

Pemakaian Camera Infrared untuk Mencari Temperatur Tertinggi (Media Air dan Minyak Kelapa Sawit) pada *Organic Rankine Cycle* dengan Konsentrator Parabolik Matahari

Ruli Nutranta¹, M. Idrus Alhamdi² dan Nasrudin²

¹Mahasiswa Doktorat Laboratorium Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

²Staff Pengajar Laboratorium Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

*Corresponding author : ruli@eng.ui.ac.id atau rulinutranta@gmail.com

Abstrak

Konsentrator parabolik merupakan salah satu pengumpul panas matahari yang berbentuk parabola untuk menghasilkan temperature yang lebih tinggi dibanding konsentrator pelat datar. Konsentrator ini digunakan untuk menghasilkan panas yang digunakan di *Organic Rankine Cycle* (ORC) sebagai pemutar turbin penghasil listrik. Pemanfaatan kamera infra red sebagai salah satu alat untuk melihat kontur warna dari temperatur yang ada, sangat diperlukan. Dalam penelitian ini, hasil dari percobaan dibandingkan dengan hasil dari kamera infrared selama 5 jam, dengan interval waktu setiap 5 menit sekali. Dengan menggunakan fluida kerja air dan minyak kelapa sawit, maka gradient dari grafik masing-masing fluida kerja tersebut hampir sama. Pengaruh radiasi matahari terhadap pemanasan fluid kerja minyak kelapa sawit lebih besar bila dibandingkan dengan fluida kerja air. Dengan flowmeter (fluida masuk) 400 mLPM, maka temperatur media minyak kelapa sawit mencapai 91,6^oC (Pembacaan kamera 80,6 ^oC) sedangkan media air mencapai 56,4^oC (Pembacaan kamera 58,1 ^oC). Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pemakaian kamera infrared tidak cocok untuk pengukuran temperatur luar. Akan tetapi hasil dari temperature minyak kelapa sawit dapat digunakan sebagai fluida masuk di penukar kalor (Heat Exchager) pada ORC dengan tenaga matahari.

Keyword : Kamera infrared, konsentrator parabolik, organic rankine cycle, media, air, minyak kelapa sawit

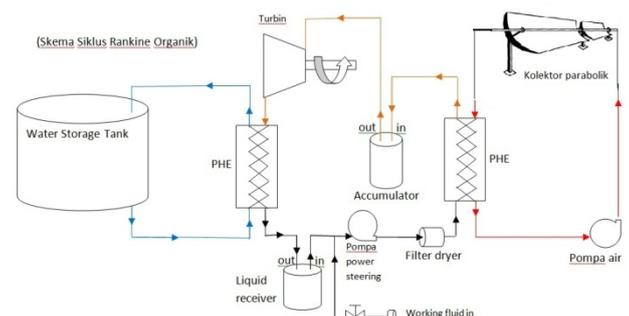
1. Pendahuluan

Latar Belakang

Indonesia telah mengalami peningkatan pesat dalam konsumsi nasional hariannya terutama dalam bidang energi listrik dan telah mengembangkan sumber energi terbarukan, termasuk energi surya. Energi surya memainkan peran penting dalam pemanfaatan energi listrik di Indonesia. Rata-rata matahari bersinar di Indonesia sekitar 12 jam per hari. Jika dibutuhkan tiga jam rata-rata untuk pemanfaatan energi panas surya maka menjadi sangat bermanfaat untuk kepentingan masyarakat, terutama di daerah pedesaan. Untuk memenuhi permintaan instalasi listrik ke rumah-rumah (33,4% target 2010), tenaga surya adalah alternatif sumber energi terbarukan yang harus dikembangkan Sementara itu menurut data dari kementerian ESDM, kapasitas terpasang dari energi surya di Indonesia berkisar 13,5 MW [1].

Organic Rankine Cycle

Dari kebutuhan energi listrik yang ada di Indonesia, maka energi listrik yang memanfaatkan tenaga surya menjadi salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan. Selain tenaga PV, maka tenaga panas dari sinar matahari dapat dimanfaatkan untuk menjalankan *Organic Rankine Cycle* (ORC) dengan fluida yang ramah lingkungan. Mesin *organic Rankine cycle* ini terdiri dari solar kolektor, pompa, evaporator, Turbin expander, kondensor dan tangki seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. ORC bertenaga Surya

Dalam ORC [2], berbagai macam cairan bekerja digunakan tergantung pada operasi kondisi dan perbedaan suhu antara evaporator dan condensor . Namun, tujuan dari ORC berfokus pada penggunaan energi panas bertemperatur rendah

Konsentrator Parabolik

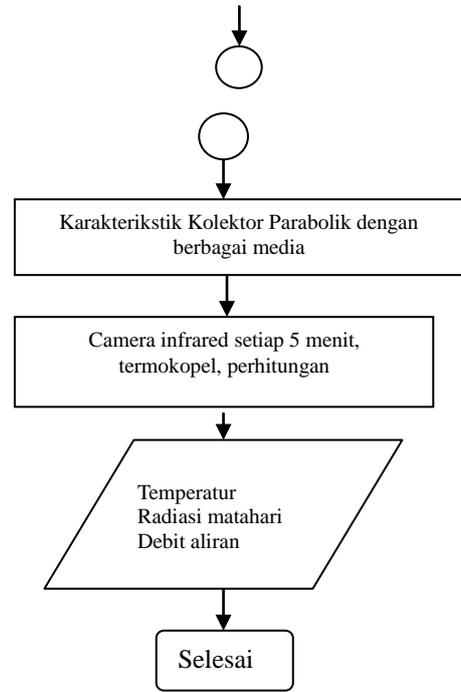
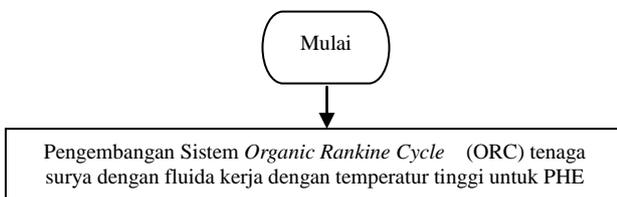
Garcia [3] meneliti tentang berbagai kolektor surya tipe parabolik dan aplikasinya dalam pembangkit listrik tenaga surya di beberapa negara. Penelitian tentang sistem termal tenaga surya paraboloid telah dilakukan oleh Prawara [4] yang menginvestigasi tenaga surya sistem paraboloid di Gunung Kidul, Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan minyak kelapa sawit sebagai media pemanasnya dan menemukan temperatur minimal 51 °C untuk menjalankan mesin ORC. Dalam penelitiannya. Tao [5] meneliti tentang kolektor surya tipe parabolik dengan aliran fluida ganda. Dalam penelitiannya, Bilangan Nusselt dan Bilangan Rayleigh menjadi dasar bagi efisiensi temperaturnya



Gambar 2. Konsentrator parabolik di atas Gedung Engineering Center

2. Metode Ekperimen

Metodologi riset pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini. Dimulai dari pengujian sebelumnya, dimana solar termal yang memiliki solar kolektor parabolik, tim peneliti menginvestigasi karakteristik air dan minyak kelapa sawir sebagai mediumnya



Gambar 3. Metode riset dalam penelitian

Pengambilan data merupakan proses pengujian langsung peralatan uji dan mencatat parameter-parameter yang dibutuhkan seperti temperatur, irradiansi matahari dan debit aliran fluida kerja. Tempat pengujian dilakukan pada lantai atas gedung Engineering Center FTUI. Proses pengambilan data dilakukan pada rentang waktu 5 jam setiap harinya, dengan interval waktu setiap 5 menit sekali. Sebelum pengambilan data pada awal pengujian. Persiapan dan pengambilan data yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Mengatur pembukaan dan penutupan katup sehingga menjadi rangkaian yang diinginkan.
2. Memastikan pemasangan kabel termokopel pada terminal dan indikator berfungsi dengan baik.
3. Memastikan High temperature thermal imaging kamera batrai keadaan penuh dan berfungsi dengan baik.
4. Periksa level ketinggian fluida pada tangki.
5. Mencatat angka awal flowmeter (sebelum pompa dijalankan)
6. Memeriksa pompa dan menjalankan pompa 15 menit sebelum data temperatur diambil.
7. Pengambilan data temperatur setiap 5 menit sekali.

3. Pengambilan data

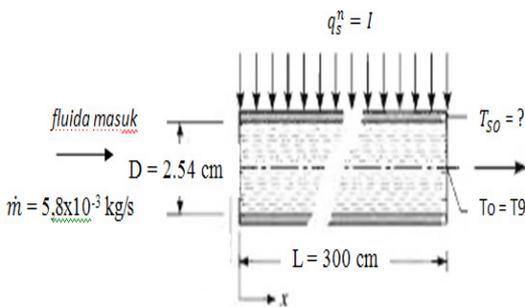
Data lokasi tempat dibutuhkan untuk mengetahui posisi dimana pengujian berlangsung terhadap garis lintang dan garis bujur bumi. Lokasi kota Depok berada pada -6.394058° LS dan 106.831557° BT (Sumber LanSat LAPAN). Data radiasi matahari diambil dengan alat Weather Instrument Davis. Alat ini merupakan alat yang kompleks untuk mengukur parameter-parameter cuaca seperti temperatur, kelembaban udara, Irradiasi, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, chiller, UV, hujan, dll tergantung pada jenis alat dan consolenya

Data temperatur dan debit aliran

Pengambilan data temperatur dilakukan selama 5 jam setiap harinya antara jam 10 pagi hingga jam 3 sore dengan interval pengambilan data setiap 5 menit sekali, sedangkan data debit aliran fluida, 400 mLPM, dicatat pada awal dan akhir pengujian. Untuk pengambilan data temperatur fluida outlet (T9) digunakan termokopel, dan untuk pengambilan temperatur fluida kolektor menggunakan kamera sensor kalor (High temperature thermal imaging camera-Flir systems T333)

4. Hasil dan pembahasan

Dalam perhitungan data berikut ini, hanya ditampilkan perhitungan temperatur permukaan pada pipa outlet absorber (Tso) dalam sekali pengambilan data selama 5 menit.



Gambar 4. spesifikasi dan laju aliran pipa absorber penghitungan rangkaian

Rumus yang digunakan (6) adalah :
Untuk luas permukaan

$$A_s = \pi DL = \frac{mc_p(T_{m,o} - T_{m,i})}{q_s^n} \tag{1}$$

Temperatur pada selubung logam yang terkena matahari

$$T_{so} = \frac{q_s^n}{h} + T_o \tag{2}$$

h

$$= 4.36 \frac{k}{D} \tag{3}$$

untuk bilangan reynold

$$Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \tag{4}$$

Diketahui:

- Debit aliran rangkaian(Q)= 0.4 lpm, didapatkan $\dot{m} = 5,8 \times 10^{-3}$ kg/s
- Data temperatur masuk (T₁) 58 °C.
- Luas pelat absorber (A_c) = 2 buah@(1.5 m x 0.9 m) = 2.7 m²
- Diameter pipa tembaga/absorber = 2.54 cm = 0,0254 m
- Tebal pipa absorber = 4 mm
- Panjang 2 pipa absorber @1,5 m = 3 m
- Temperatur out (T_o) = T₉
- aliran laminar fluida = 4.36
- h = heat transfer coefficient
- q_s^n = irradiansi matahari
- k air = 0.670 W/m-C
- k minyak kelapa sawit

Waktu	T Fa1
10:00	<p>Spot 39.3 ~ °C</p> <p>39.3°C</p>
10:30	<p>Spot 39.5 ~ °C</p> <p>40.1°C</p>

Gambar 5. Hasil Kamera infrared untuk media air pukul 10.00 dan 10.30 pada Tfa1

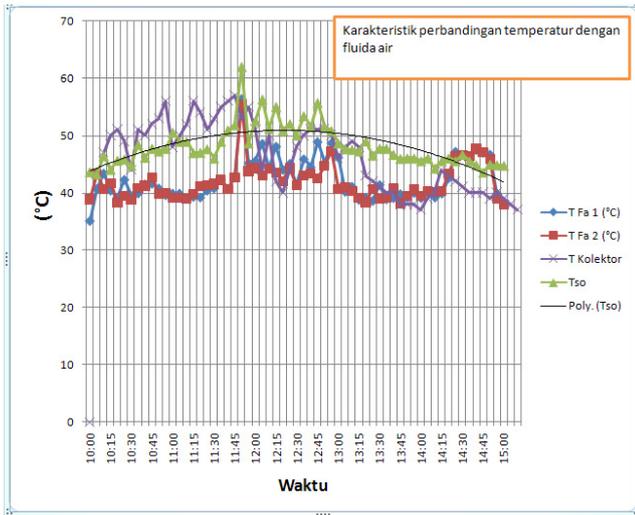
Setelah dihitung dan dibandingkan dengan kamera maka didapat perbandingan hasil dari percobaan pada tabel dibawah ini untuk media air

Tabel 1. perbandingan antara hasil dari kamera infra red, perhitungan dan termokopel untuk media air

NO	JAM	Kamera sensor kalor		Ta (°C)	Irradiasi matahari (W/m ²)	Tso (°C)	T9 (°C)
		T Fa 1 (°C)	T Fa 2 (°C)				
1	10:00	39.3	40.2	47	376	43.6	40.4
2	10:05	50.1	45.0	50	355	43.2	40.2
3	10:10	40.2	39.3	51	353	46.4	43.4
4	10:15	40.4	40.4	49	427	44	40.4
5	10:20	42.5	42.5	44	513	45.6	41.2
6	10:25	45.1	40.1	51	413	45.8	42.3
7	10:30	39.7	39.7	50	434	44.7	40.5
8	10:35	39.9	41.6	52	431	48.4	44.7
9	10:40	42.7	42.7	53	533	46.1	41.5
10	10:45	41.6	42.7	56	664	47.7	41.6
11	10:50	45.1	42.1	48	738	47.2	40.8
12	10:55	42.6	42.6	50	703	47.7	41.6
13	11:00	42.5	42.5	52	696	50.5	44.4
14	11:05	44.1	44.1	56	726	48.9	42.6
15	11:10	39.2	39.2	54	732	48.9	42.6
16	11:15	40.8	40.8	51	759	46.9	40.3
17	11:20	40.8	44.8	53	671	47	39.2
18	11:25	45.7	45.7	55	686	47.6	40.4
19	11:30	42.1	42.1	56	519	46	40.8
20	11:35	45.5	45.5	57	784	48.9	41.5
21	11:40	46.5	46.5	53	629	50.9	41.2
22	11:45	45.2	45.2	55	612	51.8	47.7
23	11:50	58.1	58.1	51	666	62	56.4
24	11:55	50.2	49.2	44	378	48.6	45.2
25	12:00	50.1	50.1	50	791	52.5	45.6
26	12:05	52.2	50.2	42	888	56.3	48.6
27	12:10	49.5	49.5	40	798	51.2	44.2
28	12:15	54.2	52.2	44	823	55	48.1
29	12:20	49.5	49.5	48	803	50.9	44
30	12:25	51.2	45.7	50	814	52	45.1
31	12:30	43.4	43.4	51	819	50	42.9
32	12:35	48.9	48.9	51	858	53.4	45.9
33	12:40	45.2	45.2	51	810	51.5	44.5
34	12:45	44.7	44.7	50	793	55.7	48.9
35	12:50	52.2	52.2	46	728	51.5	45.2
36	12:55	55.4	55.4	48	247	50.8	48.7
37	13:00	50.1	41.0	49	276	48.6	46.2
38	13:05	49.4	49.4	48	761	47.6	40.2
39	13:10	52.2	52.2	43	749	47.5	41.1
40	13:15	40.2	40.2	42	738	47.2	40.8
41	13:20	40.2	40.2	41	782	49	42.2
42	13:25	40.1	41.5	40	664	46.5	44.6

43	13:30	45.5	45.5	40	725	47.7	41.4
44	13:35	45.5	45.5	38	675	47.7	41.9
45	13:40	45.5	45.5	38	671	46.6	39.1
46	13:45	44.2	44.2	38	708	45.9	39.8
47	13:50	44.2	44.2	37	675	46	40.2
48	13:55	44.2	44.2	39	675	46	39
49	14:00	45.2	45.2	40	629	45.5	40.1
50	14:05	45.2	45.2	44	646	46	37
51	14:10	45.2	45.2	43	606	44.2	39.2
52	14:15	44.2	46.2	42	501	45.5	40.9
53	14:20	46.2	48.2	41	631	46	40.6
54	14:25	50.2	50.2	40	575	45.5	40.5
55	14:30	50.2	50.2	40	571	46.6	41.7
56	14:35	49.1	49.1	40	611	45.5	40.2
57	14:40	55.1	55.1	39	559	44.8	40
58	14:45	54.1	54.1	40	522	43.5	39
59	14:50	50.1	50.1	39	487	44.9	40.7
60	14:55	50.1	50.1	38	531	44.8	40.2
61	15:00	45.2	45.2	37	508	44.7	40.3

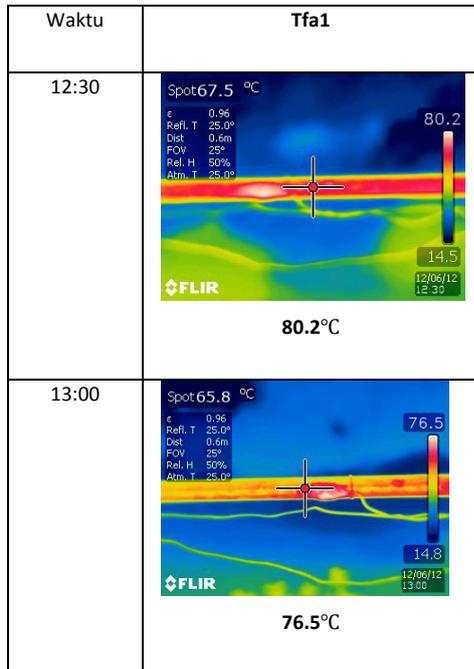
Dapat dilihat dari tabel diatas bahwa untuk radiasi matahari yang paling besar terjadi di tengah hari. Demikian juga dengan hasil kamera maupun perhitungan. Untuk pengambilan radiasi matahari pada tanggal 11 Juni 2012 dapat dilihat bahwa pada no.23 terdapat hasil yang paling besar untuk kamera dan pengambilan termokopel, hal ini disebabkan karena ada penyimpangan pada hasil termokopel pada pengambilan data. Akan tetapi jika kita lihat pada tabel diatas, untuk radiasi matahari yang paling besar didapat hasil TFa1, TFa2, Ta, Tso dan T9 yang juga besar. Sedangkan pada waktu pagi dan sore hari didapat hasil termokopel dan perhitungan yang rendah. Hal ini juga terjadi bila dilihat dari gambar 6 dibawah ini, untuk perhitungan TSo untuk no. 23 dapat dilihat lebih menonjol ke atas dan menunjukkan suhu yang paling tinggi.



Gambar 6. Perbedaan Temperatur menggunakan fluida air tanggal 11 Juni 2012

Untuk gambar Tkolektor dari pukul 10.00 sampai dengan pukul 12.00 terlihat berada diatas garis kamera dan TSo, hal ini disebabkan karena pada waktu tersebut panas sebelum pukul 10.00 terakumulasi pada kolektor tembaga memanaskan air pada jam tersebut. Sedangkan gambar jam 14.30 diatas, terlihat bahwa penggambaran di kamera melebihi perhitungan TSo dan T9, hal ini terjadi karena panasnya kolektor dari tembaga masih tersisa dan ditangkap oleh kamera infrared

Untuk media minyak kelapa sawit dengan properti yang berbeda dari air, pengamatan kamera infrared dapat dilihat pada gambar 7 dibawah



Gambar 7. Hasil Kamera infrared untuk media minyak kelapa sawit pukul 12.30 dan 13.00 pada Tfa1

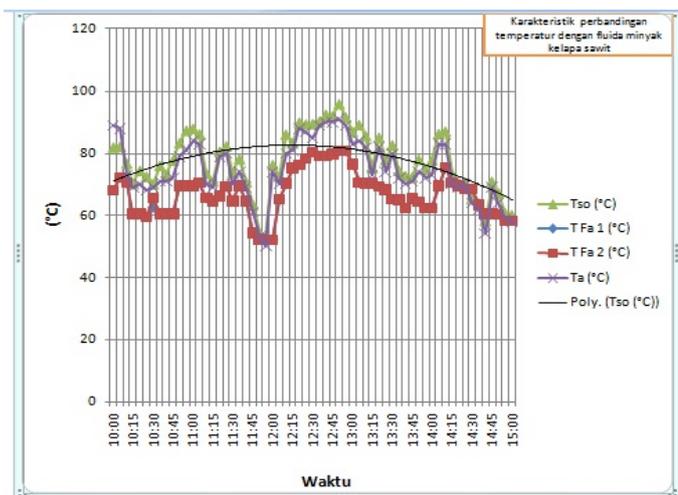
Setelah dihitung dan dibandingkan dengan kamera maka didapat perbandingan hasil dari percobaan pada tabel dibawah ini untuk media air

Tabel 2. perbandingan antara hasil dari kamera infra red, perhitungan dan termokopel untuk media minyak kelapa sawit

NO	JAM	Kamera sensor		Ta (°C)	Irradiasi Matahari (W/m ²)	Tso (°C)	T9 (°C)
		T Fa 1 (°C)	T Fa 2 (°C)				
1	10:00	68.1	68.1	89	464	82	66
2	10:05	72.2	72.2	88	470	82.2	66
3	10:10	70.4	70.4	73	548	76.8	58
4	10:15	60.4	60.4	69	448	70.2	52
5	10:20	60.5	60.5	70	529	74.5	56
6	10:25	59.5	59.5	68	603	72.6	52
7	10:30	62.5	65.5	69	443	70.2	55
8	10:35	60.5	60.5	71	671	76.1	53
9	10:40	60.5	60.5	71	647	73.1	51
10	10:45	60.5	60.5	72	576	77.8	58
11	10:50	69.5	69.5	79	709	83.4	59
12	10:55	69.5	69.5	81	796	87.4	60
13	11:00	69.5	69.5	84	814	88	60
14	11:05	70.5	70.5	83	789	86.2	59
15	11:10	65.5	65.5	70	512	73.6	56
16	11:15	64.5	64.5	69	523	71	53
17	11:20	66.5	66.2	79	803	80.6	53
18	11:25	69.5	69.2	80	826	82.4	54
19	11:30	64.5	64.5	70	547	73.8	55
20	11:35	69.5	69.5	74	647	78.3	56
21	11:40	64.5	64.5	69	549	70.8	52
22	11:45	54.4	54.4	61	457	63.6	48
23	11:50	52.4	52.4	53	338	54.5	43
24	11:55	52.2	52.2	50	287	52.8	43
25	12:00	52.2	52.2	74	802	76.4	49
26	12:05	65.2	65.2	70	543	72.7	54
27	12:10	70.2	70.2	80	788	86.1	59
28	12:15	75.2	75.2	81	646	83.3	61
29	12:20	76.2	76.2	88	782	90	63
30	12:25	78.2	78.2	87	763	89.4	63
31	12:30	80.2	80.2	85	738	89.5	64
32	12:35	79.0	79.0	89	759	90.2	64
33	12:40	79.0	79.0	90	766	92.5	66
34	12:45	79.6	79.6	90	754	92	66
35	12:50	80.6	80.6	91	840	96	67
36	12:55	80.6	80.6	89	742	91.6	66
37	13:00	76.5	76.5	83	726	87	62
38	13:05	70.5	70.5	84	758	89.2	63
39	13:10	70.2	70.2	82	717	85.7	61
40	13:15	70.2	70.2	73	594	75.4	55
41	13:20	69.2	69.2	82	762	85.2	59
42	13:25	68.2	68.2	74	581	78	58
43	13:30	65.2	65.2	80	751	82.7	57
44	13:35	65.0	65.0	72	597	74.5	54
45	13:40	62.4	62.4	70	548	72.8	54
46	13:45	65.4	65.4	71	563	72.4	53
47	13:50	64.4	64.4	74	699	78.1	54
48	13:55	62.4	62.4	72	578	74.9	55
49	14:00	62.4	62.4	73	578	77.9	58
50	14:05	69.4	69.4	83	763	86.3	60
51	14:10	75.4	75.4	83	668	87.1	64
52	14:15	70.4	70.4	70	568	73.5	54
53	14:20	69.4	69.4	69	540	70.4	52
54	14:25	68.4	68.4	70	515	70.7	53
55	14:30	68.4	68.4	64	454	65.5	50
56	14:35	63.4	63.4	62	443	64.1	49
57	14:40	60.4	60.4	54	306	58.4	48

58	14:45	60.4	60.4	69	673	71	48
59	14:50	60.3	60.3	64	593	67.3	47
60	14:55	58.3	58.3	59	434	60.8	46
61	15:00	58.3	58.3	58	420	60.3	46

Dapat dilihat dari tabel diatas bahwa untuk radiasi matahari yang paling besar terjadi di tengah hari. Demikian juga dengan hasil kamera maupun perhitungan. Untuk pengambilan radiasi matahari pada tanggal 12 Juni 2012 dapat dilihat bahwa pada no.35 pada pukul 12.50 (dengan temperatur T_{Fa1}, T_{Fa2}, T_a, T_{so} dan T₉ adalah 80.6, 80.6, 91, 96 dan 67) terdapat hasil yang paling besar untuk kamera dan pengambilan termokopel, Hasil ini Akan tetapi jika kita lihat pada tabel diatas, untuk radiasi matahari yang paling besar didapat hasil T_{Fa1}, T_{Fa2}, T_a, T_{so} dan T₉ yang juga besar. Sedangkan pada waktu pagi dan sore hari didapat hasil termokopel dan perhitungan yang rendah. Hal ini juga terjadi bila dilihat dari gambar 8 dibawah ini, untuk perhitungan T_{so} untuk no. 23 dapat dilihat lebih menonjol ke atas dan menunjukkan suhu yang paling tinggi.



Gambar 8. Perbedaan Temperatur menggunakan fluida air tanggal 12 Juni 2012

Untuk gambar 7, T_{kolektor} dari pukul 10.00 sampai dengan pukul 10.20 terlihat berada diatas garis kamera dan T_{so}, hal ini disebabkan karena pada waktu tersebut panas sebelum pukul 10.00 terakumulasi pada kolektor tembaga memanaskan minyak kelapa pada jam tersebut. Pada gambar ini pula terlihat bahwa untuk radiasi tertinggi, menunjukkan temperatur dari kamera, perhitungan dan termokopel yang tinggi juga.

5. Kesimpulan

Pada gambar 6 dan gambar 8 terdapat kesamaan bentuk atau pola grafik tersebut, hal ini menunjukkan bahwa faktor pengaruh irradiansi atau radiasi diffuse yang dipantulkan oleh panel kolektor pada pipa absorber yang dilewati oleh media berupa minyak kelapa sawit menyebabkan kenaikan temperatur fluida kerja yang sebanding dengan jumlah

irradiansi yang dipantulkan oleh panel sehingga semakin banyak jumlah irradiansi yang mengenai panel solar kolektor maka akan semakin banyak pula energi solar yang diubah menjadi energi panas.

Selain itu media minyak tanah dengan pengamatan kamera sangat sesuai dengan hasil perhitungan dan pengamatan termokopel. Walaupun pengamatan kamera menyebabkan nilai yang berbeda dari hasil perhitungan dan pengamatan termokopel, pengamatan dengan kamera infrared dapat dilakukan untuk identifikasi awal dari panas yang terdistribusi pada kolektor tembaganya.

Untuk pemanfaatan Organic Rankine Cycle (ORC) bertenaga surya maka media minyak kelapa sawit dengan temperatur tertinggi pada medium T₉ 67°C cocok digunakan sebagai media pemasuk untuk Plate Heat Exchanger dengan debit 0.4 LPM

Saran untuk pengambilan kamera infra red, diperlukan pengambilan dari sisi bawah karena pada sisi tersebut sinar matahari dikumpulkan oleh kolektor parabolik sehingga kita bisa mengambil nilai pertengahan dari kamera tersebut.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada mahasiswa S1 dari Universitas Indonesia (Iwan, Regi, Redyas dan Angga) dan Universitas Mercu Buana Jakarta (Jaenal, Syawal dan Zikmal) atas bantuan dalam pengambilan data.

Nomenklatur

Q	Debit aliran rangkaian	(lpm)
\dot{m}	Flow	(kg/s)
T ₁	Data temperatur masuk	(°C)
A _c	Luas pelat absorber	(m ²)
D	Diameter pipa tembaga/absorber	(cm)
t	Tebal pipa absorber	(mm)
L	Panjang	(m)
T _o	Temperatur out	(°C) = T ₉
h	heat transfer coefficient	
q _s ⁿ	irradiansi matahari	(W/m ²)
k	koefisien	(W/m-C)
Re	Bilangan Reynold	
T _{fa1}	Suhu yang diambil Kamera Infrared	(°C)
T _a	Suhu pada termokopel	(°C)

Referensi

- [1] Sumiarso L. Regulasi dan Pengembangan Energi Baru Terbarukan dalam Rangka Energi Bersih. Universitas Mercu Buana, 2011
- [2] Md. Ali Tariq, Experimental Investigation of Scroll Based Organic Rankine Systems, Tesis Master of Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, 2011
- [3] Fernandez Garcia, E Zarza, L Valenzuela, M

- Perez, Parabolic trough solar collector and their applications, *Renewable and Sustainable Energy Review* vol 14 hal 1695-1721(2010)
- [4] B Prawara, S Aiman, A Santoso, A Salim, G Pikra, Development of small scale concentrated solar thermal power plant for isolated regioan, *World Renewable Energy Congress* (2011)
- [5] YB Tao, YL He, Numerical study on couple fluid flow and heat transfer process in parabolic trough solar collector tube, *Solar Energy*, vol 84 hal 1863-1872 (2010)
- [6] Incropera F, Dewit D, Bergman T, Lavine A, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, John Willey & Sons (2007)