

PENGARUH VARIASI KECEPATAN FLUIDA KERJA TERHADAP EFISIENSI PANAS KOLEKTOR JENIS PALUNG PARABOLA

EFFECT OF FLOW RATE WORKING FLUID VARIATION TO THERMAL EFFICIENCY IN SOLAR COLLECTOR - PARABOLIC TROUGH TYPE

Bambang Septiawan¹ M Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si² Tri Ayodha Ajiwiguna, ST., M.Eng³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹benk.septiawan@gmail.com ²mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id ³triayodha@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Parabolic trough concentrator (PTC) merupakan salah satu aplikasi panel surya. PTC dapat memantulkan cahaya matahari ke satu titik fokus. Sistem pada PTC dapat menghasilkan efisiensi yang besar pada skala kecil maupun skala besar. Model PTC terdiri dari pemantul berbahan plat stainless steel, pipa penerima yang berbahan stainless steel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan aliran fluida kerja yang mengalir serta warna pipa penerima terhadap efisiensi panas. Desain kolektor panas dibuat dengan lebar 0,9 m, panjang 1,83 m, sudut rim 90° dengan jarak fokus 0,225 m dan dilengkapi sistem pelacakan. Pengujian dilakukan menggunakan bahan pipa penerima dengan tingkat emisivitas 0,54 dan 0,80 serta kecepatan aliran fluida divariasikan dari 1 liter/menit sampai dengan 3 liter/menit. Hasil yang diperoleh selama 2 jam 50 menit dari pengujian pada bahan pipa dengan emisivitas 0,80 dan kecepatan aliran fluida 3 liter/menit menghasilkan nilai efisiensi panas 62%. Dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa perbedaan temperatur input dan output fluida pada pipa penerima, nilai emisivitas bahan pipa dan kecepatan aliran fluida dapat mempengaruhi efisiensi PTC.

Kata Kunci : *Parabolic trough concentrator, variasi kecepatan aliran fluida, efisiensi panas.*

ABSTRACT

Parabolic trough concentrator (PTC) is one of the solar panel applications. PTC can reflect sunlight to a focal point. Systems on PTC can produce great efficiency either on small and large scale. Model PTC consists of a reflector which is made from stainless steel plate, pipe receiver is made from stainless steel. The purpose of this study is analyzing the effect of working fluid flow rate variations and colors of the receiver to thermal efficiency of the collector. Design thermal collectors made with a width of 0.9 m, length 1.83 m, angle of 90° rim with focal distance of 0.225 m and is equipped tracking system. The test using the receiver pipe material with emissivity of 0.54 and 0.80 and the fluid flow rate varied from 1 liter/min to 3 liters/min. The results obtained during 2 hours and 50 minutes of testing on the pipe material emissivity of 0.80 and a flow rate of 3 liters/min produces efficiency thermal 62%. From all the test showed that the difference of temperature input and output on the receiver pipe, pipe material emissivity and the flow rate of fluid can affect the thermal efficiency of PTC.

Keyword : *Parabolic trough concentrator, flow rate variation, thermal efficiency.*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi dapat dibagi menjadi dua yaitu energi yang dapat diperbaharui dan tidak dapat diperbaharui. Energi fosil adalah salah satu contoh energi yang tidak dapat diperbaharui dan menjadi energi yang paling banyak digunakan sampai saat ini. Eksploitasi terhadap energi fosil akibat kebutuhan energi yang meningkat, membuat cadangan energi fosil semakin menipis sehingga perlu dikembangkan energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang gencar dikembangkan adalah energi matahari. Energi matahari merupakan energi yang tersedia di alam dalam jumlah yang sangat berlimpah.

Kolektor panas matahari adalah alat yang dapat mengumpulkan radiasi panas matahari dan mendistribusikan energi tersebut sesuai dengan kebutuhan [1]. Terdapat empat jenis kolektor panas matahari yaitu, kolektor panas matahari plat datar, tabung hampa, parabola, dan prisma [1]. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dengan konsentrasi rasio 10-15 dapat menghasilkan temperatur kerja 60-70°C [2]. Semakin besar konsentrasi rasio dari sebuah kolektor panas menunjukkan semakin baik temperatur kerja yang dihasilkan. Oleh karena itu kolektor panas jenis palung parabola cocok digunakan untuk pemanasan skala kecil karena pembuatan yang tidak terlalu rumit. Pada tugas akhir ini jenis kolektor yang akan digunakan adalah kolektor panas matahari jenis palung parabola.

Sistem kerja kolektor panas matahari jenis palung parabola adalah mengumpulkan cahaya matahari dan dipantulkan ke titik fokus parabola. Pada sepanjang titik fokus parabola kolektor panas diletakkan *receiver* berupa pipa penerima yang dialiri oleh fluida kerja [1][2]. Pada sistem kerja kolektor panas matahari digunakan

sistem pelacakan *single-axis tracking* yaitu satu arah pelacakan untuk pergerakan matahari dari arah timur ke barat [3]. Sistem pelacakan ini menggunakan penggerak motor DC [3].

Pada penelitian ini, hal yang akan dianalisis yaitu pengaruh kecepatan aliran fluida dan tingkat emisivitas bahan pipa penerima terhadap daya serap kalor pada fluida yang mengalir di dalam pipa penerima. Selanjutnya nilai kalor yang diterima akan diolah menjadi nilai efisiensi panas dari kolektor. Daya performansi efisiensi sistem kolektor panas palung parabola dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan sistem yang lebih baik dan efisien di masa mendatang sehingga energi alternatif yang bersumber dari panas radiasi matahari ini lebih banyak dimanfaatkan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui kalor yang diserap dengan variasi kecepatan fluida kerja.
2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan fluida terhadap efisiensi panas pada kolektor panas matahari jenis palung parabola.
3. Mengetahui kalor yang diserap dengan variasi warna pipa penerima.
4. Mengetahui pengaruh variasi warna pipa penerima terhadap efisiensi panas pada kolektor panas matahari jenis palung parabola.

1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dihadapi pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana analisis kalor yang diserap dengan variasi kecepatan fluida?
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan fluida kerja terhadap efisiensi panas pada kolektor panas matahari jenis palung parabola?
3. Bagaimana analisis kalor yang diserap dengan variasi warna pipa penerima?
4. Bagaimana pengaruh variasi warna pipa penerima terhadap efisiensi panas pada kolektor panas matahari jenis palung parabola?

1.4 Metode Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Aliran fluida yang mengalir di dalam kolektor panas dianggap satu arah dan memenuhi seluruh permukaan kolektor.
2. Tangki penyimpanan akhir hanya sebagai media penyimpanan fluida air.
3. Katup pengatur debit fluida air yang masuk pada pipa penerima dilakukan dengan cara manual.
4. Efisiensi daya pemakaian kebutuhan listrik penunjang alat tidak termasuk dalam efisiensi yang dihitung dalam penelitian ini.
5. Volume fluida air pada tangki penyimpanan yaitu 134,3 liter.

2 LANDASAN TEORI

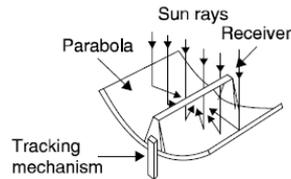
2.1 Kolektor Panas Matahari

Kolektor panas adalah suatu alat dalam sistem pemanfaatan energi panas matahari yang mempunyai fungsi untuk mengumpulkan dan menyerap radiasi dari matahari, mengubahnya menjadi energi panas, dan memindahkan energi panas yang telah diserap ke fluida kerja (udara, air, atau minyak) yang mengalir dalam pipa penerima pada kolektor panas [1].

Terdapat dua macam tipe kolektor panas yaitu *non-concentrating* atau stasioner, dan *concentrating*. Jenis kolektor *non-concentrating* mempunyai bidang penangkap dan penyerap dengan luasan yang sama. Untuk jenis kolektor *concentrating*, permukaan pada bagian penangkap radiasi cahaya matahari berbentuk cekung dan memantulkannya ke bagian permukaan penerima yang lebih kecil [1]. Kolektor panas matahari dapat dibuat dengan berbagai bentuk, ukuran dan bahan material yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pada aplikasinya sesuai dengan tipe yang diinginkan.

2.2 Kolektor Panas Matahari Jenis Palung Parabola

Kolektor panas matahari jenis palung parabola bekerja dengan cara mengumpulkan radiasi sinar matahari yang datang dan memantulkannya ke sepanjang titik fokus parabola [1]. Komponen penting dari palung parabola adalah pemantul dan pipa penerima. Pipa penerima yang dialiri fluida kerja ditempatkan di sepanjang fokus kolektor panas dengan tinggi fokus sesuai jarak yang telah dihitung menggunakan sudut rim kolektor panas [1][2]. Sistem kerja palung parabola ditunjukkan oleh **Error! Reference source not found.**



Gambar 2.1 Parabolic Through

Dengan adanya mekanisme pelacakan, proses pemanasan yang terjadi antara pipa penerima dan fluida kerja air yang mengalir di sepanjang pipa penerima mencapai suhu 100 °C. Semakin besar konsentrasi rasio dari kolektor panas, semakin besar juga temperatur kerja yang dapat dihasilkan sehingga kolektor panas banyak dimanfaatkan untuk *steam generation* pada pembangkit listrik ataupun pada industri [1].

2.3 Korelasi Variansi Kecepatan dan Luas Penampang terhadap Laju Aliran Massa

Kecepatan didefinisikan sebagai jarak perwaktu. Sedangkan laju aliran massa didefinisikan sebagai massa yang mengalir melalui suatu penampang persatuan waktu [4]. Korelasi dari variasi kecepatan akan merubah nilai untuk laju aliran massa sehingga tingkat efisiensi dari masing-masing variasi kecepatan akan berbeda. Persamaan kecepatan dan laju aliran massa ditunjukkan oleh persamaan (2.1) [4] dan persamaan (2.2) [5].

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.1)$$

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \quad (2.2)$$

Keterangan :

Q = Debit (m³/s)

V = Kecepatan fluida (m/s)

A = Luas penampang saluran (m²)

\dot{m} = Laju aliran massa fluida kerja penerima (kg/s)

ρ = Kerapatan massa (kg/m³)

2.4 Efisiensi Panas

Efisiensi panas merupakan perbandingan besar energi matahari yang dapat ditangkap seluruhnya oleh sistem kolektor panas yang meliputi pemantulan oleh plat pengumpul cahaya matahari dan penyerapan panas oleh pipa penerima. Persamaan untuk efisiensi panas adalah persamaan (2.3).

$$\eta_{panas} = \frac{Q_{serap}}{Q_{terima}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

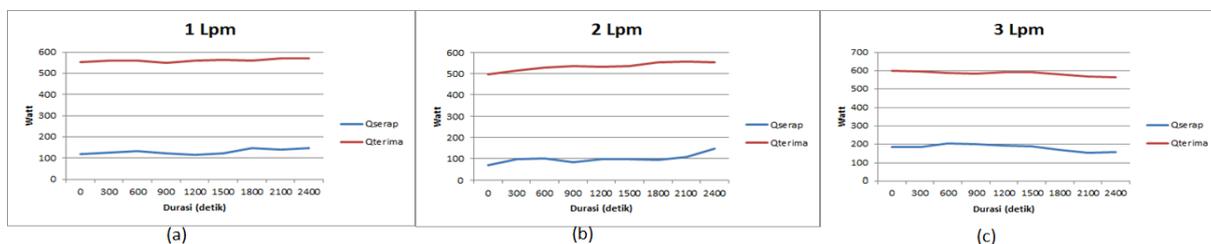
Q_{terima} = Energi yang diterima kolektor panas (J)

Q_{serap} = Energi yang diserap pipa penerima (J)

3 PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Pengujian Variansi Kecepatan Fluida

Pengujian variasi kecepatan fluida dilakukan dengan tujuan untuk melihat pengaruh variasi kecepatan fluida pada pipa penerima terhadap nilai efisiensi yang dapat dihasilkan. Pada pengujian ini diperlukan *flowmeter* yang berguna untuk melihat kecepatan aliran fluida yang masuk ke sistem kolektor panas. Kecepatan aliran fluida diatur dengan membuka dan menutup katup air yang diletakkan sebelum *flowmeter*. Dua buah sensor temperatur DS18B20 diletakkan di dalam pipa, sebelum aliran fluida masuk ke pipa penerima dan aliran fluida yang keluar dari pipa penerima. Sedangkan satu buah sensor temperatur diletakkan di luar pada sisi kolektor panas untuk mengetahui temperatur lingkungan. Alat ukur luxmeter digital digunakan dalam pengambilan data intensitas matahari yang terukur pada saat pengujian.



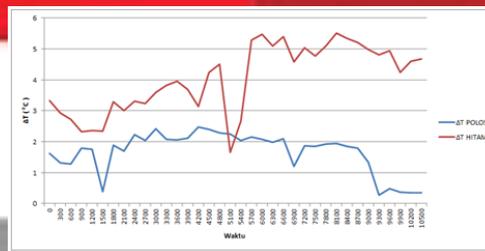
Gambar 3.1 (a) Grafik Perbandingan Q_{serap} terhadap Q_{terima} pada 1 Lpm (b) 2 Lpm (c) 3Lpm

Gambar 3.1 merupakan pengujian kolektor panas dengan memberikan kecepatan fluida sebesar 1 liter/menit dan dapat dilihat bahwa nilai Q_{serap} yang dihasilkan berada dikisaran nilai 100 W dengan nilai maksimumnya sebesar 145,8 W. Pada Gambar 3.1 kecepatan fluida yang diberikan sebesar 2 liter/menit menghasilkan nilai Q_{serap} maksimum sebesar 145,9 W. Pada Gambar 3.1 menunjukkan nilai Q_{serap} maksimum yang dihasilkan sebesar 203,6 W dengan kecepatan fluida yang diberikan sebesar 3 liter/menit.

Dari data grafik diatas dapat dilihat bahwa Q_{serap} untuk kecepatan fluida 3 liter/menit menghasilkan nilai yang tinggi dibandingkan dengan nilai Q_{serap} untuk kecepatan fluida yang lain. Hal ini dikarenakan nilai Q_{terima} untuk masing-masing kecepatan fluida berbeda tergantung intensitas yang diterima kolektor panas. Semakin tinggi intensitas ditunjukkan oleh grafik Q_{terima} yang mengalami kenaikan, maka semakin besar nilai Q_{serap} yang dihasilkan. Kenaikan intensitas matahari menyebabkan kenaikan ΔT pada fluida.

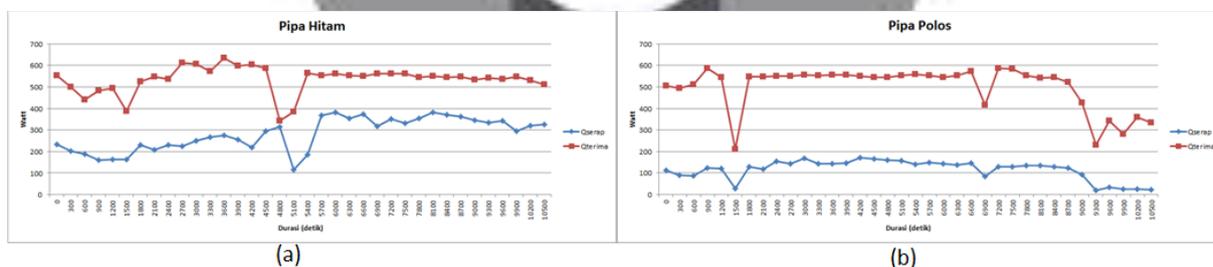
3.2 Perbandingan Warna Pipa Penerima Terhadap Efisiensi

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis dampak perubahan warna pada pipa penerima terhadap efisiensi yang dihasilkan. Kondisi pengujian yang dilakukan yaitu dengan merubah warna dari pipa penerima menjadi warna hitam dengan asumsi pada bahwa nilai perubahan temperatur awal dan akhir dari fluida kerja yang dihasilkan pada pipa penerima berwarna hitam akan lebih tinggi dibandingkan dengan pipa penerima berwarna polos. Pengujian dan pengambilan data yang dilakukan pada pipa penerima yang berwarna hitam sama seperti dengan pipa penerima yang berwarna polos. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Grafik Suhu Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa nilai ΔT fluida air untuk pipa penerima yang berwarna hitam lebih besar mendekati 2,5 kali dari pada pipa yang berwarna polos. Hal ini disebabkan karena pemanasan pada pipa penerima yang berwarna hitam lebih tinggi. Benda yang berwarna hitam lebih cepat menyerap panas yang dipancarkan oleh matahari. Hasil ini sesuai dengan asumsi bahwa warna pipa mempengaruhi perubahan temperatur pada fluida yang ditunjukkan oleh hasil yang berbanding lurus dengan nilai Q_{serap} . Data temperatur dan intensitas matahari yang diperoleh saat pengujian dilakukan kemudian diolah untuk mendapatkan nilai Q_{serap} dan nilai Q_{terima} .



Gambar 3.3 (a) Grafik Perbandingan Q_{serap} terhadap Q_{terima} pada Pipa Hitam (b) Pipa Polos

Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa grafik Q_{terima} nilainya fluktuatif, hal ini dikarenakan nilai Q_{terima} yang diterima oleh kolektor dipengaruhi oleh intensitas matahari yang diterima juga mengalami nilai yang fluktuatif. Untuk nilai Q_{serap} berbanding lurus dengan kenaikan ΔT pada fluida dan grafik untuk pipa berwarna hitam lebih tinggi dibanding grafik untuk pipa polos yaitu dengan nilai maksimum 382,9 W. Nilai Q_{serap} dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti laju aliran massa dan ΔT pada fluida. Semakin besar ΔT yang dihasilkan maka semakin besar juga nilai dari Q_{serap} . Oleh karena itu pada pengujian ini dipilih kecepatan fluida 1 liter/menit yang memiliki ΔT yang besar. Selanjutnya nilai Q_{serap} akan mempengaruhi efisiensi panas yang diterima. Efisiensi panas diperoleh dengan membandingkan nilai Q_{serap} dan Q_{terima} . Total efisiensi panas untuk masing-masing variasi pada pipa ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perbandingan Efisiensi Pada Variasi Warna Pipa

Variasi Pipa	ΔT (°C)	Emisivitas	Q_{serap} (J)	Q_{terima} (J)	Efisiensi(η) (%)
Polos	1,666148	0,54	1251560,065	5389100,871	23,22391
Hitam	4,030574	0,8	3027645,263	5776465,587	52,41346

Analisis akhir untuk pengujian ini adalah analisis efisiensi panas yang dapat dihasilkan dari kolektor panas untuk masing-masing kondisi pengujian. Berdasarkan Tabel 3.1, bahwa total Q_{serap} pada pipa polos yang dihasilkan selama durasi pengujian 2 jam 55 menit yaitu 1,2 MJ dan total Q_{terima} yaitu sebesar 5,3 MJ sehingga menghasilkan nilai efisiensi panas sebesar 22%. Sedangkan total Q_{serap} untuk pipa berwarna sebesar 3 MJ dan total Q_{terima} yaitu sebesar 5,7 MJ sehingga menghasilkan nilai efisiensi panas sebesar 52%. Dari hasil di atas diketahui bahwa kenaikan nilai efisiensi untuk pipa berwarna menjadi 2,5 kali lebih besar. Seperti pada Tabel 3.1 bahwa nilai emisivitas tiap bahan pada pipa penerima dengan warna yang berbeda dapat berpengaruh banyak. Selain itu ada beberapa faktor yang mempengaruhi data selama pengujian, antara lain seperti angin di sekitar kolektor panas dan kondisi cuaca selama pengujian berlangsung. Selanjutnya rangkuman hasil data selama pengujian menggunakan 2 jenis variasi yaitu variasi warna pipa dan variasi kecepatan fluida ditunjukkan oleh Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Perbandingan Variasi Kecepatan Terhadap Efisiensi

Variasi Warna	V m/s	ΔT °C	Debit lpm	Q_{serap} J	Q_{terima} J	Efisiensi(η) %
Polos	0,032909	1,996395	1	352546,5	1513507	23,293
	0,065818	0,715111	2	268906,6	1442676	18,639
	0,098726	0,821694	3	490391,1	1578737	31,062
Black	0,032909	3,141139	1	2358539	6092205	38,71404
	0,065818	1,824963	2	3299371	7021269	46,99109
	0,098726	1,609639	3	4563078	7279326	62,68544

Selain nilai efisiensi panas dipengaruhi oleh beberapa faktor yang telah disebutkan diatas, nilai ini dipengaruhi oleh $Q_{heatloss}$ yang diperoleh dari hasil pengurangan antara Q_{terima} dan Q_{serap} . Karena Q_{terima} tidak sepenuhnya diterima oleh kolektor, sebagian diserap oleh fluida kerja di dalam pipa penerima dan sebagian lagi hilang akibat pemantulan yang tidak sempurna dari pemantul ke pipa penerima, panas yang hilang akibat angin, serta radiasi dari bahan pipa penerima dan bahan pemantul yang digunakan.

4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kecepatan fluida kerja mempengaruhi nilai efisiensi panas namun berbanding terbalik dengan selisih temperatur masuk dan keluar. Dalam penelitian yang dilakukan, kecepatan fluida kerja yang optimal untuk mendapatkan nilai efisiensi panas yang besar yaitu 3 liter/menit.
2. Pengujian pada kecepatan 1 liter/menit mempunyai nilai Q_{serap} lebih tinggi dari pada pipa yang berwarna polos sehingga menghasilkan nilai efisiensi panas yang tinggi juga.
3. Emisivitas bahan pipa penerima mempengaruhi nilai efisiensi panas serta Q_{serap} dengan nilai emisivitas 0,80 menghasilkan 38% untuk 1 liter/menit, 46% untuk 2 liter/menit, dan 62,6% untuk 3 liter/menit.
4. Efisiensi panas rata-rata terbesar selama penelitian ini sekitar 62,6% dengan kecepatan fluida 3 liter/menit pada pipa yang berwarna hitam dengan nilai emisivitas bahan 0,8 selama durasi pengujian 2400 detik dengan rata-rata intensitas matahari 328 W/m².
5. Nilai Q_{serap} pada pipa yang berwarna hitam yang dihasilkan yaitu 4,5 MJ dengan kecepatan fluida 3 liter/menit.
6. Temperatur fluida mencapai rata-rata 50°C selama pengujian 2 jam 45 menit dengan intensitas matahari rata-rata mencapai 346 W/m².

4.2 Saran

Beberapa saran untuk memajukan nilai penelitian ilmiah ini:

1. Untuk mendapatkan hasil efisiensi, dan selisih temperatur input output yang lebih optimal diperlukan absorber jenis *evacuated tube*, karena dapat mengurangi *heatloss* akibat konveksi ke udara dengan cepat serta
2. Diperlukan bahan pemantul cahaya yang lebih baik seperti *flexibel mirror* agar cahaya yang dipantulkan tidak banyak diserap oleh pemantul.
3. Pengambilan data lebih baik menggunakan data akuisisi karena lebih dan akurat, serta tidak mengeluarkan banyak waktu dan tenaga.
4. Variasi jenis fluida kerja perlu dilakukan untuk mendapatkan efisiensi panas yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya.

Daftar pustaka

- [1] Kalogirou, Soteris A. 2009. *Solar Energy Engineering : Processes And System*. USA: Elsevier Ltd.
- [2] Jaramillo, O.A., E. Venegas-Reyes, J.O Aguilar, dan R. Castrejon-Garcia. 2013. Parabolic trough concentrators for low enthalpy processes. *Renewable Energy*. 60:529-539. Power, and Vehicular Technology. Vol. 02, No 2, hal. 57-64, 2011.
- [3] Pikra, Ghalya; Salim, Agus; Purwanto, Andri Joko; Eddy, Zaidan. 2011. *Uji coba awal parabolic trough solar collector*. *Journal of Mechatronic, Elektrical Power, and Vehicular Technology*. Vol. 02, No 2, pp 57-64, 2011.
- [4] Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer 6th Edition*. McGraw-Hill, Ltd., Inc.
- [5] Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer Second Edition*.
- [6] Moran, Michael J.; Shapiro, Howard N. 2000. *Fundamental of Engineering Thermodynamics 4th Edition*. John Wiley & Sons. Inc.
- [7] Duffie, John A dan Beckman, William A. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Inc New York.
- [8] Kalogirou, Soteris A. 2012. *A detailed thermal model of a parabolic through collector receiver*. *Energy*. 48: 298-306.
- [9] Zulkarnain, Teddy Hendra. 2011. *Penelitian dan analisis heat removal factor dan heat loss coefficient pada kombinasi flat plat solar collector dan parabolic solar concentrator*. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [10] Thimijan, Richard W dan Heins, Royal D. 1983. *Photometric, Radiometric, and Quantum Light Units of Measure: A Review of Procedures for Interconversion*. Virginia: HortScience. Vol(18)6. Desember 1983.