

Desain Dan Pengujian Kolektor Surya CPC Berselubung Kaca Sebagai Media Evaporasi Sistem ORC

Dwi Yuliaji^{1)*}, Yogi Sirod Gaoz¹⁾, Tachli Supriyadi¹⁾, Roy Waluyo¹⁾, Mulya Juarsa²⁾,
Muhamad Yulianto³⁾

¹⁾ Laboratorium Engineering Development for Energy Conversion and Conservation (EDfEC)
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun (UIKA) Bogor
Jalan KH Sholeh Iskandar km 2, Kedung Badak, Tanah Sereal, Bogor 16162

²⁾ Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
Gedung 80 Kawasan Puspiptek. Serpong, Tangerang Selatan 15310

³⁾ Bagian Teknik Energi Terbarukan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor
Jalan Raya Darmaga Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstrak

Bagian dari kegiatan penelitian pembangkit Organic Rankine Cycle (ORC) dengan sumber kalor dari radiasi matahari adalah kolektor surya. Tujuan penulisan ini adalah menjelaskan desain kolektor surya dengan menggabungkan dua tipe, yaitu reflektor plat datar dengan concentrated parabolic collector (CPC). Bagian terpenting dari kolektor surya adalah selubung kaca pada receiver yang bertujuan sebagai media evaporasi pada system Organic Rankine Cycle (ORC). Geometri kolektor termal solar memiliki dimensi dengan panjang 1 m, tinggi 0,9 m, lebar alas 0,028 m, lebar tutup 1,16 m. Concentrator merupakan bagian penangkap radiasi matahari dengan model semi silinder tipe CPC dengan bahan AISI 1015 yang dilapisi aluminium foil. Receiver menggunakan pipa tembaga 12,7mm, tebal 20mm, panjang total 3,46 m. Pipa tembaga dibungkus oleh pipa kaca diameter 51,4 mm, tebal 20mm. Dinding reflector menggunakan AISI 201. Isolator terdiri dua lapisan, lapisan dalam menggunakan bahan polistirena foam tebal 20mm dan lapisan luar menggunakan Harmaflek tebal 20mm. Temperatur tertinggi pipa receiver sebelum dialiri fluida 104,4°C pada intensitas cahaya matahari 57,8 flux.

Kata kunci: Kolektor surya, reflektor plat datar, concentrated parabolic collector (CPC), Organic Rankine Cycle (ORC)

Abstract

A Part of the research activity for development of Organic Rankine Cycle (ORC) plant with a heat source from solar radiation aresolar collector. The purpose in this paper is to describe design of solar collector with combining two type of reflector, flat type reflector and concentrated parabolic collector (CPC). Most important part of the solar collector is the glass layer on the receiver which intended as media evaporation in the ORC system. The geometries of solar collector have dimensions of length 1 m, height 0.9 m, width of pedestal 0,028 m, width 1.16 m for cap. Then, concentrator is the part solar radiation catcher using semi-cylinder models type CPC with material AISI 1015 was coated by aluminum foil. Receiver uses a 12,7 mm copper pipe, 20mm thick, total length of 3.46 m. Copper pipe wrapped by a glass pipe with diameter of 51,4mm and thickness 20mm. Wall reflector using AISI 201. Insulation consists of two layers with inner layers using polystyrene foam material with a size of 20 mm thick and the outer layer using Harmaflek with the size of 20mm thick. Highest temperature on receiver pipe without fluid is 104,4°C at solar flux 57,8 flux.

Keywords : solar collector, flat plate reflector, concentrated parabolic collector(CPC), Organic Rankine Cycle (ORC)

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga uap system *Organic Rankine Cycle* (ORC) bukanlah penelitian baru, melainkan sudah dilakukan sejak awal tahun 70an[1]. Sistem ORC yang bersumber dari energi matahari pada tahun-tahun tersebut belum optimal digunakan karena sumber bahan bakar fosil dan gas masih mencukupi sebagai sumber energi. Letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa membuat potensi energy matahari cukup besar, di Indonesia bagian timur mempunyai intensitas radiasi sekitar 5,1 kWh/m² dan bagian barat

mempunyai intensitas radiasi sekitar 4.5 kWh/m² dengan rata-rata 4.8 kWh/m²[2,3].

Umumnya ORC untuk system sederhana memiliki empat komponen utama, yaitu pompa, *evaporator*, turbin dan *kondenser*. Variabel yang banyak dilakukan pada penelitian ORC yaitu: fluida kerja[4,5,6], sumber panas, dan jenis turbin. Sumber panas dari intensitas sinar matahari menjadi pilihan para peneliti karena jumlahnya yang tidak pernah habis, mudah dan murah dalam perawatan dan sangat cocok dengan Indonesia yang beriklim tropis. Intensitas sinar

*Korespondensi: Tel./Fax:-

Email: dwibdw@yahoo.co.id

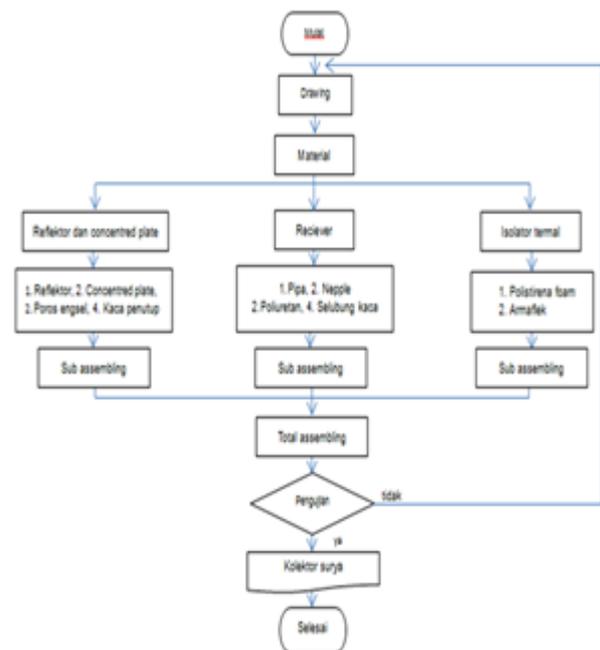
matahari ini dikonversi menjadi sumber panas pada sistem ORC melalui kolektor surya. Kontruksi kolektor surya tipe CPC adalah sistem pengumpulan radiasi sinar matahari pada media yang terkonsentrasi pada satu titik, kemudian dikonversi menjadi energi panas yang selanjutnya dapat diterapkan dalam sistem pembangkit listrik. Sistem ORC pada penelitian ini menggunakan fuida kerja organik R134a, R22 dan MC22 dengansumber panas dari kolektor surya tipe *Concentrated Parabolic collector* (CPC) dengan dua *reflektor*, yaitu plat datar dan semi silinder yang di rakit dalam satu kolektor surya.

Kolektor surya tipe plat datar menggunakan cermin pertama kali disampaikan oleh Tabor[7]. Omar Z. Sharaf dan Mehmet F. Orhan dalam penelitiannya menjelaskan salah satu model kolektor termal solar dengan konsentrasi rendah model plat datar pada dasar kolektor dan dibantu dengan dua *reflektor* penguat dari bahan alumunium, sehingga secara geometri tampak seperti trapesium[8]. Tanaka menyampaikan bahwa kolektor surya dengan plat datar atas dan bawah pada musim panas memiliki penyerapan energi rata-rata sebesar 40%[9,10]. Tanaka juga menyampaikan bahwa kemiringan optimal kolektor surya adalah 30° lintang utara. Pengaruh pantulan sinar matahari pada *reflektor* plat datar atas dan bawah dari bahan alumunium sheet dan aluminium foil pada efisiensi energi dari photovoltaic juga diteliti oleh Kostic *et al*[11]. Li Guiqiang *at al.* membuat geometri kolektor surya dengan reflektor semi silinder dan *reciever* berbentuk plat datar yang terdiri dari lapisan tedlar transparan, polyester tedlar (TPT), ethyl vinyl asetat (EVA), sel-sel silikon tunggal kristal, dan gel silika, kolektor ini memiliki kelebihan dibanding kolektor surya plat datar pada umumnya, seperti efisiensi termal dan listrik secara keseluruhan[12]. Pengembangan berikutnya adalah kolektor surya tipe *concentred* dengan *reciever* pipa berselubung kaca. Manuel I. Gonza'lez dan Luis R. Rodri'guez menggunakan kolektor surya tipe CPC dengan satu pipa tubular sebagai *reciever* pada *Solar powered adsorptionrefrigerator*[13]. Desain kolektor surya tipe CPC dengan dua *concentred* dan *reciever* yang dimasukkan kedalam selubung kaca terletak di titik pusat juga dijelaskan, hal ini terkait isu mengenai kehilangan panas yang terjadi pada desain CPC pada umumnya, penggunaan selubung kaca bertujuan untuk mengurangi area kehilangan radiasi[7]. Selubung kaca berfungsi untuk mengurangi energi yang terbuang karena titik fokus tidak tertangkap oleh pipa *reciever* dan berfungsi sebagai efek rumah kaca. Jumlah dan panjang pipa *reciever* dapat diatur sesuai kebutuhan dengan memperhatikan kelebihan maupun kekurangannya. Kolektor surya dengan geometri yang panjang memiliki kelebihan pada *head loss* yang kecil karena sambungan pipa U

sedikit, namun memiliki kekurangan pada ketersediaan tempat. Kolektor surya dengan geometri lebar maksimal memiliki kerugian pada *head loss* yang besar karena sambungan pipa *reciever* terlalu banyak, namun memiliki kelebihan pada ketersediaan tempat pemasangan.

Potensi energi matahari sebagai sumber panas dalam sistem ORC di Indonesia sangat berpeluang untuk dikembangkan, karena Indonesia berada di garis khatulistiwa yang memiliki pancaran sinar matahari sepanjang tahun. Kolektor surya merupakan bagian penting dalam mengkonversi potensi sinar matahari tersebut menjadi sumber panas dalam sistem ORC. Tujuan makalah ini adalah membuat prototipe kolektor surya dengan menggabungkan dua model yang sebelumnya telah dilakukan banyak peneliti. Model pertama adalah kolektor surya tipe plat datar dimana sinar matahari dipantulkan oleh *reflektor* datar yang terbuat dari alumunium sheet atau aluminium foil yang diterima oleh *reciever* plat datar. Model kedua adalah tipe *concentred*, dimana *refektor* semi silinder akan memantulkan sinar matahari ke satu titik yang diterima oleh *reciever* berselubung kaca. Penggabungan dua model kolektor surya yang diwujudkan pada satu prototipe dalam makalah ini diharapkan akan meningkatkan efisiensi penyerapan intensitas matahari sehingga suplai panas ke *heat exchanger* lebih optimal.

2. Metode Penelitian



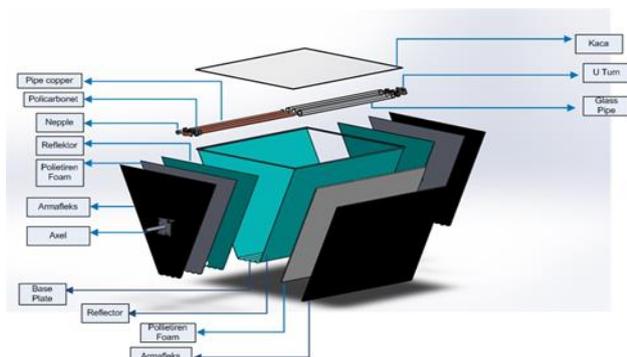
Gambar 1. Flowchart prosedur perakitan kolektor termal solar

Metode perakitan kolektor surya dapat dibagi menjadi dua keputusan, apakah proses perakitan paralel atau seri, isu ini berkaitan dengan

variabilitas proses perakitan produk, kualitas, dan volume. Kontruksi kolektor surya tipe CPC dalam penelitian ini menggunakan proses perakitan paralel yang dijelaskan dalam flowchart pada gambar 1 di atas.. *Concentrated parabolic collector* (CPC) terdiri dari bagian utama, *reflektor* plat datar dan *concentred plate, reciever*, dan *isolator termal*.

2.1 Dimensi dan Parameter

Bagian penting dari kolektor surya berturut-turut adalah *reciever* terbungkus selubung kaca yang berfungsi sebagai media evaporasi pada sistem ORC, media *reflektor*, dan isolator termal, yang diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Prototipe kolektor surya

Tabel 1 adalah daftar kuantitas dan dimensi bahan yang dibutuhkan untuk membuat satu prototipe kolektor surya tipe CPC.

Tabel 1. Material Kolektor Surya

Bagian	Dimensi	Jumlah
Reflektor dan Concentred Plate		
Reflektor SS 201	P : 1,21 m, L : 1 m, T : 1 mm	2 buah
Reflektor AISI 1015	L atas : 1,17 m, L bawah : 0,27 m, h : 0,9 m	2 buah
Concentred plate	P : 1,22 m, L : 0,07 m	4 buah
Poros engsel	D : 19 mm, P : 0,2 m	2 buah
Kaca penutup	P : 1,255 m, L : 1,190 m, T : 5 mm	1 buah
Reciever		
Pipa tembaga	D : 12,85 mm, P : 1 m	3 buah
Sambungan U	D : 12,85 mm, P : 1 m	2 buah
Nepple	D : 12,85 mm, P : 1 m	6 buah
Poliuretan	D luar : 51,4 mm, D dalam : 12,85 mm	6 buah
Selubung kaca	D : 51,4 mm, P : 1 m	3 buah
Isolator Termal		
Polistirena Foam	P : 1,230 m, L : 1,02 m, T : 20 mm	2 buah
	P : 1,23 m, L : 0,28 m, T : 20 mm	1 buah
	L atas : 1,17 m, L bawah : 0,27 m, h : 0,94 m	2 buah
Armafleks	P : 1,25 m, L : 1,04 m, T : 20 mm	2 buah
	P : 1,23 m, L : 0,28m, T : 20 mm	1 buah
	L atas : 1,19 m, L bawah : 0,29 m, h : 0,96 m	2 buah

2.2 Pembuatan ReflektorPlat Datar dan Concentred Plate

Reflektor plat datar, dan *concentred plate* merupakan rangka utama sebagai media penangkap radiasi matahari. Geometri kolektor surya memiliki dimensi dengan panjang 1 m, tinggi 0,9 m, lebar alas 0,028 m, lebar tutup 1,16 m.

Reflektor dibuat dari bahan SS 201 pada dinding panjang ukuran 1,21x1 m dan AISI 1015 pada dinding pendek dengan bentuk trapesium

ukuran lebar atas 1,16 m lebar bawah 0,28 m, tinggi 0,9 m.



Gambar 3. (a) Reflektor plat datar AISI 1015, (b) Reflektor plat datar SS 201

Concentred plate dibuat dari pipa 4 inch, dipotong melintang dengan panjang 1,21 m, kemudian dipotong membujur sampai didapat dimensi semi silinder ukuran lebar 0,07 m, tinggi 0,01 m. Empat *concentred plate* disambung menggunakan pengelasan TIG, pengelasan dilakukan dengan memperhatikan penguat di beberapa titik supaya tidak terjadi tegangan sisa. Finishing dengan grinding sehingga pada sambungan lurus dan rata.



Gambar 4. (a) Pipa 4 inch, (b) Geometri reflektor, (c) Reflektor semi silinder

Poros engsel terpasang pada dinding trapesium, berfungsi sebagai engsel kolektor untuk mencari titik pusat sinar datang dari matahari. Plat baja ukuran 0,2x0,2m tebal 5 mm yang diberi lubang diameter 8 mm untuk pemasangan baut ke bodi kolektor. Poros diameter 19 mm terpasang pada pusat plat baja dengan penyambungan las. Poros engsel diperlihatkan pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Poros engsel

Kaca ukuran 1,26x1,2m tebal 5 mm dipasang sebagai penutup kolektor surya, pemasangan kaca dilakukan dengan menumpu pada bagian atas kolektor kemudian dijepit sehingga tidak ada kalor yang keluar melalui sela-sela kaca.



Gambar 6. Kaca penutup kolektor

2.3 Pembuatan Reciever

Reciever sebagai media evaporator terdiri dari beberapa komponen yang dirakit, yaitu pipa reciever, nepple, poliuretan, dan selubung kaca.

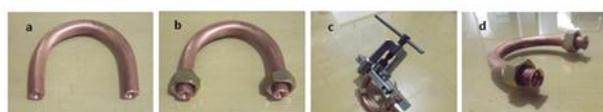
Pipa reciever panjang 1 m, setiap ujung pipa reciever di lakukan proses *flaring tube* untuk dirakit dengan sambungan U. Nepple dimasukan terlebih dahulu ke dalam batang pipa reciever, kemudian dilakukan proses *flaring tube*. Jumlah pipa reciever dalam satu kolektor tersusun tiga baris mengikuti pertemuan antara masing-masing *concentred plate*. Urutan kerja pipa reciever dijelaskan pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. (a) Pipa reciever, (b) Nepple terpasang pada pipareciever

(c) Proses *flaring tube*, (d) Hasil *flaring tube*

Sambungan U antara pipa reciever dibuat dengan melakukan proses bending pada pipa reciever diameter 12,85 mm, jarak titik pusat diameter pipa reciever yang diperoleh dari hasil bending adalah 0,07 m sesuai dengan lebar dari *concentred plate*. Ujung sambungan U dilakukan proses *flaring tube* juga, yang sebelumnya nepple dimasukan kedalam pipa sambungan U. Urutan kerja pembuatan sambungan U dijelaskan pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. (a) Sambungan U pipa reciever, (b) Nepple terpasang pada sambungan U, (c) Proses *flaring tube*, (d) Hasil *flaring tube* pada sambungan U

Kaca selubung diemeter dalam 51,4 mm, tebal 1,8 mm, dan panjang 1 m digunakan sebagai media selubung pipa reciever. Efek rumah kaca akan diterjadi di dalam selubung kaca, sehingga efektifitas penyerapan termal oleh pipa reciever menjadi lebih maksimal.

Poliuretan digunakan untuk menahan selubung kaca dengan pipa reciever, dan sebagai sekat supaya udara tidak keluar dari selubung sehingga efek rumah kaca terjadi di ruangan ini. Poliuretan diameter luar 51,4 mm, diameter dalam 12,85 mm, dan tebal 10 mm.



Gambar 9. Kaca selubung pipa reciever

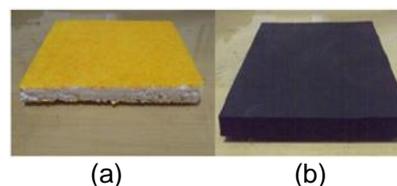


Gambar 10. Poliuretan

2.4 Pemasangan Isolator Termal

Isolator dinding luar dari kolektor menggunakan dua lapis, lapisan dalam menggunakan polisterena foam ukuran panjang 1,230 m, lebar 1,02 m, dan tebal 20 mm, jumlah dua buah untuk dinding reflektor bahan SS 201. Polisterena bentuk trapesium lebar atas 1,17 m, lebar bawah 0,27 m, dan tinggi 0,94 m, jumlah dua buah. Polisterena foam pada dasar kolektor ukuran panjang 1,23 m, lebar 0,28 m, tebal 20 mm.

Lapisan luar menggunakan armaflek, untuk dinding panjang ukuran panjang 1,25 m, lebar 1,04 m, dan tebal 20 mm. Armafleks bentuk trapesium lebar atas 1,19 m, lebar bawah 0,29 m, dan tinggi 0,96 m. Ukuran isolator dasar kolektor panjang 1,23 m, lebar 28 m, dan tebal 20mm.



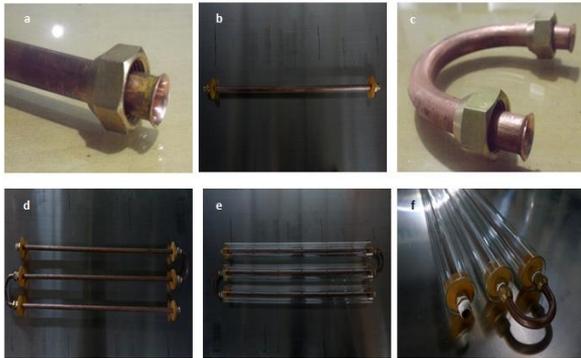
Gambar 11. (a) Isolator polistirena Foam, (b) Isolator armaflek

3. Hasil Dan Pembahasan

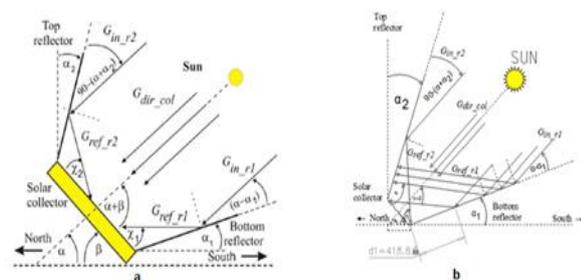
Komponen reciever yang telah dibuat selanjutnya dirakit menjadi satu kesatuan. Pipa reciever panjang 1 m yang sebelumnya diberi poliuretan kemudian di proses *flaring* dirakit dengan sambungan U, sehingga membentuk tiga baris pipa. Selubung kaca dipasang pada masing-masing pipa dan disekat dengan poliuretan. Urutan perakitan reciever dijelaskan pada gambar 12 .

Kolektor surya yang ditawarkan oleh Kumar at al[14] memberikan analisa mengenai efek reflektor plat datar pada kolektor surya. Empat buah reflektor dari bahan alumunium dipasang pada reflektor untuk memaksimalkan energi matahari, seperti diperlihatkan pada gambar 13.a, dan diagram skematik kolektor surya hasil pengembangan diperlihatkan pada gambar 13.b, yang mana perubahan pada dasar kolektor, yaitu dasar kolektor tersusun tiga buah *concentred* semi silinder dengan pipa reciever terbungkus selubung kaca yang terletak pada pusat pertemuan *concentred* semi silinder. Selubung

kaca berfungsi untuk mengurangi energi yang terbangun karena titik fokus tidak tertangkap oleh pipa *reciever* dan berfungsi sebagai efek rumah kaca.



Gambar 12. Urutan pemasangan receiver,
(a) Pipa receiver setelah proses flareing,
(b) Pipa receiver terpasang poliuretan,
(c) Sambungan U setelah proses flareing,
(d) Pipa receiver terpasang tiga baris,
(e dan f) Pipa receiver terpasang selubung kaca

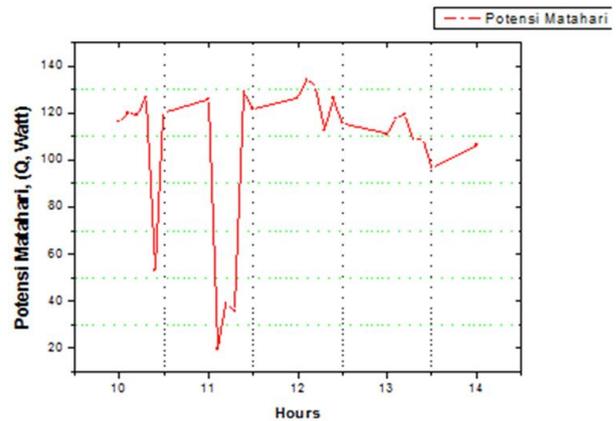


Gambar 13. a) Diagram skematik kolektor surya pelat datar atas dan bawah reflektor[14], b) Diagram skematik prototipe kolektor

Pengujian prototipe kolektor solar termal dilakukan di lingkungan Universitas Ibn Khaldun Bogor yang terletak pada 06°33'38"LS 106°47'32" BT, tanggal 31 Mei 2015 pukul 10.00 sampai dengan 14.00 WIB. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tempertaur masing-masing bagian yaitu dinding reflektor, pipa receiver, suhu ruangan, dinding isolasi, air masuk, dan air keluar.

Temperatur tertinggi pada masing-masing bagian kolektor termal solar sebagai berikut; tempertaur reflektor tertinggi adalah 85,7°C, selisih antara air masuk dengan air keluar adalah 2,5°C dengan temperatur air masuk 52,8°C dan temperatur air keluar 55,3°C pada pukul 13.20 WIB dengan temperatur pipa receiver sebesar 40,4°C. Selisih temperatur antara dinding reflektor dengan isolator adalah 33,9°C dengan rata-rata temperatur reflektor 78,3°C dan isolator 44,4°C.

Pengukuran potensi matahari saat pengujian juga dilakukan mulai pukul 10.00 sampai dengan 14.00 WIB dengan kondisi variatif tergantung pengaruh cuaca, hasil pengukuran ditampilkan pada grafik berikut.



Gambar 14. Potensi matahari berdasarkan waktu pengambilan data

Potensi matahari, Q watt tertinggi terjadi pada pukul 12.10 WIB sebesar 134,1 W/m², rata-rata potensi matahari sebesar 105,65 W/m²

4. Simpulan

Prototipe kolektor surya hasil rancang bangun merupakan penggabungan dua tipe kolektor surya pada umumnya. Reflektor plat datar dengan bahan SS 201 bersifat seperti cermin, dengan luas yang dimiliki akan memantulkan sinar ke reflektor semi silinder pada dasar kolektor, walaupun pantulan tidak bersifat *concentred*, namun semua akan jatuh pada *reflektor* semi silinder. *Reflektor* semi silinder menerima pantulan sinar matahari dari *reflektor* plat datar dan sinar matahari secara langsung, sinar yang datang akan dipantulkan secara *concentred* ke *reciever* tembaga berselubung kaca. Geometri kolektor suryamemilikidimensipanjang 1 m, tinggi 0,9 m, lebar alas 0,028 m, lebartutup 1,16 m. Pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 31 Mei 2015 menghasilkan potensi matahari 105,65 W/m², temperatur rata-rata reflektor plat datar 78,3°C, temperatur rata-rata isolator 44,49°C. Temperatur tertinggi pipa receiver sebelum dialiri fluida 104,4°C pada intensitas cahaya matahari 57,8 klux.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian yang dijelaskan dalam makalah ini telah didukung oleh Penelitian Hibah Strategi Nasional (Stranas) Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah IV Tahun Anggaran 2015 Nomor 1008/K4/KM/2015, tanggal 31 Maret 2015

Daftar Pustaka

- [1] Guoquan Qiu, Yingjuan Shao, Jinxing Li, Hao Liu, Saffa.B. Riffat, *Experimental investigation of a biomass-fired ORC-based micro-CHP For domestic application*, Fuel 96 374-384, 2012.

- [2] Harmut Speliethoff, Andreas Schuster. *The organic Rankine Cycle-power production from low temperature heat, Electricity generation, combined heat power*, Strasbourg, 14-16 September 2006.
- [3] J.M. Lujan, J.R. Serrano, V. Dolz, J. Sanchez. *Model expansion process for R245fa in an Organic Rankine Cycle*. Applied Thermal Engineering 40 248-257, 2012.
- [4] Gaos Sirodz, Yogi, Mulya Juarsa., Edi Marzuki., Muhamad Yulianto. *Pemilihan Fluida Kerja Pada pengembangan Organic Rankine Cycle*, Proceeding Thermofluid UGM, 2013.
- [5] Juarsa, Mulya, Seftian Haryadi., Muhamad Yulianto., Edi Marzuki., Yogi Sirodz Gaoz. *Analysis on ORC Performance with R134a as Working Fluid Using Computer Simulation Base and Experimental Data of Water Mass Flow Rate Variation in Solar-Thermal Collector Plate Type*. Proceeding Thermofluid UGM, 2013.
- [6] Muhamad, Yulianto, Yogi Sirodz Gaos., Mulya Juarsa., Edi Marzuki. *Analisa Efisiensi pada fluida kerja berdasarkan variasi temperature masuk turbin pada pengembangan Organic Rankine Cycle*. Proceeding Thermofluid UGM, 2013.
- [7] Tabor H. *Mirror boosters for solar collectors*. Sol Energy 10(3):111e8, 1966.
- [8] Omar Z. Sharaf, Mehmet F. Orhan. *Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems, Part II – Implemented systems, performance assessment, and future directions*, Elsevier, -.
- [9] Tanaka H. *Solar thermal collector augmented by flat plate booster reflector: optimum inclination of collector and reflector*. Appl Energy, 88(4):1395e404, 2011.
- [10] Tanaka H. *Theoretical analysis of solar thermal collector with a flat plate bottom booster reflector*. Energy Sci Technol;2(2):26e34, 2011.
- [11] Kosti_c LjT, Pavlovi_c TM, Pavlovi_c ZT. *Influence of reflectance from flat aluminum concentrators on energy efficiency of PV/thermal collector*. Appl Energy 87(2):410e6, 2010.
- [12] Li Guiqiangab, Pei Gangab, Yuehong Sub, Zhou Xia, Ji Jiea. *Preliminary study based on building-integrated compound parabolic concentrators (CPC) PV/thermal technology*. Energy Procedia 14 343 – 350, 2012.
- [13] Manuel I. Gonzalez *, Luis R. Rodriguez. *Solar powered adsorption refrigerator with CPC collection system: Collector design and experimental test*. Energy Conversion and Management 48 2587–2594, 2007.
- [14] Kumar R, Kaushik SC, Garg HP. *Analytical study of collector solar-gain enhancement by multiple reflectors*. Energy, 20 (6):511e22, 1995.