

UJI COBA AWAL *PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR*

PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR INITIAL TRIALS

Ghalya Pikra, Agus Salim, Andri Joko Purwanto, Zaidan Eddy

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI

Komp. LIPI Bandung, Jl Sangkuriang, Gd 20, Lt 2, Bandung,

Jawa Barat 40135, Indonesia

ghalyapikra@yahoo.com; agus.salim35@yahoo.com; ajp_jun@yahoo.com; zaid001@lipi.go.id

Diterima: 28 Oktober 2011; Direvisi: 11 November 2011; Disetujui: 15 November 2011;

Terbit online: 22 Desember 2011.

Abstrak

Makalah ini membahas tentang uji coba awal *parabolic trough solar collector* (PTSC) yang dilakukan di Bandung. Model *parabolic trough solar collector* terdiri dari *concentrator*, *absorber/receiver* dan *tracking system*. *Concentrator* merupakan alat penangkap panas matahari, sedangkan *absorber/receiver* adalah pipa yang berisi fluida yang akan menerima panas dari *concentrator* yang diletakkan pada titik fokusnya, dan *tracking system* adalah sistem kontrol untuk menggerakkan *concentrator* sehingga selalu bergerak menghadap ke arah matahari. Desain *concentrator* dibuat dengan lebar *aperture* 2 m, panjang 6m dan jarak fokus 0,75 m. Desain dilengkapi dengan sistem *tracking* otomatis yang digerakkan menggunakan motor DC 12 V dan 24 Watt dengan kecepatan putar akhir 0,0125 rpm. *Absorber/receiver* didesain dengan jenis *evacuated tube*, dengan pipa dalam yang memiliki diameter 1 inci berbahan AISI304 dan dilapisi oleh *black oxide*, pipa luar adalah kaca *borosilicate* dengan diameter 70 mm dan panjang 1,5 m. Fluida kerja ditampung di dalam *thermal storage* jenis *single tank*, satu fasa dengan volume 37,7 liter. Pengujian model *solar collector* yang dilakukan selama 2 jam 10 menit menghasilkan kalor *output* dan *input* masing-masing sebesar 11,5 kW dan 0,64 kW.

Kata kunci: *solar collector*, *concentrator*, *absorber*, sistem *tracking*.

Abstract

This paper discusses initial trials of parabolic trough solar collector (PTSC) in Bandung. PTSC model consists of concentrator, absorber and tracking system. Concentrator designs are made with 2m aperture width, 6m length and 0.75m focal distance. The design is equipped with an automatic tracking system which is driven using 12V and 24Watt DC motor with 0.0125rpm rotational speed. Absorber/receiver is designed with evacuated tube type, with 1 inch core diameter and tube made of AISI304 and coated with black oxide, the outer tube is borosilicate glass with a 70 mm diameter and 1.5 m length. Working fluid stored in single type of thermal storage tank, a single phase with 37.7 liter volume. PTSC model testing carried out for 2 hours and 10 minutes produces heat output and input of 11.5 kW and 0.64 kW respectively.

Key words: solar collector, concentrator, absorber, tracking system.

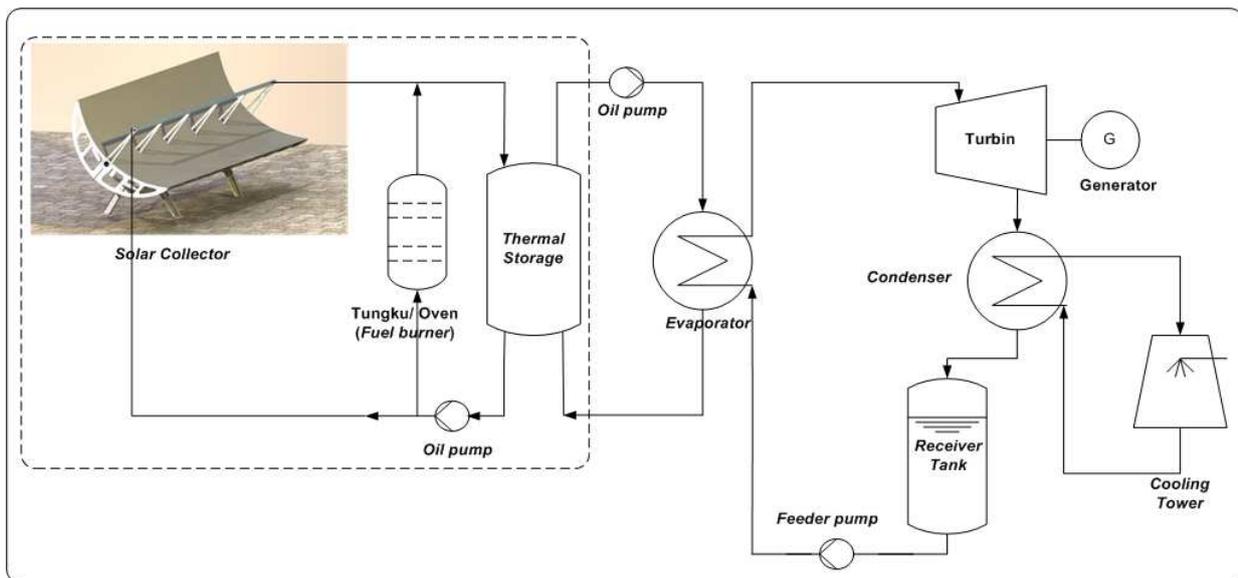
I. PENDAHULUAN

Concentrated Solar Power (CSP) adalah sistem yang memanfaatkan teknologi dengan prinsip mengumpulkan cahaya matahari dalam suatu media yang kemudian dikonversikan menjadi energi panas yang mana dalam proses selanjutnya dapat digunakan dalam suatu sistem yang menghasilkan listrik. Sistem CSP terdiri dari beberapa jenis, diantaranya sistem *parabolic trough*, sistem *solar tower*, sistem *parabolic dish*, dan sistem reflektor Fresnel linear. *Parabolic trough solar collector* merupakan salah satu jenis dari sistem CSP yang banyak dikembangkan di berbagai negara karena hingga saat ini teknologi tersebut dianggap paling matang dan telah terbukti penggunaannya [1][2]. Negara-negara

yang telah mengembangkan sistem CSP adalah Algeria, Mesir, Yunani, India, Italia, Meksiko, Moroko, Spanyol, dan Amerika [3].

LIPI sejak tahun 2010 telah mengembangkan salah satu jenis sistem CSP, yaitu jenis *parabolic trough*. Sistem ini dipilih karena Indonesia merupakan negara yang memiliki kelembaban yang tinggi. Layout sistem pembangkit listrik matahari yang sedang dikembangkan oleh LIPI ditunjukkan pada Gambar 1.

Solar collector didesain dan dibuat dalam bentuk parabola, dan *absorber/receiver* terletak di titik fokus dari parabola [4]. Energi matahari yang dikumpulkan oleh *collector* dipantulkan ke *absorber* yang ditempatkan di sepanjang garis pusat kelengkungan/fokus parabola. Panas yang



Gambar 1. Sistem pembangkit listrik matahari.

diterima oleh *absorber* kemudian digunakan untuk memanaskan fluida kerja (oli) yang mengalir di dalam pipa *absorber*. Fluida kemudian mengalir ke *thermal storage* untuk disimpan dan selanjutnya dialirkan ke evaporator dalam sistem ORC (*Organic Rankine Cycle*). Fluida kerja di dalam evaporator kemudian memanaskan fluida kerja organik (*refrigerant organic*) yang kemudian dialirkan ke turbin untuk menghasilkan uap yang menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik. *Collector* bergerak mengikuti arah matahari yang dikontrol oleh *tracker* yang terpasang pada *solar collector*. *Fuel burner* dibuat sebagai pemanas bantuan apabila panas yang ditangkap oleh *solar concentrator* tidak dapat memenuhi kebutuhan. Sistem ORC turbin digunakan dalam sistem pembangkit listrik *solar collector* karena sistem ini dapat beroperasi pada temperatur rendah [5] [6].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji coba awal dari sistem *parabolic trough solar collector* yang telah dibuat sejak tahun 2010. Pengujian dilakukan hanya pada daerah *solar collector* dan *thermal storage* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 yang ditandai dengan garis putus-putus. Pengujian dilakukan untuk

mengetahui performa dari sistem *solar collector* yang telah dibuat, sehingga hasilnya dapat dievaluasi dan diperbaiki apabila belum menunjukkan nilai optimal.

II. PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR

Parabolic trough solar collector (PTSC) terdiri dari *solar concentrator*, *absorber* dan *tracking system*. Spesifikasi dari sistem PTSC yang telah dibuat ditunjukkan pada Tabel 1.

Indonesia merupakan negara dengan kelembaban yang tinggi, sehingga jarak fokus dibuat dengan jarak yang dekat. Pipa *absorber* dibuat dengan bahan *stainless steel* AISI304 dan dilapisi oleh *black oxide* agar penyerapan panas lebih optimal. Selubung kaca dibuat dengan bahan *borosilicate* karena tahan terhadap panas. *Tracking system* dibuat dengan menggunakan motor DC 12 V dan 24 Watt dengan kecepatan putar akhir 0,0125 rpm. Prototipe sistem yang telah dibuat kemudian dipasang di Komplek Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI Kampus Bandung, Jawa Barat. Prototipe dari PTSC yang telah terpasang dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1.
Data *parabolic trough solar collector*.

Data	Notasi	Nilai
Lebar <i>aperture</i>	L_a	2 m
Panjang talang parabola	P	6 m
Jarak fokus	F	0,75 m
Diameter pipa <i>absorber</i>	D_a	1 inchi
Diameter selubung kaca	D_k	70 mm



Gambar 2. Prototipe *parabolic trough solar collector*.

III. METODA PENGUJIAN *PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR*

Spesifikasi pengujian disusun untuk pengujian *parabolic trough solar collector*. Performa penyerapan energi termal matahari pada spesifikasi pengujian ini diukur dari kemampuan sebuah sistem *solar collector* untuk memanaskan fluida kerja dari temperatur lingkungan ke temperatur tertentu pada interval waktu tertentu. Perangkat pengujian sistem *parabolic trough solar collector* ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik,

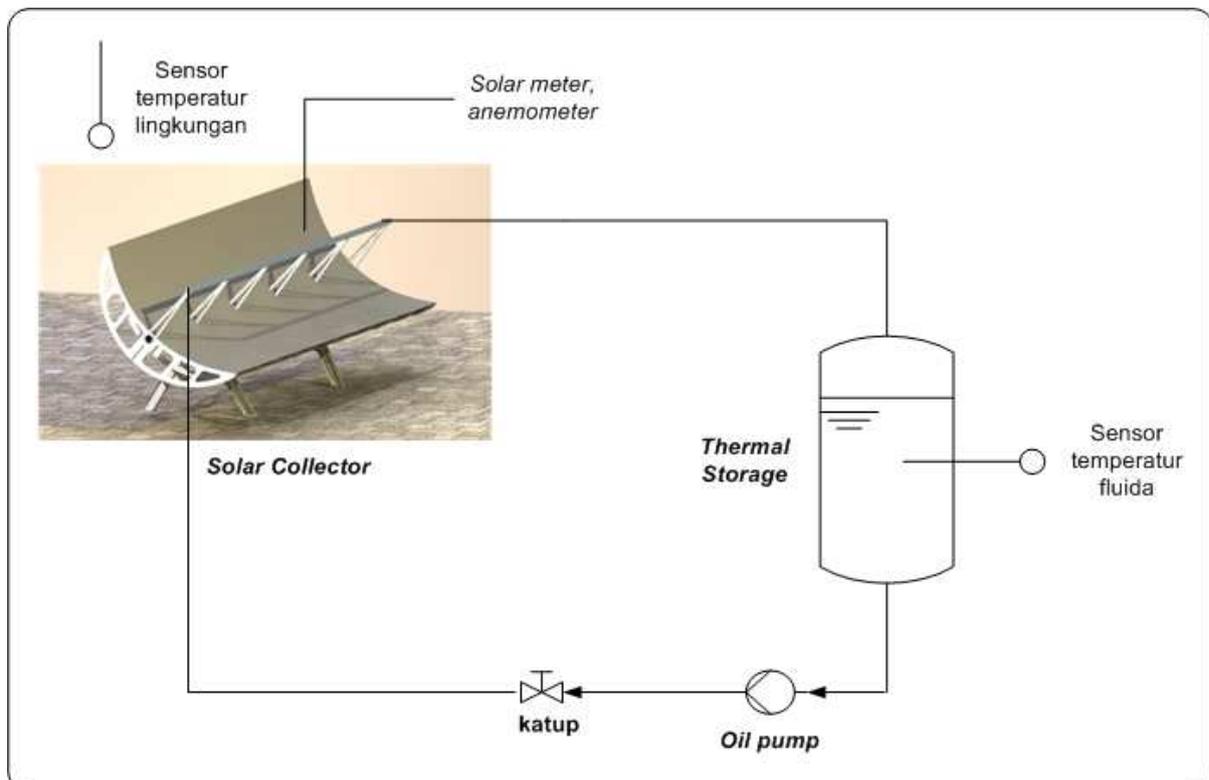
pengujian dilakukan sesuai spesifikasi sebagai berikut.

A. Pemasangan *Solar Collector*

Pemasangan *collector* dilakukan di tempat terbuka sehingga tidak ada bayangan benda sekitar yang menutupi *collector*.

B. Instrumentasi

Instrumentasi yang digunakan dalam pengujian adalah solarmeter, *thermometer*, anemometer, dan *stopwatch*.



Gambar 3. Perangkat pengujian.

C. Standar kondisi pengujian

Nilai intensitas matahari selama pengujian harus lebih besar daripada 700 W/m² [7].

D. Prosedur pengujian

Collector harus diuji pada temperatur operasinya dalam kondisi langit cerah dengan intensitas matahari minimal sesuai dengan yang dipersyaratkan pada standar kondisi pengujian. Selama pengujian berlangsung, dilakukan pengukuran beberapa parameter, diantaranya intensitas matahari, kecepatan angin, temperatur udara sekitar, dan temperatur fluida yang dipanaskan. Flowchart prosedur pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.

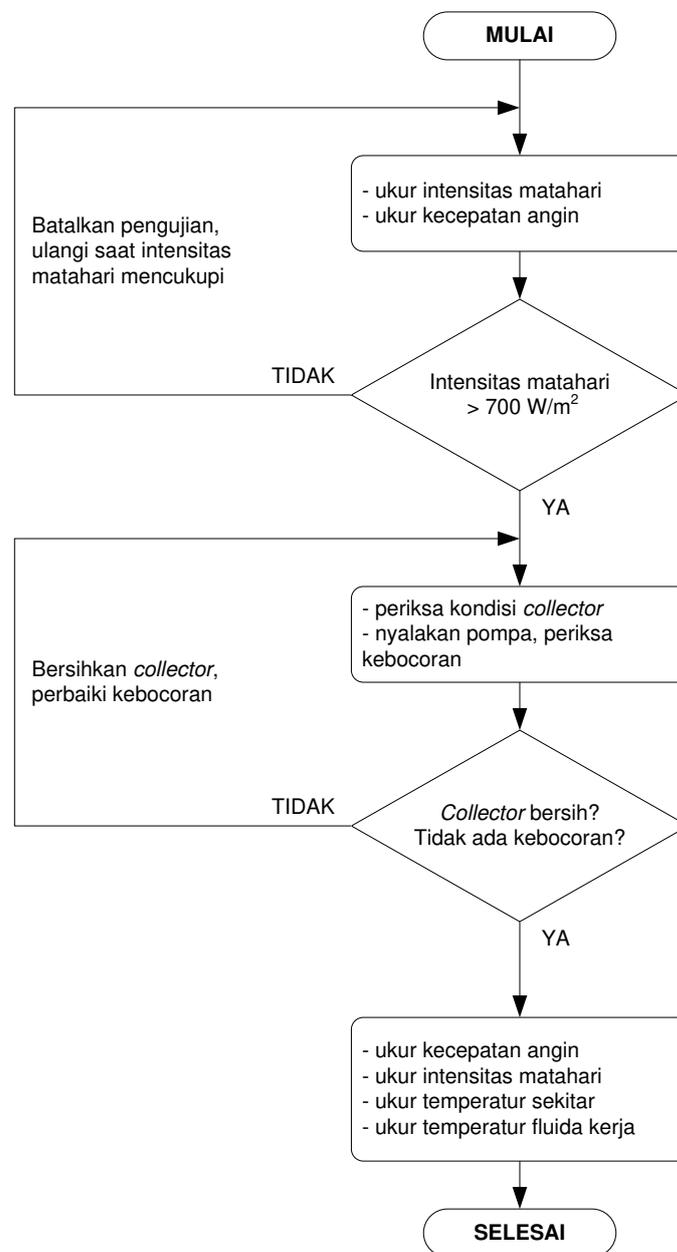
E. Analisis hasil pengujian

Analisis hasil pengujian dilakukan untuk mendapatkan performa dari sistem solar collector. Perhitungan diawali dengan menghitung daya output, kemudian menghitung daya input dan yang terakhir menghitung efisiensi sistem.

Daya output yang dihasilkan dari pengujian dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini [8]:

$$Q_{output} = I \times A \quad Q_{output} = I \times A \quad (1)$$

Dengan Q_{output} adalah daya output (W), I adalah intensitas matahari (W/m²), dan A adalah luas aperture (m²).



Gambar 4. Flowchart prosedur pengujian.

Daya yang dapat ditangkap dari energi matahari pada *solar collector* dihitung dengan persamaan umum berikut [9]:

$$Q_{input} = \frac{\rho_f V_f C_{p_f} \Delta T}{t} Q_{input} = \frac{\rho_f V_f C_{p_f} \Delta T}{t} \quad (2)$$

Dengan Q_{input} adalah panas *input* (W), ρ_f adalah densitas fluida (kg/m^3), V_f adalah volume fluida (m^3), C_{p_f} adalah panas spesifik fluida ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$), ΔT adalah perbedaan temperatur ($^\circ\text{C}$), dan t adalah waktu pengujian (detik).

Efisiensi sistem *solar collector* dihasilkan dari rasio antara panas *input* dan *output*nya seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$\eta = \frac{Q_{input}}{Q_{output}} \quad (3)$$

Dengan η adalah efisiensi, sedangkan Q_{input} dan Q_{output} diperoleh dari persamaan (1) dan (2).

Tabel 2.

Data hasil pengujian *solar collector*.

No	Waktu (menit)	Temperatur Udara ($^\circ\text{C}$)	Kecepatan Udara (m/s)	Intensitas Matahari (W/m^2)	Temperatur Fluida ($^\circ\text{C}$)
1	09:20	27,1	0,00	969	27,2
2	09:25	27,4	1,44	969	34,1
3	09:30	28,3	1,24	956	40,9
4	09:35	26,7	2,74	966	44,9
5	09:40	26,8	2,40	971	51,1
6	09:45	26,1	2,99	983	60,3
7	09:50	26,1	2,97	969	66,4
8	09:55	27,5	1,87	997	74,7
9	10:00	26,1	1,93	1007	80,4
10	10:05	27,4	1,37	1015	85,8
11	10:10	27,8	2,29	1006	90,0
12	10:15	28,0	0,00	1006	94,0
13	10:20	27,7	1,70	1007	97,0
14	10:25	28,7	0,00	975	99,5
15	10:30	28,7	1,89	987	100,6
16	10:35	29,5	0,75	967	103,1
17	10:40	29,5	1,63	951	103,7
18	10:45	29,3	0,53	950	106,1
19	10:50	30,3	0,80	900	106,2
20	10:55	29,5	1,85	935	106,2
21	11:00	30,1	0,53	922	106,3
22	11:05	29,7	0,61	940	105,7
23	11:10	31,2	0,71	931	105,4
24	11:15	32,0	1,08	883	105,0
25	11:20	31,3	3,58	851	104,6
26	11:25	31,1	1,60	888	104,7
27	11:30	30,6	1,83	919	104,7

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

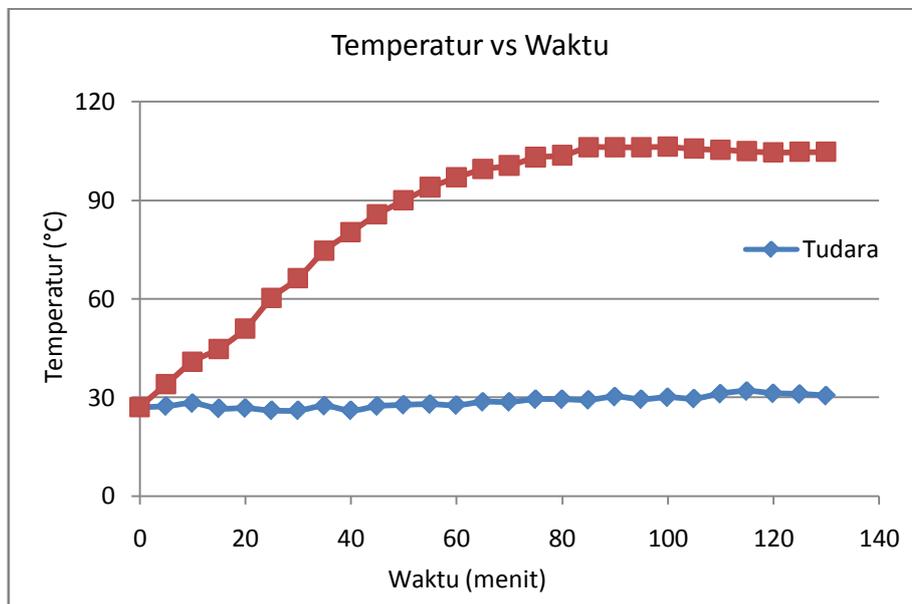
Hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 2 memberikan nilai temperatur udara, kecepatan udara, intensitas matahari dan temperatur fluida. Pengujian *parabolic trough solar collector* menggunakan *palm oil* sebagai fluida kerja yang dilakukan mulai pukul 9:20 WIB sampai dengan pukul 11:30 WIB dengan selang waktu pengambilan adalah 5 menit. Volume fluida adalah 37,7 liter serta luas *aperture* sebesar 12 m^2 .

Data pengujian *solar collector* yang ditunjukkan pada Tabel 2 merupakan data yang diambil di lapangan saat dilakukan pengujian yang berfungsi untuk menentukan nilai efisiensi kerja dari model *solar collector*. Hasil pengukuran/ pengujian pada Tabel 2 ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.

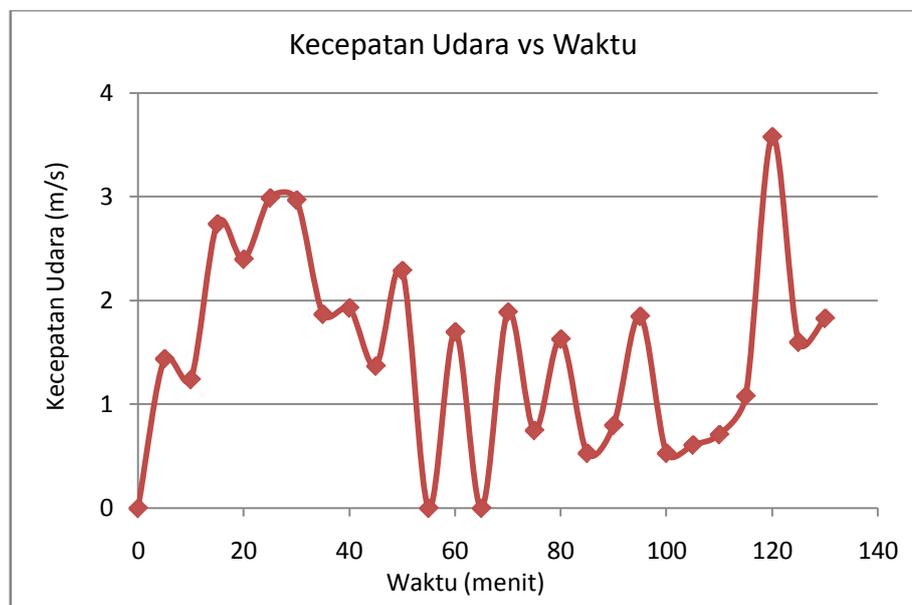
Grafik hubungan temperatur fluida terhadap waktu yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa temperatur meningkat seiring dengan semakin lamanya dilakukan pengujian dan kondisi cuaca yang semakin panas.

Gambar 6 dan Gambar 7 yang menunjukkan grafik kecepatan udara terhadap waktu dan grafik intensitas matahari terhadap waktu berfluktuasi selama dilakukannya pengujian. Hal ini terjadi karena kondisi cuaca yang berubah-ubah serta kecepatan angin yang mempengaruhi terjadinya fluktuasi pada nilai intensitas matahari yang terukur. Intensitas matahari tertinggi yang dapat dicapai adalah 1.015 W/m^2 . Namun semua nilai intensitas matahari terukur memiliki nilai di atas 700 W/m^2 sehingga masih layak untuk dilakukan pengujian.

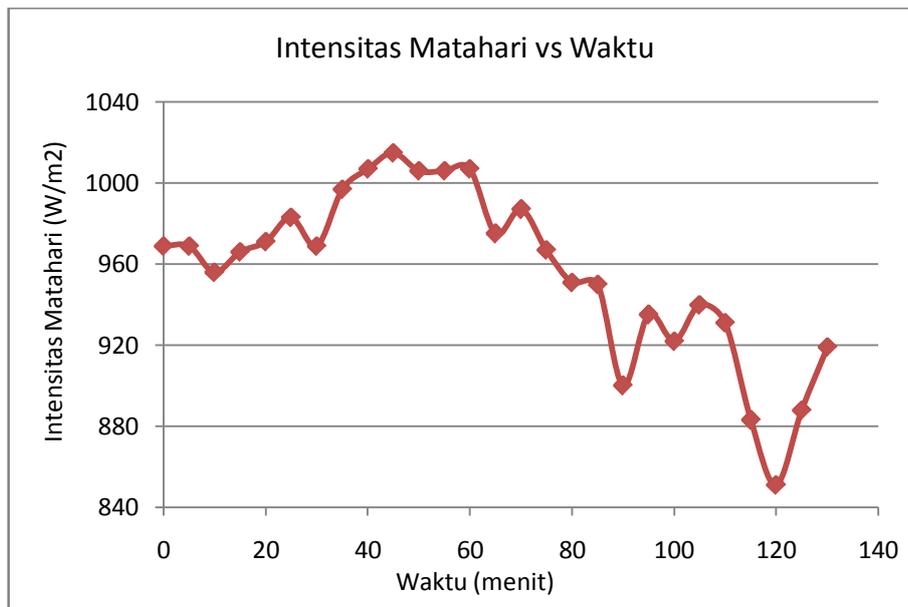
Analisis dari pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan fluida *palm oil* selama 2 jam 10 menit memberikan nilai kalor *output* dan *input* masing-masing 11,5 kW dan 0,64 kW, dan efisiensi kerja sebesar 5,6%. Nilai efisiensi kerja ini belum maksimal karena fluida kerja (*palm oil*) saat pengujian mengandung air sehingga energi pemanasan banyak digunakan untuk penguapan air yang ada di dalam fluida tersebut yang besarnya tidak diukur. Penguapan air yang terjadi membuat kehilangan energi yang besar sehingga menyebabkan rendahnya efisiensi kerja. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian kembali dengan terlebih dahulu memanaskan fluida kerja di dalam *thermal storage* sebelum disirkulasikan hingga kandungan airnya hilang.



Gambar 5. Grafik temperatur terhadap waktu.



Gambar 6. Grafik kecepatan udara terhadap waktu.



Gambar 7. Grafik intensitas matahari terhadap waktu.

V. KESIMPULAN

Pengujian yang dilakukan selama 2 jam 10 menit pada pukul 9:20 sampai dengan pukul 11:30 dengan interval waktu 5 menit menghasilkan kalor *output* dan *input* sebesar 11,5 kW dan 0,64 kW serta efisiensi 5,6%.

Pengujian perlu dilakukan kembali untuk memperbaiki performa dengan cara menghilangkan kandungan air yang terdapat di dalam fluida kerja (*palm oil*) sehingga nilai efisiensi kerja lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah memfasilitasi penelitian ini dengan sumber dana DIPA tahun 2011, dan kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Aringhoff, G. Brakmann, M. Geyer, S. Teske, *Concentrated Solar Thermal Power-Now*. Greenpeace: ESTIA-IEA SolarPACES, 2005.
- [2] K.S. Reddy, G.V. Satyanarayana, "Numerical Study Of Porous Finned Receiver for Solar Parabolic Trough Concentrator," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, Volume 2, Nomor 2, pp. 172-184, 2008.
- [3] P.F. Ruiz, *European Research on Concentrated Solar Thermal Energy*. Luxemburg: European Communities, 2004.
- [4] J.A. Duffie, W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3rd ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [5] S. Quoilin, *Experimental Study and Modeling of a Low Temperature Rankine Cycle for Small Scale Cogeneration*. Belgia: Thesis Electro-Mechanical Engineer, University of Liege, Faculty of Applied Sciences, Aerospace and Mechanical Engineering Department Thermodynamics Laboratory, 2007.
- [6] S. Quoilin, V. Lemort, "Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle Systems," in *Proceeding of 5th European Conference Economic and Management of Energy in Industry*, Belgia, Portugal, 2009.
- [7] European Committee for Standardization, "Thermal Solar Systems and Components - Solar Collector - Part 2: Test Methods," British Standard, London, UK, BS EN 12975-2:2006, 2006.
- [8] M. Qu, D.H. Archer, S.V. Masson, "A Linear Parabolic Trough Solar Collector Performance Model," in *Proceeding of ICEBO - International Conference for Enhanced Building Operations: Renewable Energy Resources and A Greener Future*, Volume VIII-3, Nomor 3, 2006.
- [9] F.P. Incropera, D.P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6th ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [10] H.M. Steinhagen, *Solar Thermal Power Plants – On The Way to Commercial Market Introduction*. Almeria/Spain: Institute for

- Technical Thermodynamics, German Aerospace Centre (DLR), Stuttgart – Cologne, 2008.
- [11] N. Castaneda, J. Vazquez, M. Domingo, A. Fernandez, J. Leon, *Sener Parabolic Trough Collector Design and Testing*. France: SolarPACES, 2006.
- [12] P. Cameron, G. Crompton, *Solar Power Plant Pre-Feasibility Study*. Brisbane, Australia: Actew AGL and ACT Government, 2008.