	565,8	18870,8	16405,9	2368,4	0,00	0,06	0,10	0,03	13,38	3,95
4	56,8	58,0	544,3	17027,5	18044,1	2363,6	0,00	0,02	0,03	0,19	4,28	27,10
5	50,7	55,5	378,4	12666,3	16015,9	2369,6	0,01	0,10	0,15	0,16	31,02	33,04
6	52,4	56,0	442,2	13736,5	16390,8	2368,4	0,01	0,07	0,11	0,19	19,32	32,82
7	45,7	51,7	255,0	9803,4	13284,3	2378,7	0,01	0,11	0,17	0,14	50,08	41,72
8	37,4	42,7	76,2	6389,7	8414,6	2400,3	0,01	0,06	0,09	0,03	88,31	29,12
			400,43	Hasil Destilasi, Rata Rata Efisiensi dan G						0,75	38,12	18,06

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 3 Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi berkondensor pasif dengan ketinggian air 27 mm pada bak destilasi hari ketiga

15 Agustus 2014 destilasi berkondensor, ketinggian 27 mm													
Jam ke-	T_C (°C)	T_W (°C)	G (W/m ²)	P_C (Pa)	P_W (Pa)	h_{fg} (kJ/kg)	q_{konv} (kW/m ²)	q_{uap} (kW/m ²)	m_g (kg/jam.m ²)	m_d total (kg)	η teoritis (%)	η aktual total (%)	
1	52,6	30,6	393,7	13925,4	4469,6	2428,8	0,06	0,44	0,65	0,00	129,02	0,00	
2	55,6	41,4	538,5	16084,1	7883,2	2403,3	0,04	0,34	0,51	0,00	73,76	0,02	
3	57,4	49,8	595,0	17564,4	12096,5	2383,2	0,02	0,19	0,29	0,19	37,57	25,03	
4	53,8	52,8	532,7	14709,9	14062,1	2376,0	0,00	0,01	0,02	0,13	2,45	19,38	
5	56,6	56,5	569,7	16914,2	16791,1	2367,2	0,00	0,00	0,00	0,09	0,25	12,66	
6	52,6	56,4	490,7	13872,1	16761,6	2367,3	0,01	0,08	0,12	0,14	19,46	21,92	
7	50,5	55,3	486,9	12545,6	15883,2	2370,0	0,01	0,10	0,15	0,13	24,02	21,12	
8	43,5	51,0	245,6	8803,6	12823,6	2380,4	0,02	0,13	0,20	0,07	63,76	22,68	
			481,59	Hasil Destilasi, Rata Rata Efisiensi dan G							0,77	38,98	15,44

Tabel 4 Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi konvensional hari pertama

13 Agustus 2014 Konvensional													
Jam ke-	T_C (°C)	T_W (°C)	G (W/m ²)	P_C (Pa)	P_W (Pa)	h_{fg} (kJ/kg)	q_{konv} (kW/m ²)	q_{uap} (kW/m ²)	m_g (kg/jam.m ²)	m_d total (kg)	η teoritis (%)	η aktual total (%)	
1	43,0	36,4	377,1	8556,5	6067,9	2415,3	0,01	0,08	0,11	0,00	23,25	0,00	
2	53,3	52,2	586,9	14375,7	13632,9	2377,5	0,00	0,01	0,02	0,00	2,66	0,00	
3	51,8	59,3	478,6	13349,2	19237,9	2360,4	0,02	0,21	0,32	0,16	50,81	25,41	
4	58,2	63,8	683,8	18272,2	23656,4	2349,6	0,01	0,18	0,28	0,05	30,69	5,29	
5	58,6	67,0	653,1	18595,0	27296,9	2341,9	0,02	0,34	0,53	0,20	60,65	22,89	
6	61,6	70,4	672,0	21400,0	31731,4	2333,5	0,02	0,43	0,66	0,27	73,40	29,79	
7	57,7	67,0	513,6	17783,1	27354,8	2341,8	0,02	0,39	0,60	0,35	87,77	51,25	
8	51,4	59,6	331,2	13122,0	19526,5	2359,6	0,02	0,24	0,36	0,30	82,14	68,93	
			537,05	Hasil Destilasi dan Rata Rata Efisiensi							1,33	50,73	23,62

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 5 Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi konvensional hari kedua

14 Agustus 2014 Konvensional														
Jam ke-	T _C (°C)	T _w (°C)	G (W/m ²)	P _C (Pa)	P _w (Pa)	h _{fg} (kJ/kg)	q _{konv} (kW/m ²)	q _{uap} (kW/m ²)	m _g (kg/jam.m ²)	m _g total (kg)	η teoritis (%)	η aktual total (%)		
1	44,4	40,9	376,5	9181,0	7668,0	2404,6	0,01	0,04	0,06	0,00	11,65	0,00		
2	53,2	56,0	565,1	14342,4	16399,3	2368,4	0,00	0,05	0,08	0,03	10,62	4,15		
3	55,9	64,4	565,8	16337,4	24365,3	2348,0	0,02	0,31	0,48	0,17	63,52	22,50		
4	55,9	64,2	544,3	16341,6	24083,8	2348,6	0,02	0,30	0,45	0,20	62,94	28,02		
5	51,0	60,2	378,4	12837,2	20036,1	2358,3	0,02	0,28	0,42	0,23	84,05	46,68		
6	51,2	59,0	442,2	12942,0	18916,5	2361,2	0,02	0,22	0,33	0,13	56,22	21,83		
7	46,7	54,8	255,0	10357,0	15509,6	2371,2	0,02	0,18	0,28	0,25	82,34	74,68		
8	35,2	44,2	76,2	5716,5	9101,7	2396,7	0,02	0,11	0,17	0,22	173,97	225,63		
			400,43	Hasil Destilasi dan Rata Rata Efisiensi						1,24	53,74	29,65		

Tabel 6 Data hasil perhitungan efisiensi aktual dan teoritis destilasi konvensional hari ketiga

15 Agustus 2014 Konvensional														
Jam ke-	T _C (°C)	T _w (°C)	G (W/m ²)	P _C (Pa)	P _w (Pa)	h _{fg} (kJ/kg)	q _{konv} (kW/m ²)	q _{uap} (kW/m ²)	m _g (kg/jam.m ²)	m _g total (kg)	η teoritis (%)	η aktual total (%)		
1	45,1	42,7	393,7	9546,5	8418,3	2400,3	0,00	0,03	0,04	0,00	7,44	0,00		
2	50,6	56,3	538,5	12581,2	16636,9	2367,7	0,01	0,13	0,20	0,00	27,80	0,00		
3	55,0	63,3	595,0	15598,2	23148,9	2350,7	0,02	0,29	0,44	0,09	55,92	11,38		
4	52,8	61,1	532,7	14018,8	20915,9	2356,1	0,02	0,26	0,39	0,42	55,95	59,37		
5	57,1	65,1	569,7	17263,3	25064,7	2346,5	0,02	0,30	0,46	0,21	60,48	27,16		
6	51,9	62,1	490,7	13415,7	21874,3	2353,7	0,03	0,34	0,52	0,27	79,79	41,23		
7	48,3	58,9	486,9	11184,0	18827,6	2361,5	0,03	0,30	0,46	0,21	71,66	33,38		
8	41,1	51,4	245,6	7780,5	13119,6	2379,3	0,02	0,20	0,30	0,33	92,95	103,58		
			481,59	Hasil Destilasi dan Rata Rata Efisiensi						1,53	55,25	30,42		

Dengan T_w adalah temperatur pada air destilasi (°C), T_C adalah temperatur pada kaca penutup (°C), G adalah energi surya yang datang (W/m²), P_w adalah tekanan parsial uap air pada temperatur air (N/m²), P_C adalah tekanan parsial uap air pada temperatur kaca (N/m²), h_{fg} adalah kalor laten air (kJ/kg),

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

m_g adalah massa uap air (kg/jam.m^2), q_{konv} adalah bagian energi matahari yang digunakan untuk konveksi (kW/m^2), q_{uap} adalah bagian energi matahari yang digunakan untuk proses penguapan (kW/m^2) dan m_D adalah jumlah air destilasi yang dihasilkan.

4.2 Pembahasan

Langkah berikutnya setelah pengumpulan data yang dilakukan yaitu mencari persamaan dan menghitung dengan rumus yang sudah ditentukan. Sebagai contoh perhitungan penulis mengambil data yang tercantum pada tabel (1) yang merupakan data dari alat destilasi air menggunakan kondensor pasif dengan ketinggian 10 mm pada bak destilator, diketahui:

$$T_c \text{ pada jam kelima} = 59,81^\circ\text{C} = 332,81^\circ\text{K}$$

$$T_w \text{ pada jam kelima} = 68,06^\circ\text{C} = 341,06^\circ\text{K}$$

$$m_D \text{ alat destilasi jam kelima} = 0,16 \text{ kg}$$

$$h_{fg} \text{ pada jam kelima} = 2339,2 \text{ kJ/kg}$$

$$G \text{ rata-rata jam kelima} = 653,1 \text{ watt/m}^2$$

$$A_c \text{ pada alat destilasi} = 0,8575 \text{ m}^2$$

Bagian energi matahari ke kaca penutup karena konvensi: (pers. 2)

$$\begin{aligned} q_{\text{konv}} &= 8,84 \times 10^{-4} \left[T_w - T_c + \frac{P_w - P_c}{268,9 \times 10^3 - P_w} \times T_w \right]^{1/3} \times (T_w - T_c) \\ &= 8,84 \times 10^{-4} \left[(341,06 - 332,81) + \frac{28639,8 - 19676,3}{268,9 \times 10^3 - 28639,8} \times 341,06 \right]^{1/3} \times \\ &\quad (341,06 - 332,81) \\ &= 0,02011 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

Bagian energi matahari yang digunakan untuk proses penguapan:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{uap}} &= 16,27 \times 10^{-3} \times q_{\text{konv}} \left(\frac{P_w - P_c}{T_w - T_c} \right) \\
 &= 16,27 \times 10^{-3} \times 0,02011 \left(\frac{28639,8 - 19676,3}{341,06 - 332,81} \right) \\
 &= 0,36 \text{ kW/m}^2
 \end{aligned}$$

Massa uap air perjamnya pada proses alat destilasi:

$$\begin{aligned}
 m_g &= \frac{q_{\text{uap}} \times 3600}{h_{fg}} \\
 &= \frac{0,36 \times 3600}{2339,2} \\
 &= 0,55 \text{ kg/jam. m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan efisiensi teoritis dan aktual alat destilasi:

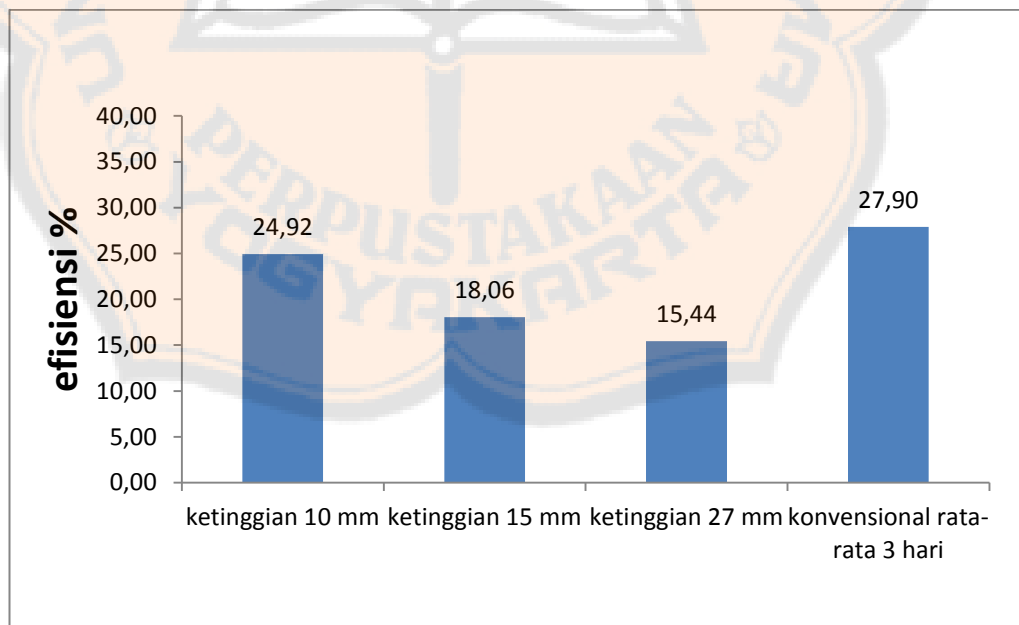
$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Destilasi teoritis}} &= \frac{m_g \cdot h_{fg}}{A_c \int_0^t G \cdot dt} \\
 &= \frac{0,55 \times 2339,2 \times 1000}{0,8575 \times 653,1 \times 3600} \times 100\% \\
 &= 63,48\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Destilasi aktual}} &= \frac{m_D \cdot h_{fg}}{A_c \int_0^t G \cdot dt} \\
 &= \frac{0,16 \times 2339,2 \times 1000}{0,8575 \times 653,1 \times 3600} \times 100\% = 18,47\%
 \end{aligned}$$

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Gambar 7 menunjukkan perbandingan hasil efisiensi aktual per hari yang dihasilkan pada masing-masing variasi alat destilasi menggunakan kondensor pasif dan efisiensi aktual dari alat destilasi konvensional rata-rata 3 hari.

Grafik pada gambar 7 menunjukkan bahwa efisiensi aktual pada alat destilasi menggunakan kondensor pasif dengan variasi ketinggian air 10 mm pada bak destilasi diperoleh efisiensi aktual mencapai 24,92 %. Variasi ketinggian air 15 mm pada bak destilasi diperoleh efisiensi aktual mencapai 18,06 %. Dan variasi ketinggian air 27 mm pada bak destilasi diperoleh efisiensi aktual mencapai 15,44 %. Dari ketiga variasi pada alat destilasi menggunakan kondensor pasif pada grafik hasil efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan hasil rata-rata tiga hari dari hasil efisiensi aktual alat destilasi konvensional yang mencapai 27,90 %.

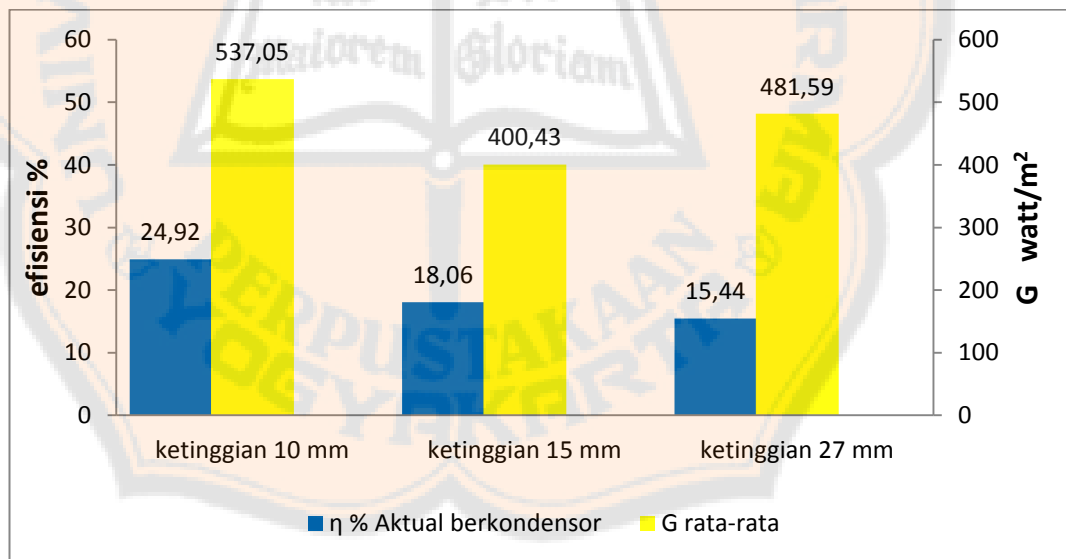


Gambar 7 Grafik perbandingan efisiensi aktual antara alat destilasi berkondensor pasif dengan alat destilasi konvensional.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara efisiensi aktual dan rata-rata energi surya yang datang (G) terhadap alat destilasi berkondensor pasif variabel yang divariasikan.

Grafik pada gambar 8 menunjukkan bahwa hasil efisiensi aktual dari masing-masing variasi alat destilasi menggunakan kondensor pasif rata-rata perharinya, variasi ketinggian air 10 mm pada bak destilasi menunjukkan hasil efisiensi aktual yang tertinggi dari pada variasi ketinggian air 15 mm dan 27 mm pada bak destilasi. Yang menunjukkan hasil efisiensi aktual mencapai 24,92 % dengan rata-rata cahaya matahari yang datang pada hari tersebut sebesar 537,05 watt/m².

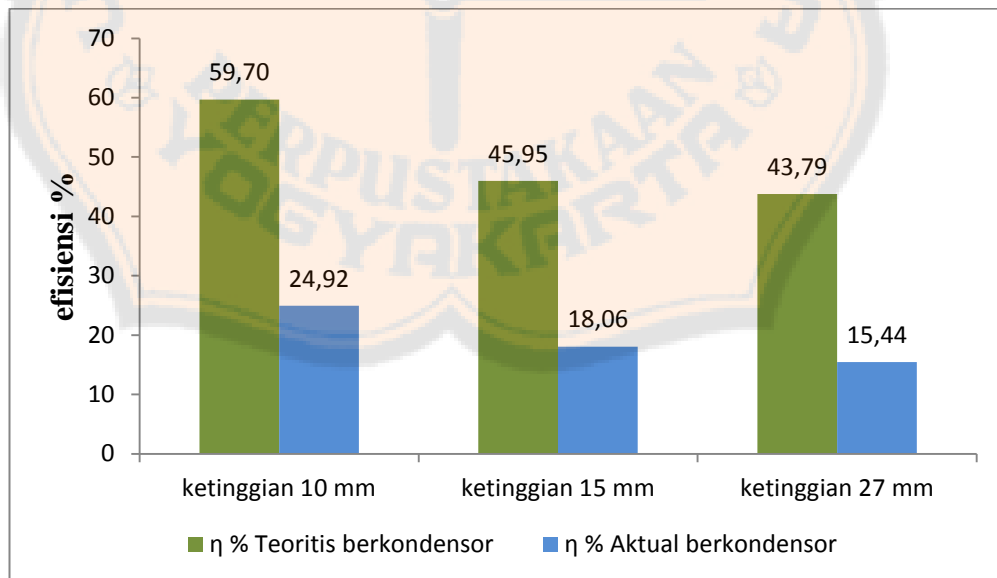


Gambar 8 Grafik hubungan antara efisiensi aktual dan rata-rata energi surya yang datang (G) terhadap alat destilasi berkondensor pasif variabel yang divariasikan.

Gambar 9 menunjukkan antara efisiensi teoritis dan aktual pada alat destilasi berkondensor pasif variabel yang divariasikan.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Grafik pada gambar 9 menunjukkan hasil rata-rata perharinya efisiensi teoritis dan aktual yang di hasilkan pada masing-masing variasi alat destilasi menggunakan kondensor pasif. Variasi ketinggian air 10 mm pada bak destilasi efisiensi teoritis yang dihasilkan mencapai 59,70 % dan efisiensi aktual mencapai 24,92 %. Pada variasi ketinggian air 15 mm pada bak destilasi efisiensi teoritis yang dihasilkan mencapai 45,95 % dan efisiensi aktual mencapai 18,06 %. Dan variasi ketinggian air 27 mm pada bak destilasi efisiensi teoritis yang dihasilkan mencapai 43,79 % dan efisiensi aktual mencapai 15,44 %. Dari hasil keseluruhan efisiensi teoritis dan aktual, efisiensi teoritis dan aktual tertinggi terlihat pada variasi ketinggian 10 mm pada bak destilasi. Perhitungan grafik dibawah dapat dilihat pada Tabel 1, 2, 3.

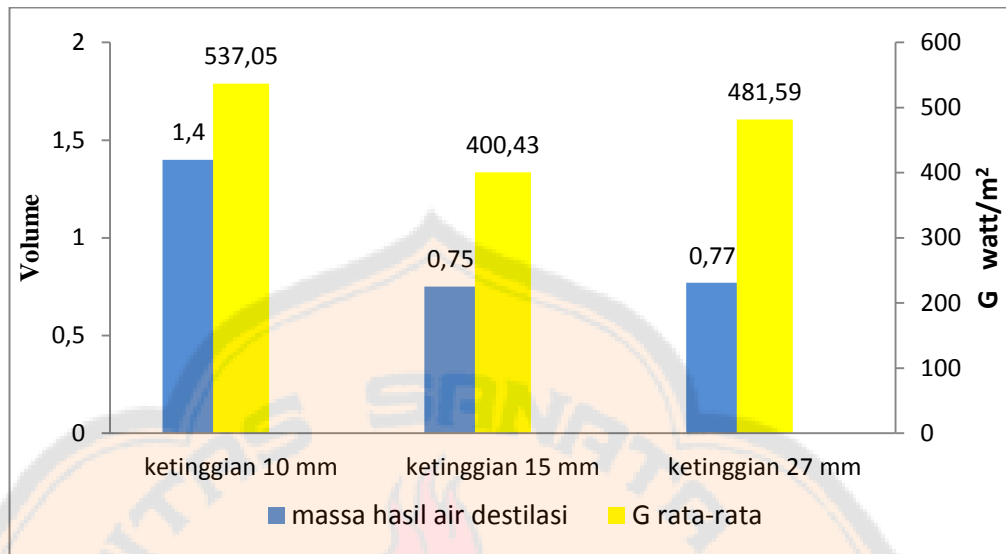


Gambar 9 Grafik perbandingan antara efisiensi teoritis dan aktual pada alat destilasi berkondensor pasif variabel yang divariasikan.

Pada Gambar10 menunjukkan massa hasil air destilasi yang didapat (m_D) dan energi surya yang datang (G) terhadap alat destilasi menggunakan kondensor pasif pada variabel yang divariasikan.

Grafik pada gambar 10 menunjukkan massahasil air destilasi yang diperoleh dari rata-rata perhari pada alat destilasi menggunakan kondensor pasif dengan ketinggian 10 mm menunjukkan hasil air bersih yang lebih banyak dari keseluruhan variasi pada alat destilasi menggunakan kondensor pasif. Hasil air bersih yang diperoleh pada alat destilasi menggunakan kondensor pasif dengan ketinggian 10 mm pada bak destilasi hasil air bersih mencapai 1,4 liter perhari dengan rata-rata cahaya matahari yang datang pada hari tersebut sebesar 537,05 watt/m². Sedangkan pada variasi ketinggian 15 mm pada bak destilasi hasil air bersih mencapai 0,75 liter perhari dengan rata-rata cahaya matahari yang datang pada hari tersebut sebesar 400,43 watt/m². Dan pada variasi ketinggian 27 mm pada bak destilasi hasil air bersih mencapai 0,77 liter perhari dengan rata-rata cahaya matahari yang datang pada hari tersebut sebesar 481,59 watt/m².

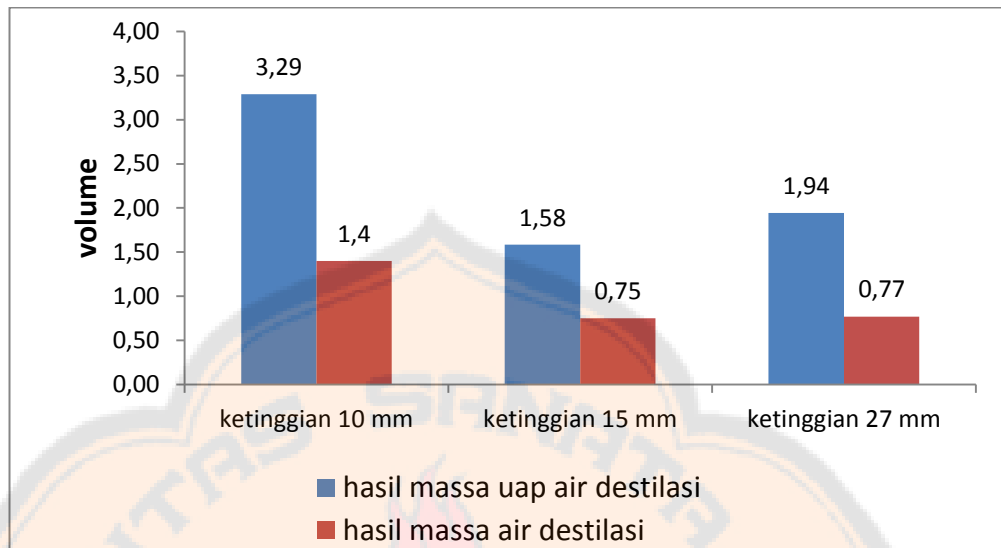
PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI



Gambar 10 Grafik hubungan massa hasil air destilasi yang didapat (m_D) dan energi surya yang datang (G) terhadap alat destilasi menggunakan kondensor pasif pada variabel yang divariasikan.

Pada Gambar 11 menunjukkan hasil massa uap air destilasi pada efisiensi teoritis (m_g) dan aktual (m_D) tiap harinya pada alat destilasi berkondensor dengan variabel yang divariasikan

Grafik pada gambar 11 menunjukkan hasil rata-rata per hari massa uap air destilasi dengan perhitungan efisiensi teoritis (m_g) dan aktual (m_D) yang dihasilkan pada masing-masing variasi alat destilasi menggunakan kondensor pasif. Sedangkan pada variasi ketinggian air 10 mm pada bak destilasi memperoleh (m_g) mencapai 3,29 dan (m_D) yang dihasilkan 1,4. Pada variasi ketinggian air 15 mm pada bak destilasi memperoleh (m_g) mencapai 1,58 dan (m_D) yang dihasilkan 0,75. Pada variasi ketinggian air 27 mm pada bak destilasi memperoleh (m_g) mencapai 1,94 dan (m_D) yang dihasilkan 0,77.



Gambar 11 Grafik perbandingan antara hasil massauap air destilasi pada efisiensi teoritis (m_g) dan aktual (m_D) tiap harinya pada destilasir berkondensor terhadap variabel yang divariasikan

BAB V

PENUTUP

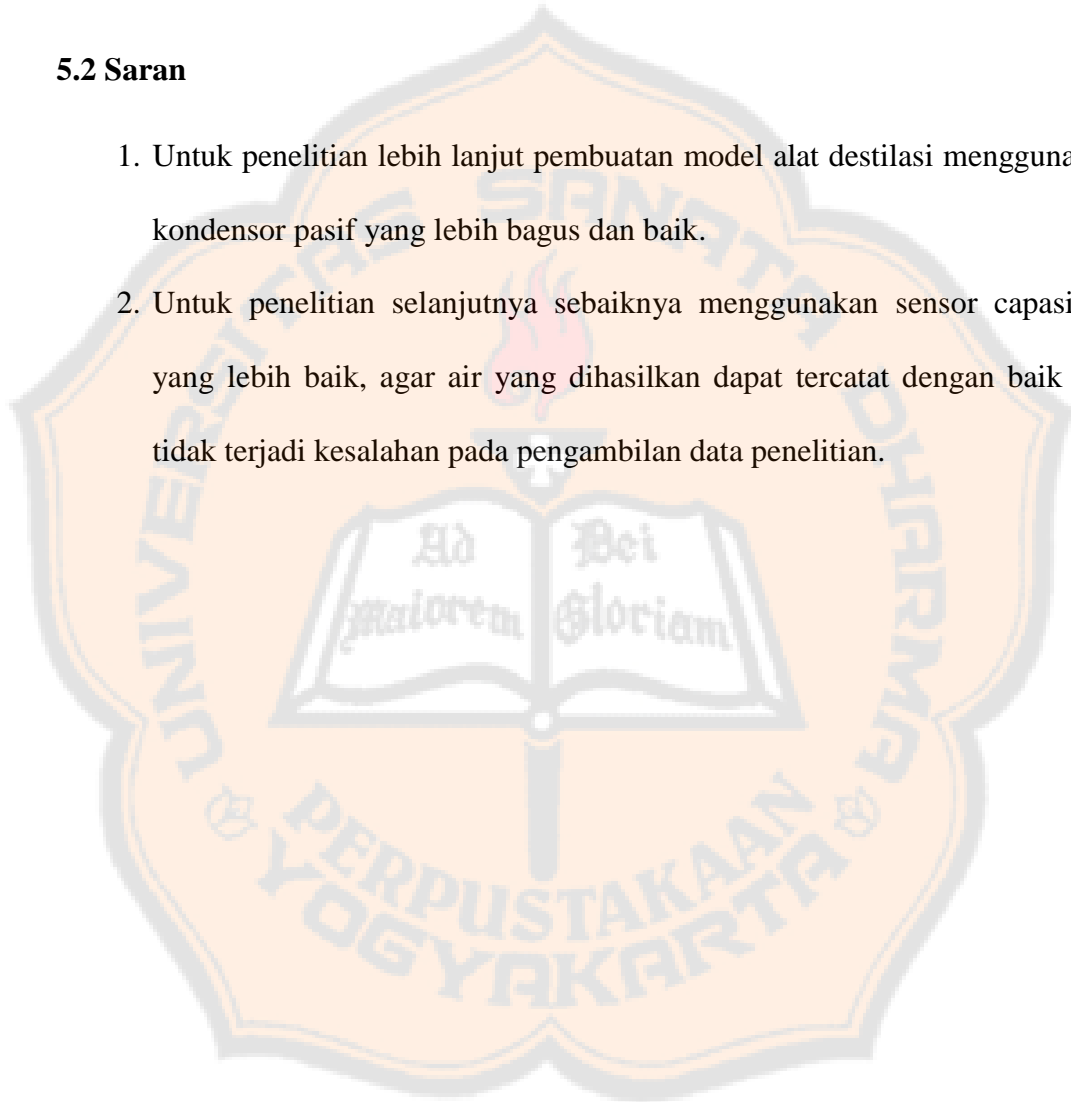
5.1 Kesimpulan

1. Telah berhasil dibuat alat destilasi air energi surya berkondensor pasif dengan *heat recovery* menggunakan bak air dua tingkat.
2. Efisiensi alat destilasi menggunakan kondensor pasif rata-rata per harinya dengan variasi ketinggian air 10 mm pada bak destilator hasil efisiensi aktual mencapai 24,92 % dan dapat menghasilkan air bersih destilasi sebanyak 1,4 liter per hari, dengan G rata-rata per harinya sekitar 537 watt/m². Pada variasi ketinggian air 15 mm pada bak destilator hasil efisiensi aktual mencapai 18,06 % dan dapat menghasilkan air bersih destilasi sebanyak 0,75 liter per hari, dengan G rata-rata per harinya sekitar 400 watt/m². Pada variasi ketinggian air 27 mm pada bak destilator hasil efisiensi aktual mencapai 15,44 % dan dapat menghasilkan air bersih destilasi sebanyak 0,77 liter per hari, dengan G rata-rata per harinya sekitar 481 watt/m². Sedangkan efisiensi aktual yang didapat pada alat destilasi konvensional, dengan rata-rata 3 hari efisiensi aktual mencapai 27,90 % dan dapat menghasilkan air bersih destilasi sebanyak 1,37 liter per hari, dengan G rata-rata per tiga harinya sekitar 473 watt/m². Pada penelitian ini ketinggian air didalam bak destilator sangat berpengaruh terhadap jumlah air yang dihasilkan, pada ketinggian air 10 mm didalam kotak destilator menghasilkan proses penguapan yang lebih cepat dan volume air yang

dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan variasi ketinggian air didalam bak destilator 15 mm dan 27 mm

5.2 Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut pembuatan model alat destilasi menggunakan kondensor pasif yang lebih bagus dan baik.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan sensor capacitive yang lebih baik, agar air yang dihasilkan dapat tercatat dengan baik dan tidak terjadi kesalahan pada pengambilan data penelitian.



DAFTAR PUSTAKA

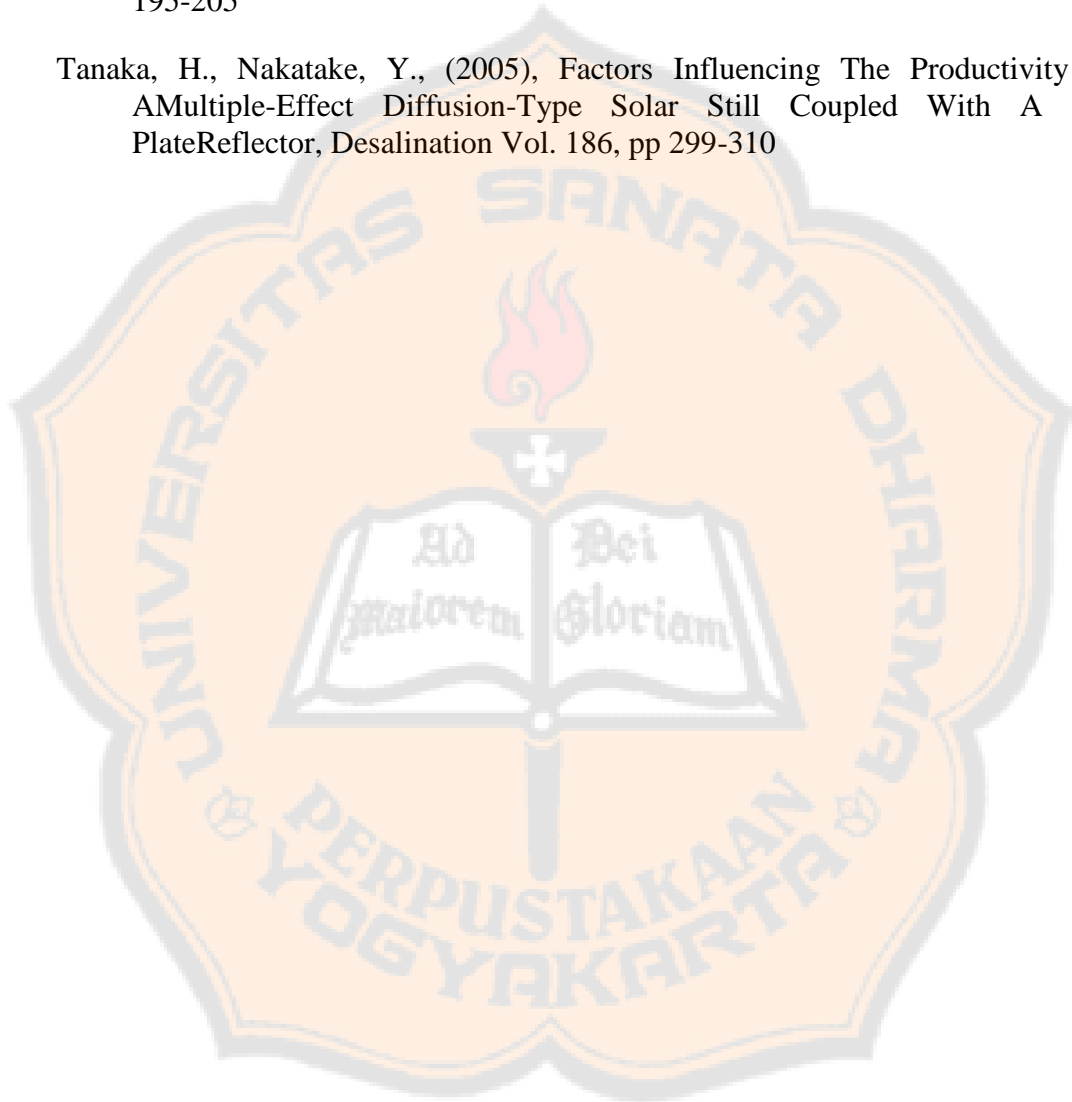
- Ahmed, H.M., (2012), Experimental Investigations of Solar Stills Connected to External Passive Condensers, *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 2, pp 1-11
- Arismunandar, Wiranto, 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Atmojo, Susilo Tri: 2011, Pengertian Destilasi, <http://chemistry35.blogspot.com/2011/08/pengertian-destilasi.html>, diakses tanggal 22 November 2013
- Boukar, M., Harmim, A., (2004), Parametric Study Of A Vertical Solar Still Under Desert Climatic Conditions, *Desalination* Vol. 168, pp 21-28.
- Boukar M., Harmim A., (2005), Performance Evaluation Of A One-Sided Vertical Solar Still Tested In The Desert Of Algeria, *Desalination* Vol. 183, pp 113-126
- Boukar M., Harmim A., (2006), Design Parameters And Preliminary Experimental Investigation Of An Indirect Vertical Solar Still, *Desalination* Vol. 203, pp 444-454
- El-Bahi, A. Inan, D., (1999), A Solar Still With Minimum Inclination, Coupled To An Outside Condenser, *Desalination* Vol. 123, pp 79-83
- Fath, H.E.S.; Samy M. Elsherbiny, S.M., (1993), Effect of adding a passive condenser on solar still performance, *Energy Conversion and Management*, 34,1, pp 63-72
- Fath, H.E.S; Elsherbiny, S.M.; Ghazy, A. (2004), A Naturally Circulated Humidifying/Dehumidifying Solar Still With A Built-In Passive Condenser, *Desalination*, 169, pp 129-149
- Hassan, Fath, E., S., (1995), High Performance Of A Simple Design, Two Effects. *Solar Distillation Unit, Energy Conversion Management*, Vol. 38, 18, pp 1895-1905
- Kalbasi, R., esfahani, M., N., (2010), Multi-Effect Passive Desalination System, An Experimental Approach, *World Applied Sciences Journal*, Vol. 10, 10, pp 1264-1271
- Kunze, H. H., (2001), A New Approach To Solar Desalination For Small- And Medium-Size Use In Remote Areas, *Desalination*, 139, pp 35-41

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Madhlopa, A., Johnstone, C., (2009), Numerical Study Of A Passive Solar Still With Separate Condenser, *Renewable Energy*, Vol. 34, pp 1668-1677

Tanaka, H., Nakatake, Y., (2004), A Vertical Multiple-Effect Diffusion-Type Solar Still Coupled With A Heat-Pipe Solar Collector, *Desalination* Vol. 160, pp 195-205

Tanaka, H., Nakatake, Y., (2005), Factors Influencing The Productivity Of A Multiple-Effect Diffusion-Type Solar Still Coupled With A Flat Plate Reflector, *Desalination* Vol. 186, pp 299-310



LAMPIRAN

Lampiran 1 Foto-foto Alat Penelitian



Gambar L. 1 Alat Destilasi Energi Surya Konvensional



Gambar L. 2 Logger (Biru) dan Stalker (Merah)



Gambar L. 3 Penampung Air Kotor dan Pengatur Ketinggian Air Di dalam Bak Destilator



Gambar L. 4 Dallas Semiconductor Temperature Sensors (TDS)



Gambar L. 5 Alat Destilasi Air Energi Surya Berkondensor Pasif menggunakan bak dua tingkat



Gambar L. 6 Penampung Air Hasil Destilasi