

RANCANG BANGUN KOLEKTOR PANAS MATAHARI JENIS PALUNG PARABOLA DENGAN SISTEM PELACAKAN MATAHARI MENGGUNAKAN SENSOR LDR

DESIGN OF PARABOLIC TROUGH TYPE SOLAR HEAT COLLECTOR WITH SOLAR TRACKING SYSTEM USING LDR SENSOR

Arika Primayosa¹ **M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.²** **Ahmad Qurthobi, S.T., M.T.³**
^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
¹arikaprimavosa@gmail.com ²mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id ³qurthobi@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Banyak jenis kolektor surya telah digunakan untuk menyerap energi panas matahari sebanyak mungkin, salah satunya adalah kolektor panas matahari jenis palung parabola. Dalam penelitian ini kolektor panas matahari yang dilengkapi dengan sistem pelacakan matahari dibangun dan dipelajari. Sistem ini terdiri dari kolektor panas menggunakan plat stainless steel dengan lebar 0,9 m, panjang 1,83 m, jarak fokus 0,225 m dengan sudut rim 90°, pipa stainless steel dengan diameter 0,019 m dibuat untuk penerima, dan sistem pelacakan menggunakan aktuator parabola 12 VDC dan sensor LDR. Tes menunjukkan bahwa ketidaktepatan antara sudut kolektor dan matahari mendekati 12° dengan rata-rata 7°. Pengujian model kolektor panas tanpa sistem pelacakan selama 2 jam dan 5 menit menghasilkan total 111,7 kJ dan total 2737,6 kJ sehingga total efisiensi panas adalah 4,1%. Pengujian untuk kolektor panas menggunakan sistem pelacakan menghasilkan total 244,3 kJ dan total 3503 kJ sehingga total efisiensi panas adalah 6,97%.

Kata kunci: kolektor, palung parabola, sistem pelacakan, aktuator parabola, efisiensi panas.

ABSTRACT

Many types of solar collector have been used to absorb solar thermal energy as much as possible, one of them is solar heat collector parabolic trough type. In this study of solar heat collector which is equipped with a solar tracking system is constructed and studied. The system consists of a heat collector using stainless steel plate with a width of 0.9 m, length 1.83 m, a focal distance 0.225 m with rim angle 90°, stainless steel pipe with a diameter of 0.019 m is made for receiver, and tracking system using a parabolic actuator 12 VDC and sensor LDR. The test showed that imprecision between angle of the collector and the sun close to 12° with average 7°. Testing models of thermal collectors during 2 hours and 5 minutes without tracking system produce total of 111.7 kJ and a total of 2737.6 kJ, therefore the total efficiency thermal is 4.1%. Testing for thermal collectors using tracking system produce total of 244.3 kJ and a total of 3503 kJ so that the total efficiency thermal is 6.97%.

Keywords : collector, parabolic trough, tracking system, parabolic actuator, efficiency thermal.

1. PENDAHULUAN

Eksplorasi energi skala besar berakibat menurunnya ketersediaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam. Hal ini dikarenakan bahan bakar fosil merupakan energi non-konveksional atau sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Untuk mengatasinya dibutuhkan energi alternatif, salah satunya adalah energi panas matahari. Panas matahari merupakan sumber energi yang dapat diperbarui karena ketersediaan di alam sangat melimpah jumlahnya, selain itu energi panas matahari merupakan energi utama bagi kehidupan di bumi dan dapat diperoleh tanpa biaya. Energi panas matahari ini sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia, karena Indonesia terletak di daerah khatulistiwa, maka Indonesia akan disinari matahari selama 10 sampai dengan 12 jam sehari^{[1][2]}.

Dalam pemanfaatan energi panas matahari ini dibutuhkan suatu penelitian yang berguna untuk menganalisis besar energi panas yang dapat dihasilkan dari panas matahari yaitu membuat sistem alat kerja kolektor panas matahari jenis palung parabola. Kolektor ini berbentuk palung parabola yang bekerja dengan cara mengumpulkan cahaya matahari lalu dipantulkan ke satu titik fokus yaitu ke arah pipa penerima^[3]. Tujuan penelitian ini adalah analisis kalor pada pipa penerima dan nilai efisiensi dari kolektor panas yang telah dirancang bangun, serta membuat sistem pelacakan terhadap posisi cahaya matahari pada kolektor panas. Dengan adanya analisis kalor pada pipa penerima dan nilai efisiensi kolektor panas, diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengembangan sistem yang lebih baik serta mendetail di masa mendatang sehingga penghematan energi menjadi nyata.

2. PERANCANGAN SISTEM

2.1 Kolektor Panas Matahari Jenis Palung Parabola

Kolektor panas jenis palung parabola merupakan jenis kolektor yang memanfaatkan sifat khusus dari parabola yang dapat memfokuskan cahaya matahari pada satu titik. Kolektor ini terbuat dari material berbentuk parabola panjang yang dapat memantulkan cahaya matahari yang datang. Cara kerja kolektor panas jenis palung parabola adalah ketika kolektor menghadap langsung ke matahari, cahaya matahari datang tegak lurus dengan pemantul dan cahaya dipantulkan ke pipa penerima yang telah diletakkan sepanjang garis fokus^[3]. Pada kolektor jenis ini, pelacakan cahaya matahari menggunakan *single-axis tracking*, yaitu pelacakan dari arah timur ke barat^{[3][4]}.

Dalam menentukan suatu bentuk kolektor panas, perlu diketahui diameter/lebar *aperture* (bidang penerima) yang diinginkan. Diameter *aperture* ini merupakan lebar dari parabola saat dilihat dari atas, dan sudut rim (ψ_{rim}) yaitu sudut antara jarak fokus dengan titik maksimum dari kelengkungan parabola sehingga dapat diketahui letak titik fokus dengan menggunakan persamaan (2.1)^[5]. Dengan aturan dari jarak fokus dan diameter/lebar *aperture*, maka untuk menentukan tinggi dari kurva parabola menggunakan persamaan (2.2)^[5]. Rasio konsentrasi merupakan perbandingan diameter dari *aperture*/pemantul (d) dengan diameter pipa penerima (D) menggunakan persamaan (2.3)^[5]. Selanjutnya untuk menghitung dimensi lebar sebenarnya dari kolektor panas jenis palung parabola yang dibentuk parabola yaitu dengan menentukan lebar dari permukaan pemantul (lebar permukaan sebelum dibentuk parabola). Dimensi dari lebar permukaan pemantul s dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.4)^[5], dimana merupakan tinggi dari kurva parabola, dengan adalah jarak titik fokus parabola.

$$f = \frac{D^2}{16h} \tag{2.1}$$

$$h = \frac{D^2}{16f} \tag{2.2}$$

$$K = \frac{D}{d} \tag{2.3}$$

$$s = \frac{D}{2} \left[\left(\frac{D}{4f} \right)^2 - 1 \right] \tag{2.4}$$

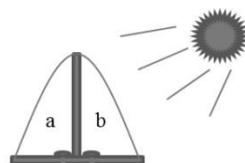
Lebar *aperture* (D), tinggi kurva parabola (h), dan jarak fokus parabola (f) mempengaruhi total *loss* pada permukaan *aperture* (A_p) dari sebuah kolektor panas jenis palung parabola. Dimana K mempengaruhi faktor geometri (G) dari sebuah kolektor panas palung parabola. K merupakan perbandingan total *loss* pada permukaan *aperture* (A_p) dengan luas permukaan *aperture* (A_r). Semakin besar K , maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan dari sebuah kolektor panas. Persamaan (2.6) dan (2.7) adalah untuk mencari A_p dan A_r ^[3].

$$A_p = \frac{D^2}{4} \tag{2.6}$$

$$A_r = \frac{D^2}{4} \tag{2.7}$$

2.2 Mekanisme Pelacakan

Dalam penelitian kolektor panas, dibutuhkan suatu sistem yang dapat melacak posisi cahaya matahari, agar kolektor panas selalu menghadap ke arah datangnya cahaya matahari. Sistem pelacakan ini diatur dalam dua hal, yaitu mekanik dan elektrik. Sistem mekanik yaitu sistem penggerak dari aktuator parabola, sedangkan untuk sistem elektrik meliputi rangkaian listrik catudaya, sistem minimum, dan rangkaian sensor LDR (*Light Dependent Resistor*). Pada sistem kolektor panas ini menggunakan dua buah sensor LDR yang akan menjadi masukan atau faktor penggerak dari motor DC. Sensor LDR (a) diletakkan pada ujung barat atas dan sensor LDR (b) diletakkan pada ujung timur atas kolektor panas. Pada bagian kanan sensor LDR (a) dan bagian kiri dari sensor LDR (b) diberi pembatas agar masing-masing sensor kanan dan kiri mempunyai daerah cakupan dalam menangkap arah datangnya cahaya matahari, serta agar perubahan nilai intensitas cahaya matahari yang kecil dapat dideteksi oleh masing-masing sensor^[6]. Cara kerja sensor LDR ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mekanisme Sensor LDR^[6]

Berdasarkan Gambar 2.1 sistem kerja sistem pelacak yaitu saat intensitas cahaya yang diterima oleh sensor a > sensor b maka kolektor akan bergerak ke arah sensor a sampai nilai intensitas cahaya yang diterima sensor a = sensor b. Demikian sebaliknya, saat nilai intensitas dari sensor a < sensor b maka kolektor akan bergerak ke arah sensor b sampai nilai intensitas pada sensor a = sensor b^[6].

2.3 Analisis Kalor pada Kolektor Panas

Analisis kalor pada kolektor panas dilakukan untuk mengetahui nilai kalor yang dapat diserap oleh pipa penerima. Banyaknya kalor yang diserap oleh pipa penerima mempengaruhi besar efisiensi panas yang dapat dihasilkan oleh kolektor panas. Berikut teori-teori yang terkait dengan analisis panas pada kolektor panas jenis palung parabola. Energi panas matahari yang dipancarkan ke suatu permukaan kolektor dapat dihitung menggunakan persamaan yaitu (2.8)^[7]. Nilai energi panas yang diserap pipa penerima bergantung pada koefisien perpindahan panas konveksi dan radiasi, dan juga perubahan temperatur pada pipa penerima. Persamaan (2.9) adalah untuk menentukan energi panas pada pipa penerima^[8].

(2.8)

(2.9)

Efisiensi panas merupakan besar energi matahari yang dapat ditangkap seluruhnya oleh sistem kolektor panas jenis palung parabola yang meliputi pemantulan oleh plat pengumpul cahaya matahari dan penyerapan panas oleh pipa penerima. Persamaan (2.10) adalah untuk menentukan efisiensi panas^[9].

(2.10)

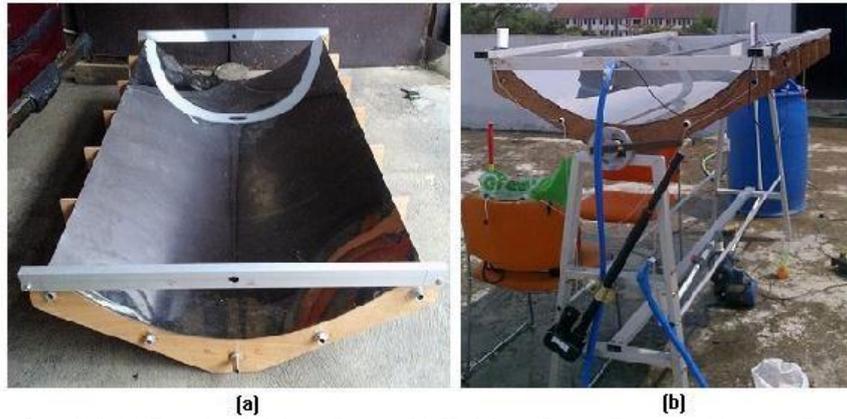
2.4 Desain Kolektor Panas Jenis Palung Parabola

Sistem yang telah direalisasikan merupakan sistem kolektor panas yang dapat mengikuti pergerakan cahaya matahari. Kolektor panas dirancang dengan spesifikasi tertentu menggunakan panduan yang ada di buku dan *paper* penelitian terdahulu^{[3][4][6][10]}. Kolektor panas akan bergerak mengikuti cahaya matahari dengan bantuan aktuator parabola. Aktuator parabola akan bergerak ketika terdapat perbedaan nilai resistansi dari sensor LDR. Sensor LDR ini dipasang pada bagian kiri dan kanan dari kolektor panas dan diberi pembatas, agar nilai resistansi sensor LDR menjadi lebih sensitif terhadap pergerakan matahari.

Penentuan bentuk kurva dari parabola ini tergantung dari lebar *aperture* dari kolektor panas dan sudut rim yang diinginkan. Dimensi kolektor yang akan dirancang bangun berdasarkan dari penelitian sebelumnya^[10], namun dengan dimensi yang lebih kecil. Lebar *aperture* kolektor dan sudut rim yang diinginkan yaitu 90 cm dan 90°. Data ini merupakan langkah awal dalam menentukan titik fokus dan bentuk kurva parabola dari kolektor panas yang akan dirancang bangun. Untuk mencari spesifikasi kolektor panas digunakan persamaan (2.1) sampai (2.7). Tabel 2.1 merupakan spesifikasi kolektor panas yang telah dirancang bangun.

Tabel 2.1 Spesifikasi Kolektor Panas

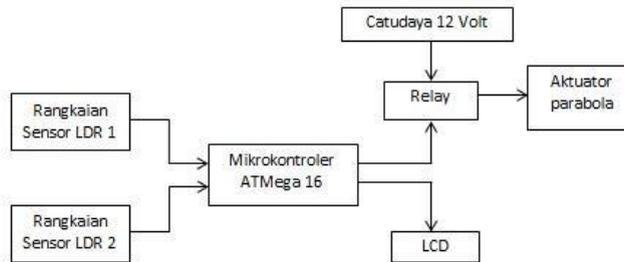
Spesifikasi Kolektor Panas Palung Parabola	
Dimensi kolektor	0,9x1,83 m
Luas <i>aperture</i>	1,647 m ²
Sudut rim ()	90°
Rasio f/d	0,25
Jarak fokus (f)	0,225 m
Rasio konsentrasi (C)	15,085
Faktor geometri	0,373
Diameter pipa penerima (D)	0,019 m
Bahan <i>aperture</i>	Plat <i>stainless steel</i> (0,6 mm)
Bahan pipa penerima	<i>Stainless Steel</i>



Gambar 2.2 (a) Desain Kolektor Panas (b) Kolektor Panas Dengan Aktuator Parabola

2.5 Perancangan Sistem Pelacakan pada Kolektor Panas

Sistem pelacakan ini terdiri dari beberapa bagian yang meliputi rangkaian listrik seperti rangkaian mikrokontroler (sistem minimum), driver relay, sensor cahaya LDR dan penggerak (aktuator parabola). Sistem pelacakan pada kolektor panas dirancang berdasarkan diagram blok pada Gambar 2.3.



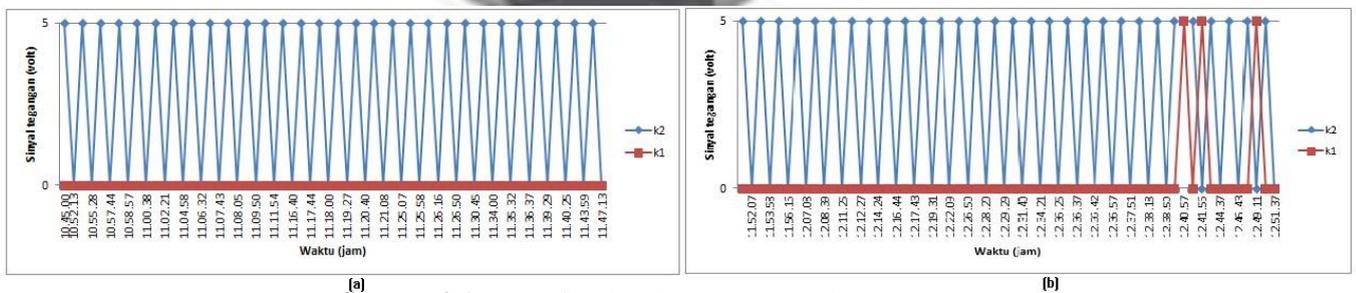
Gambar 2.3 Diagram Blok Sistem Pelacakan

3. Pengujian dan Analisis

3.1 Sistem Pelacakan Matahari pada Kolektor Panas

Pergerakan matahari yang selalu berubah setiap waktu menyebabkan kolektor panas harus selalu mengikuti pergerakannya untuk memperoleh hasil pemanasan yang optimal. Pengujian ini bertujuan untuk melihat sistem yang telah dirancang bangun dapat bekerja dengan baik. Pengujian sistem pelacakan pada kolektor panas ini menggunakan program mikrokontroler ATmega 16 untuk kontrol pergerakan aktuator parabola, dan program arduino untuk menampilkan data nilai sinyal kontrol dari mikrokontroler ATmega.

Pengujian dilakukan mulai pukul 10.45 WIB sampai pukul 12.50 WIB dengan pengambilan data dilakukan setiap 5 menit. Pengujian dilakukan terhadap pergerakan kolektor panas dengan pengambilan data berupa sinyal kontrol serta durasi pergerakan aktuator parabola dan pengambilan data sudut kolektor dan sudut matahari menggunakan busur derajat. Hasil pengujian yang telah dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 3.1(a) dan (b).



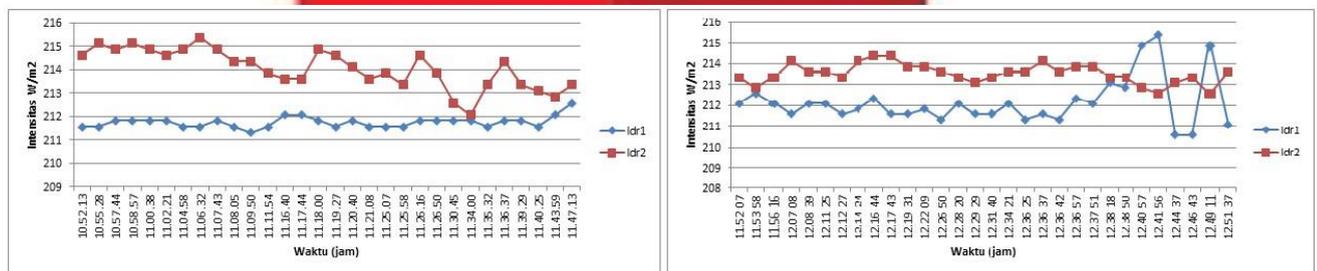
Gambar 3.1 (a) Grafik Sinyal Kontrol (b) lanjutan

Keterangan waktu pengujian pada Gambar 3.1(a) dan (b) menunjukkan waktu yang dicatat pada saat kolektor mulai bergerak. Pergerakan kolektor dapat diartikan dengan sinyal tegangan yang diberikan mikrokontroler untuk mengaktifkan relay sebagai saklar yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Kondisis pergerakan Kolektor

Kondisi	Pergerakan Kolektor
K1=0 K2=1	Diam
K1=0 K2=0	Ke arah barat
K1=1 K2=1	Ke arah timur
K1=1 K2=0	Balik arah (<i>inverse</i>)

Pada Tabel 3.1 dapat dilihat pada saat k1=1 dan k2=0, pergerakan kolektor ke arah sebaliknya (*inverse*), yang diartikan saat kolektor bergerak ke arah barat dan mendapat sinyal itu, maka kolektor akan berganti arah ke timur dan sebaliknya. Berdasarkan Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa pergerakan kolektor panas selalu berganti setiap waktu walaupun pergantian terjadi di akhir waktu pengujian. Hal ini disebabkan oleh perubahan intensitas cahaya matahari akibat adanya awan. Sehingga sensor LDR1 dan LDR2 akan terus mencari arah yang memiliki sumber intensitas cahaya matahari lebih banyak. Pada Gambar 3.2(a) dan (b) menunjukkan intensitas yang terbaca pada sensor LDR1 dan LDR2.



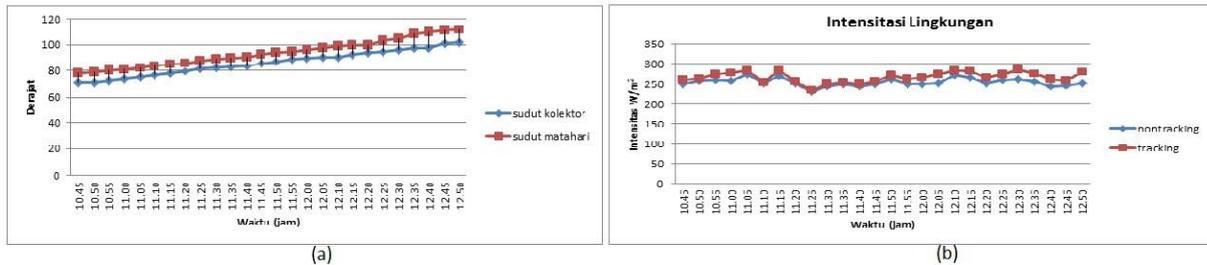
Gambar 3.2 (a) Grafik Intensitas Matahari pada Sensor LDR (b) lanjutan

Berdasarkan Gambar 3.2(a) dan (b) dapat dilihat bahwa intensitas yang terbaca oleh sensor berhubungan dengan pergerakan kolektor yang ditunjukkan oleh sinyal tegangan pada Gambar 3.1(a) dan (b). Sensor LDR1 diletakkan di sebelah timur, sedangkan sensor LDR2 diletakkan di sebelah barat. Sehingga saat intensitas yang terbaca oleh sensor LDR2 lebih besar dari sensor LDR1, maka kolektor akan bergerak ke arah barat, dan sebaliknya. Ini sesuai dengan grafik sinyal tegangan pada Gambar 3.1(a) dan (b).

Selanjutnya pengujian terhadap sudut kolektor dan sudut matahari dilakukan untuk mengetahui ketepatan sistem kolektor panas dalam mengikuti pergerakan cahaya matahari. Pergerakan matahari dapat diketahui melalui bayangan yang terlihat pada busur derajat. Gambar 3.3 merupakan gambar kolektor saat dilakukan pengujian sudut kolektor dan Gambar 3.4 menunjukkan grafik perubahan sudut kolektor dan sudut matahari pada rentang waktu pengujian pukul 10.45 WIB sampai pukul 12.50 WIB.



Gambar 3.3 Pengujian Sudut Kolektor dan Sudut Matahari

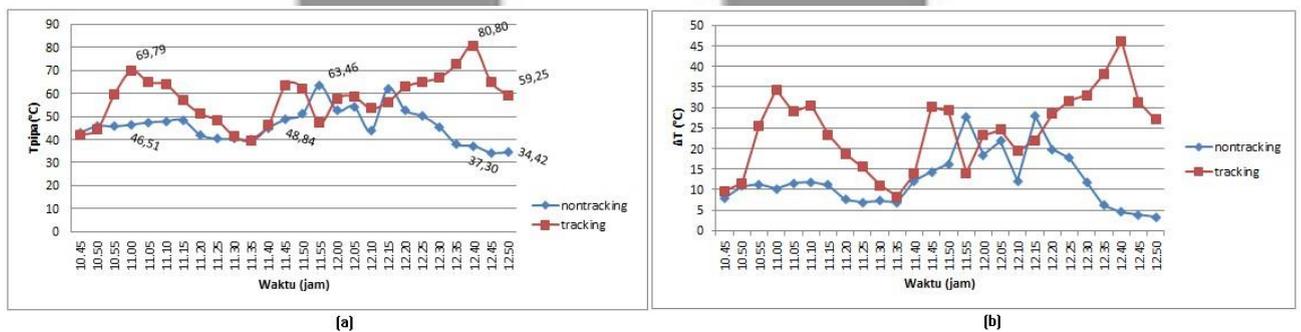


Gambar 3.4 (a) Grafik Perubahan Sudut Kolektor dan Matahari Terhadap Waktu (b) Grafik Intensitas Lingkungan

Gambar 3.4(b) menunjukkan intensitas matahari yang terbaca pada alat ukur luxmeter digital saat pengujian berlangsung selama 2 jam 5 menit. Berdasarkan Gambar 3.4(a) terlihat bahwa perubahan sudut matahari relatif sama antara 2° sampai 3°. Perubahan sudut pergerakan kolektor nilainya fluktuatif tergantung sistem pelacakan pada kolektor. Selisih sudut pergerakan kolektor dan sudut matahari tidak terlalu besar yaitu maksimum mencapai 12° dengan rata-rata 7°. Perbedaan yang dihasilkan antara sudut pergerakan kolektor dan sudut matahari menunjukkan nilai di bawah 15°, karena sistem masih kurang dalam mengikuti gerakan matahari. Beberapa faktor yang menyebabkan hal ini dapat terjadi yaitu sensor, angin, dan letak matahari. Data yang dihasilkan sensor belum tepat, sehingga data perbedaan intensitas cahaya tidak *real time* serta waktu tunda pada sistem ikut mempengaruhi ketidaktepatan sistem dalam melacak matahari. Angin dapat mempengaruhi sistem, karena sistem yang dirancang tidak terlalu kokoh dan kuat menahan angin. Saat kecepatan angin di atas 1,6 m/s, kolektor panas akan goyang, mengakibatkan nilai intensitas matahari yang ditangkap sensor selalu mengalami perubahan, sehingga sistem akan terus bergerak hingga data pada sensor menunjukkan intensitas matahari pada kedua sensor sama. Letak matahari mempengaruhi intensitas karena letak matahari lebih ke arah utara, sehingga besar sudut yang dapat diukur berbeda dengan sudut pada kolektor.

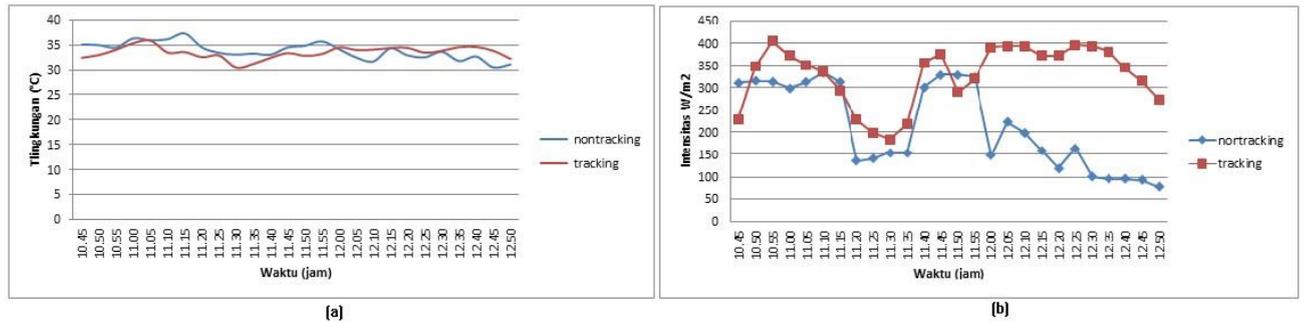
3.2 Temperatur Pipa pada Sistem Kolektor Panas

Pengujian ini bertujuan untuk melihat kalor yang diterima dan kalor yang diserap oleh kolektor panas. Selanjutnya data yang diperoleh tersebut akan diolah untuk mendapatkan data efisiensi kalor. Gambar 3.5(a) Gambar 3.5 merupakan grafik temperatur pada pipa dan Gambar 3.5(b) merupakan grafik perubahan temperatur.



Gambar 3.5 (a) Grafik terhadap Waktu (b) Grafik ΔT terhadap Waktu

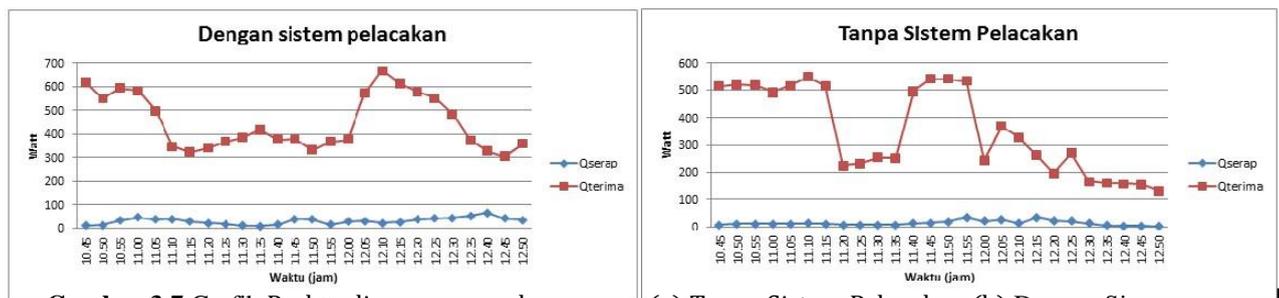
Gambar 3.5(a) menunjukkan grafik T_{pipa} pada kolektor panas untuk sistem pelacakan dan tanpa sistem pelacakan. Dapat dilihat bahwa temperatur maksimum yang diperoleh dari kolektor panas dengan sistem pelacakan adalah 80,8 °C, sedangkan temperatur maksimum tanpa sistem pelacakan hanya 63,5 °C. Gambar 3.5(b) menunjukkan selisih temperatur pipa dan temperatur lingkungan untuk kondisi sistem pelacakan dan tanpa sistem pelacakan. Pada saat pengujian dilakukan, ΔT untuk sistem pelacakan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanpa pelacakan. Hal ini disebabkan oleh intensitas matahari saat pengujian yang akan dibahas pada analisis selanjutnya.



Gambar 3.6 (a) Grafik $T_{lingkungan}$ terhadap Waktu (b) Grafik Intensitas Matahari terhadap Waktu

Analisis berdasarkan Gambar 3.6(b) bahwa intensitas matahari saat pengujian dengan sistem pelacakan lebih besar dari pada pengujian tanpa sistem pelacakan. Pengujian yang dilakukan memang berbeda karena saat pengujian sistem pelacakan, alat ukur luxmeter diletakkan sejajar dengan kolektor dan selalu mengikuti pergerakan matahari sedangkan saat pengujian tanpa sistem pelacakan, alat ukur luxmeter hanya diletakkan sejajar dengan kolektor. Namun intensitas cahaya matahari pada pengujian tanpa sistem pelacakan sebenarnya lebih tinggi. Hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 3.6(a) bahwa temperatur lingkungan saat pengujian tanpa sistem pelacakan lebih tinggi. Temperatur lingkungan yang tinggi menandakan bahwa kondisi cuaca saat pengujian cerah. Sehingga pengaruh intensitas matahari yang meningkat mengakibatkan temperatur pada pipa ikut meningkat.

Analisis data yang dilakukan yaitu dengan mengolah data menggunakan persamaan (2.8) sampai (2.10). Gambar 3.7 merupakan grafik Q_{serap} dan Q_{terima} untuk masing-masing kondisi pengujian kolektor terhadap waktu. Nilai Q_{serap} ini bergantung pada nilai ΔT , semakin besar selisih temperatur yang dihasilkan maka semakin besar nilai Q_{serap} yang akan dihasilkan.



Gambar 3.7 Grafik Perbandingan Q_{serap} dan Q_{terima} (a) Tanpa Sistem Pelacakan (b) Dengan Sistem Pelacakan

Analisis akhir untuk sistem kolektor panas adalah analisis efisiensi kalor yang dihasilkan kolektor panas selama durasi pengujian 2 jam 5 menit. Untuk kolektor panas tanpa sistem pelacakan, total Q_{serap} yang dihasilkan sebesar 111,7 kJ dan total Q_{terima} sebesar 2737,6 kJ sehingga menghasilkan nilai efisiensi panas yaitu 4,1%. Untuk kolektor panas dengan sistem pelacakan total Q_{serap} yang dihasilkan sebesar 244,3 kJ dan total Q_{terima} sebesar 3503 kJ sehingga menghasilkan nilai efisiensi panas yaitu 6,97%.

Faktor yang mempengaruhi sistem kerja kolektor panas dibagi dalam dua jenis, yaitu faktor eksternal dan internal. Faktor internal terdiri dari faktor geometri dan faktor mekanik. Faktor geometri meliputi pemilihan bentuk dan dimensi dari kolektor panas, serta pemilihan material dari pemantul dan pipa penerima. Semakin baik material dari pemantul dan pipa penerima, semakin besar kalor yang dapat diserap dan semakin baik juga efisiensi yang dihasilkan. Faktor mekanik yaitu faktor yang berasal dari sistem pelacakan. Semakin teliti sistem pelacakan, semakin baik dalam merespon perubahan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh kolektor panas. Sedangkan untuk faktor eksternal meliputi faktor kondisi cuaca saat pengujian, serta faktor kecepatan angin. Faktor eksternal berdampak pada nilai sudut dan pergerakan kolektor panas yang selalu berubah dikarenakan kolektor panas yang goyang akibat kecepatan angin yang besar.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka kesimpulan yang didapatkan sebagai berikut :

1. Kolektor panas jenis palung matahari yang telah dirancang bangun dengan nilai ratio konsentrasi (C) sebesar 15,085, nilai ini tidak jauh berbeda dengan penelitian sebelumnya^[10], menghasilkan nilai faktor geometri () 0,373, lebih besar 0,15 dari penelitian pada jurnal referensi^[10].
2. Temperatur maksimum yang diterima oleh kolektor panas dengan sistem pelacakan adalah 80,8 °C , sedangkan temperatur maksimum tanpa sistem pelacakan hanya 63,5 °C. Perbandingan temperatur tersebut cukup besar karena kolektor dengan sistem pelacakan selalu menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, hal ini mempengaruhi nilai intensitas yang diperoleh.
3. Pada kolektor panas tanpa sistem pelacakan, total sebesar 111,7 kJ dan total sebesar 2737,6 kJ. Sehingga nilai efisiensi panas adalah 4,1%. Pada kolektor panas dengan sistem pelacakan total sebesar 244,3 kJ dan total sebesar 3503 kJ. Sehingga nilai efisiensi panas adalah 6,97%. Agar penyerapan panas menjadi lebih optimal, diperlukan pemilihan yang tepat untuk material dalam pembuatan alat seperti *flexible mirror* untuk bahan pemantul dan *absorber* jenis *evacuated tube* dan material lain yang tahan air, ringan, anti karat serta murah dalam pembuatan kolektor panas.
4. Waktu pergerakan kolektor panas paling cepat berdurasi 0,5 detik, dan yang paling lama berdurasi 23,7 detik. Kolektor bergerak dengan durasi terlalu lama saat awan mulai menutupi matahari, karena rangkaian sensor LDR akan terus mencari perbedaan intensitas cahaya matahari yang lebih tinggi pada masing-masing daerah cakupan sensor LDR. Pengambilan data sudut kolektor dan matahari lebih baik menggunakan data akuisis karena lebih tepat dan akurat, serta tidak mengeluarkan banyak waktu dan tenaga.
5. Faktor yang mempengaruhi sistem kerja kolektor panas yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal terdiri dari faktor geometri dan faktor mekanik. Faktor geometri adalah pemilihan bentuk dan dimensi dari kolektor panas, serta pemilihan material dari pemantul dan pipa penerima sedangkan faktor mekanik adalah faktor sistem pelacakan. Perlu penambahan sensor seperti sensor *rotary encoder* dan penambahan program algoritma astronomi yang memperhitungkan posisi astronomi dari matahari maupun pengamat agar sistem pelacakan matahari lebih tepat dan akurat dalam melacak pergerakan matahari. Sedangkan untuk faktor eksternal meliputi kondisi cuaca dan faktor kecepatan angin saat pengujian.

Daftar Pustaka

- [1] Sulistyanto, Iwan Gatot. 2009. *Geografi 1: untuk Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah Kelas X*. Jakarta: Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- [2] Setiyawan, dan Wahyu Dedi. 2007. *Studi perancangan sistem "solar boat" untuk kapal 10 GT*. Fakultas Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh November.
- [3] Kalogirou, Soteris A. 2009. *Solar Energy Engineering : Processes And System*. USA: Elsevier Ltd.
- [4] 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, hal. 57-64, 2011.
- [5] Stine, William B.; Harrigan , Raymond W. 1985. *Solar Energy Fundamentals And Design With Computer Applications*. USA: John Willey & Sons, Inc.
- [6] Mirdanies, Midriem., Rizqi Andry A, Hendri Maja Saputra, dkk. 2011. *Rancang bangun sistem kontrol mekanisme pelacakan matahari fasilitas telekontrol hemat energi*. Journal of Mechatronic, Elektrical Power, and Vehicular Technology. Vol. 02, No 1, hal. 31-40, 2011.
- [7] Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer 6th Edition*. McGraw-Hill, Ltd., Inc.
- [8] Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer Second Edition*. The McGraw Hill Companies, Inc.
- [9] Moran, Michael J dan Shapiro, Howard N. 2000. *Fundamental of Engineering Thermodynamics 4th Edition*. John Wiley & Sons. Inc
- [10] 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.
- [11] 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.