

Investigasi Eksperimental Pengaruh Laju Aliran Massa Air Pada Solar Termal Tipe CPC

Edi Marzuki^{1)*}, Mokhammad Nur Khasan¹⁾, Yogi Sirodz Gaos¹⁾,
Mulya Juarsa²⁾, Muhamad Yulianto³⁾

¹⁾Laboratoium 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

Optimasi penggunaan energi matahari masih perlu ditingkatkan, salah satunya dengan menggunakan kolektor surya. Panas yang diterima digunakan sebagai sumber kalor untuk sistem pembangkit *Organic Rankine Cycle* (ORC). Kegiatan penelitian diawali dengan desain, konstruksi, dan pengujian kolektor termal solar, tipe *concentrated parabolic collector* (CPC). Banyak parameter yang mempengaruhi capaian temperatur pada CPC, salah satunya laju aliran. Tujuan penulisan makalah adalah untuk menentukan temperatur optimal CPC berdasarkan perubahan laju aliran secara eksperimen. Investigasi secara eksperimental dilakukan untuk dapat memanfaatkan potensi radiasi matahari yang bisa mencapai 5,2 kWh/m² sebagai media evaporasi pada sistem pembangkit ORC yang merupakan langkah awal penelitian. Kolektor surya tipe CPC yang digunakan memiliki geometri panjang 1 m, tinggi 0,9 m, lebar alas 0,028 m, lebar tutup 1,16 m. *Solar collector* dilapisi dua bahan yang berbeda yaitu *polistirena foam* dengan tebal 0,02 m dan *armaflex* dengan tebal 0,02 m. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengukuran besaran radiasi dan temperatur pada dinding kolektor, temperatur masuk air, dan temperatur keluar air. Pengambilan data radiasi matahari menggunakan *lux meter* dan temperatur menggunakan *thermocouple* tipe K. Hasil dari penelitian ini adalah temperatur capaian maksimum terjadi ketika laju aliran massa air paling rendah.

Kata kunci: Kolektor surya, CPC, temperatur, laju aliran, ORC

Abstract

Optimization of solar energy utilization is still needs to be improved, either by using solar collectors. Absorbed heat will use as a heat source for an *Organic Rankine Cycle* (ORC) plant system. Research activities begins with the design, construction, and testing of solar thermal collectors, the type of *concentrated parabolic collector* (CPC). Many parameters that affect the achievement of the temperature on the CPC, one of which flow rate. The purpose in this paper is to determine the optimal temperature CPC based on changes in flow rate experimentally. Experimental investigation has been done to exploit the potential of solar radiation that could reach 5.2 kWh/m² as evaporation media in ORC plant system as the first step of the study. The CPC solar collectors type has geometries with length 1 m, height 0.9 m, width of pedestal 0,028 m, and width 1.16 m cap. Solar collector coated with two different materials, namely polystyrene foam with a thickness of 0.02 m and *armaflex* with a thickness 0.02 m. The data collection was performed by measuring the amount of radiation and temperature on the collector wall, the water inlet temperature, and water outlet temperature. Measurement for solar radiation was conducted using a *lux meter*, and temperature using a *thermocouple* type K. The results of this study shows that the highest of temperature achievement is occurs for the lowest mass flow rate.

Keywords: Solar collector, CPC, temperature, flow rate, ORC

1. Pendahuluan

Sumber energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara semakin terbatas dan berdampak yang serius terhadap polusi udara dan pemanasan global[1] dan salah satu cara mengurangnya dengan penggunaan sumber energi terbarukan seperti pemanfaatan panas buang (*thermal waste*) sebagai upaya mengoptimasi penggunaan energi berbahan bakar fosil. Penelitian dan pengembangan potensi ini di Indonesia telah

banyak dilakukan salah satunya oleh Denny Widhiyanuriyawan, dkk., serta Warjito, dkk. dimana potensi angin di Indonesia mencapai 2 m/s hingga 4.16 m/s[2,3]. Potensi sumber energi panas bumi sebesar 28.112 MWe[4] yang terbesar di dunia. Demikikian juga dengan potensi energi matahari cukup besar dimana intensitas radiasi di Indonesia bagian timur sekitar 5,1 kWh/m² dan di bagian barat sekitar 4.5 kWh/m² dengan rata-rata 4.8 kWh/m²[5,6].

*Korespondensi: Tel./Fax.: 6281298523212/-
E-mail: edi.marzuki@ft.uika-bogor.ac.id
©Teknik Mesin Universitas Udayana 2016

Organic Rankine Cycle disingkat ORC, dikembangkan oleh William John Macquorn Rankine pada Desember 1872 yang salah satu penelitiannya adalah pemilihan fluida kerja R245fa, R123, isobutane, dan R134a yang dievaporasi dengan memanfaatkan panas dari radiasi sinar matahari menggunakan kolektor surya tipe plat datar dan diperoleh hasil bahwa R245fa dan R123 adalah fluida kerja paling baik performancinya secara simulasi karena mampu menghasilkan efisiensi sebesar 7,25%[7]. ORC merupakan pengembangan dari siklus Rankine konvensional dengan memanfaatkan sumber panas yang memiliki temperatur rendah seperti panas pembuangan industri, pembuangan kondensor AC, dan panas sisa pembangkit listrik[8,9]. ORC secara sederhana memiliki empat komponen utama, yaitu pompa, *evaporator*, turbin dan *kondenser*. Keuntungan sistem ORC dibandingkan sistem pembangkit lainnya adalah lebih ekonomis dan tidak menimbulkan polusi.

Penelitian tentang ORC banyak dilakukan pada tiga variabel yaitu: **fluida kerja, sumber panas, dan jenis turbin**. Pemilihan fluida kerja ORC harus disesuaikan dengan sumber panas yang digunakan dan tekanan kerja yang diberikan, dan juga memenuhi beberapa persyaratan seperti tidak beracun, tidak mudah terbakar, mudah didapatkan, ekonomis, dan memiliki sifat termodinamika yang baik. Menurut E.H Wang A. fluida kerja R245fa dan R245ca adalah yang paling cocok karena mempunyai dampak negatif paling rendah sehingga aman untuk lingkungan, dan optimasinya ORC pada pembangkit listrik tenaga uap sudah dilakukan sejak awal tahun 70an[10]. Secara luas digunakan untuk memproduksi daya dari berbagai sumber panas yang berbeda, salah satunya adalah menerapkan ORC ke menghasilkan listrik dari sumber panas matahari, Tchanche dkk [11].

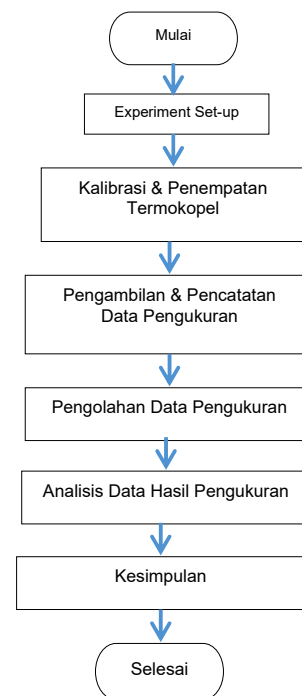
Penelitian yang akan dilakukan terkait ini merupakan bagian dari penelitian yang didanai oleh Departemen Pendidikan dan Kebudayaan melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi dalam skema Hibah Strategis Nasional (STRATNAS) tahun 2015, dengan tiga tahap pelaksanaan, yaitu: Tahap pertama adalah penentuan sumber panas, tahap kedua adalah penentuan jenis fluida kerja organik, tahap tiga adalah tahapan perancangan sistem pembangkit ORC. Sumber panas yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan panas yang berasal dari intensitas radiasi sinar matahari karena sumber panas matahari dengan menggunakan kolektor surya (*solar collector*).

Berdasarkan dari state of the art dari penelitian ORC maka terdapat peluang untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga uap sistem ORC dengan fluida kerja dari R134a, R22 dan MC22 dengan evaporator dari solar collector tipe semi-silinder.

Beberapa variasi penelitian yang terkait dengan sistem ORC hingga saat ini ORC dengan fluida kerja organik R134a, R22 dan MC22 dengan pemanas dari kolektor surya tipe *Concentrated Parabolic collector* (CPC) belum pernah dilakukan oleh peneliti lainnya dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia terutama pada daerah terpencil yang saat ini tidak mendapat pasokan listrik. Penggunaan kolektor surya tipe CPC menjadi pilihan dibandingkan jenis kolektor surya lainnya karena efisiensinya lebih tinggi. Kolektor solar termal digunakan sebagai media untuk mengumpulkan radiasi sinar matahari yang selanjutnya digunakan untuk meningkatkan temperatur fluida kerja, kemudian dikonversi menjadi energi panas yang selanjutnya dapat diterapkan dalam sistem pembangkit listrik.

2. Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode ekperimental dimana hasil yang diperoleh adalah hasil data pengukuran perubahan temperatur yang terjadi pada komponen-komponen dari solar collector. Selanjutnya hasil pengukuran tersebut dibuat grafik-grafik hasil pengukuran untuk mengetahui pola perubahan temperatur dan memperoleh optimasi dari solar collector yang digunakan. Diagram alir pada penelitian ini seperti digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pengambilan data eksperimen

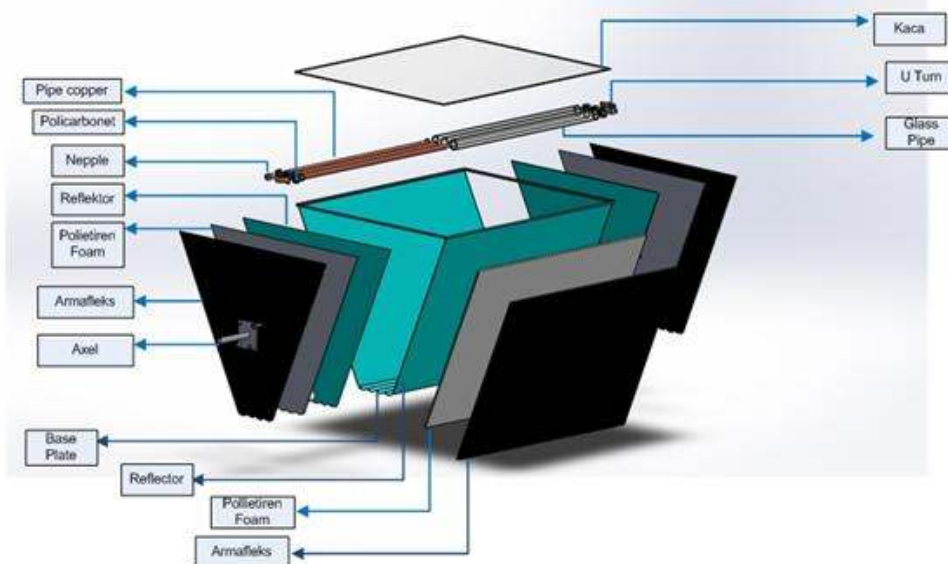
2.1. Fasilitas Eksperimen

Fasilitas eksperimen yang digunakan berupa kolektor surya (solar collector) tipe *concentrated parabolic collector* (CPC) dengan ukuran geometri panjang 1 m, tinggi 0,9 m, lebar alas 0,028 m, lebar tutup 1,16 m. *Solar collector* dilapisi dua bahan yang berbeda yaitu *polistirena foam* dengan tebal 0,02 m dan *armaflex* dengan tebal 0,02 m, *Concentrated parabolic collector* (CPC) terdiri dari bagian utama, *reflektor* plat datar dan *concentred plate*, plat tembaga (*reciever*), dan *isolator termal* seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.

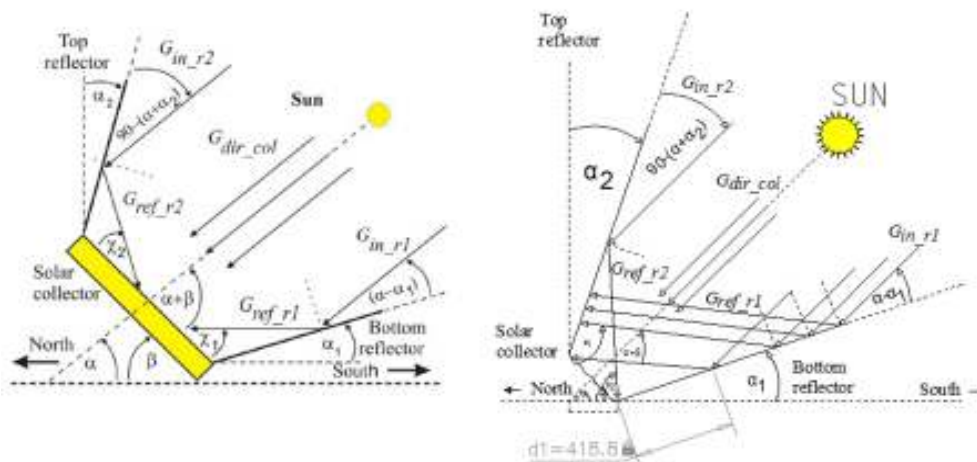
Konstruksi purwarupa (prototype) solar collector yang digunakan adalah pengembangan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Manuel I. Gonza'lez dan Luis R. Rodri'guez menggunakan kolektor termal tipe CPC dengan satu pipa tubular sebagai *reciever* pada Solar powered adsorption refrigerator[12]. Omar Z. Sharaf dan Mehmet F. Orhan dalam penelitiannya menjelaskan salah

suatu model kolektor surya dengan konsentrasi rendah model plat datar pada dasar kolektor dan dibantu dengan dua reflektor penguat dari bahan aluminium, sehingga secara geometri tampak seperti trapesium, dan desain kolektor termal tipe CPC dengan dua *concentred* dan *reciever* yang dimasukkan ke dalam 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[13]. Kumar at al. memberikan analisa mengenai efek reflektor plat datar pada kolektor termal pada bulan Mei dan Desember di Delhi[14].

Empat buah reflektor dari bahan aluminium dipasang pada reflektor untuk memaksimalkan energi matahari, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Konstruksi purwarupa (*prototype*) solar collector



Gambar 2. a) Diagram skematik kolektor surya pelat datar atas dan bawah reflektor [11], b) Diagram skematik prototipe kolektor

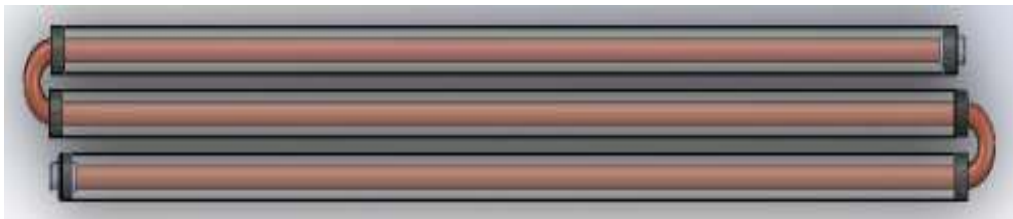
Bagian dalam solar collector ditempatkan pipa-pipa tembaga yang didalamnya akan dialirkan fluida (air) yang temperaturnya akan mengalami kenaikan setelah melewati pipa tembaga (sisi keluar) akibat adanya penyerapan kalor akibat pancaran radiasi sinar matahari yang tertangkap di dalam solar collector. Fluida (air) yang telah mengalami kenaikan temperatur akan difungsikan sebagai sumber panas di bagian evaporator dari sistem ORC.

Adapun ukuran diameter luar pipa $\frac{1}{2}$ inci dengan ketebalan pipa 1 mm dan panjang pipa tembaga 3 m dengan tiga lekukan pipa menggunakan sambungan ulir (double niple). Pipa ditutup menggunakan selubung kaca berukuran diameter luar 50 mm dengan ketebalan

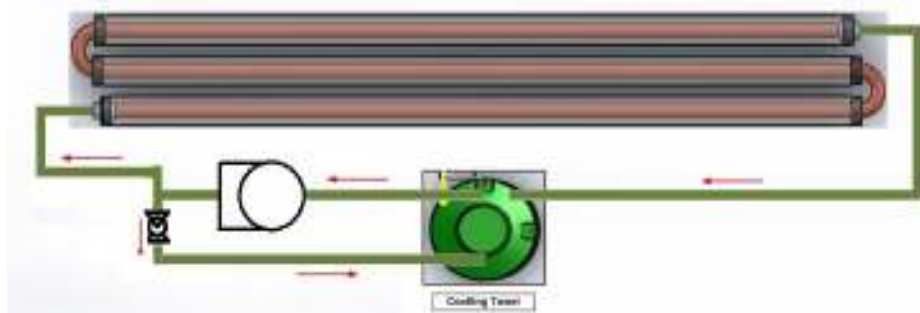
kaca 2 mm dengan tujuan agar pantulan radiasi sinar matahari dapat tertahan dan kembali memantul dengan susunan seperti ditunjukkan Gambar 4.

Pipa tembaga dihubungkan dengan pompa air berkapasitas 10-24 liter/menit untuk mengatur laju aliran fluida (air) dengan mengatur katup, dengan skema pengambilan data eksperimen seperti pada Gambar 5.

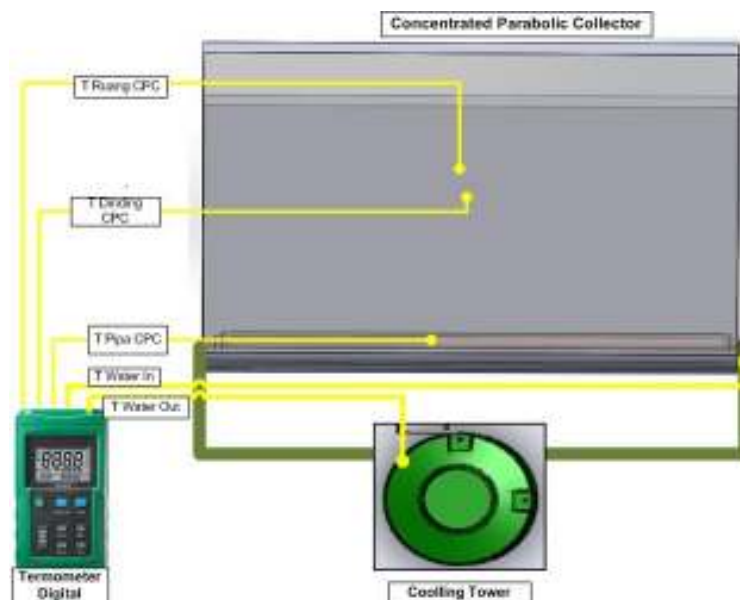
Pengukuran data temperatur menggunakan termokopel tipe K dengan pencatatan hasil pengukuran menggunakan termometer digital pada 6 titik bagian sistem solar collector, dan untuk intensitas radiasi sinar matahari menggunakan lux meter. Posisi pengambilan data pengukuran seperti ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 4. Konstruksi pipa tembaga (*receiver*)



Gambar 5. Skema aliran fluida (air)



Gambar 6. Posisi peletakan termokopel

Desain awal solar collector direncanakan berjumlah minimal empat buah dengan besar temperatur di dalam ruang solar collector diharapkan mampu mencapai minimal 90°C , dan beda temperatur yang diharapkan antara sisi masuk pipa tembaga sebesar 68°C dan sisi keluar pipa tembaga sebesar 75°C .

2.2. Prosedur Eksperimen

Pengambilan data eksperimen dilakukan di lingkungan Universitas Ibn Khaldun Bogor yang terletak pada $06^{\circ}33'38''$ LS dan $106^{\circ}47'32''$ BT, dengan waktu pengambilan data pada tanggal 28–31 Mei 2015 dan dimulai dari pukul 10.00 wib sampai dengan pukul 14.00 wib dengan selang pengambilan data pengumpulan setiap 10 menit.

Pengujian masih satu buah purwarupa (*prototype*) solar collector dan dilakukan untuk mengetahui temperatur pada masing-masing bagian dari solar collector, yaitu: temperatur dinding dalam solar collector (reflektor), temperatur pipa tembaga (*reciever*), temperatur ruangan solar collector, temperatur dinding luar solar collector (dinding isolator), temperatur air masuk pipa tembaga, dan temperatur air keluar pipa tembaga masih menggunakan sebuah solar collector.

Data pengukuran diambil dengan memperhitungkan besar lajuran aliran massa air dengan cara mengatur bukaan katup dan pipa keluar pompa pun dilengkapi dengan sambungan T sebagai saluran *by-pass*. Laju aliran massa yang dipakai adalah dengan besar 0,04 liter/s, 0,18 liter/s, dan 0,4 liter/s.

Sebelum dilakukan pengambilan data wadah air diisi dengan air sebanyak 30 liter, lakukan pemeriksaan pada sistem pada sambungan untuk mencegah kebocoran. Posisi solar collector

dihadapkan ke arah datangnya sinar matahari (dan dilakukan kalibrasi posisi kolektor mengikuti posisi datangnya arah sinar matahari).

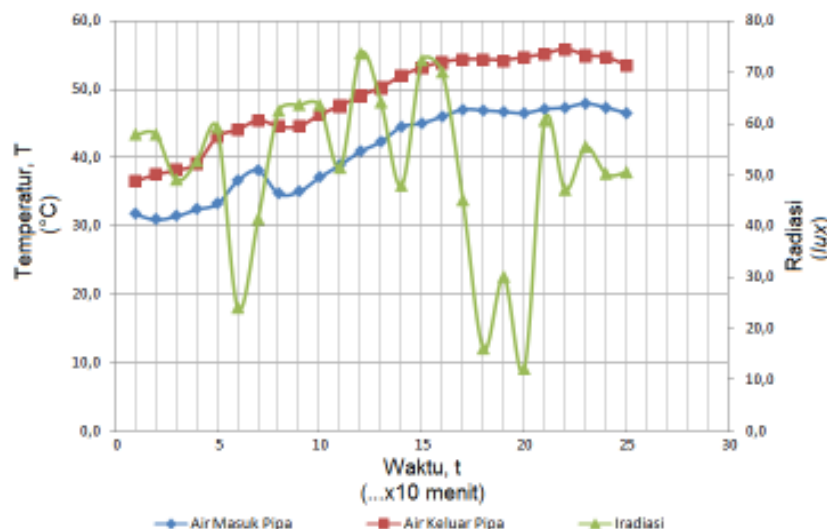
Data hasil pengukuran kemudian dicatat dan diolah menggunakan perangkat lunak (*software*) pengolah data dan akan diperoleh grafik hasil pengukuran.

3. Hasil dan Pembahasan

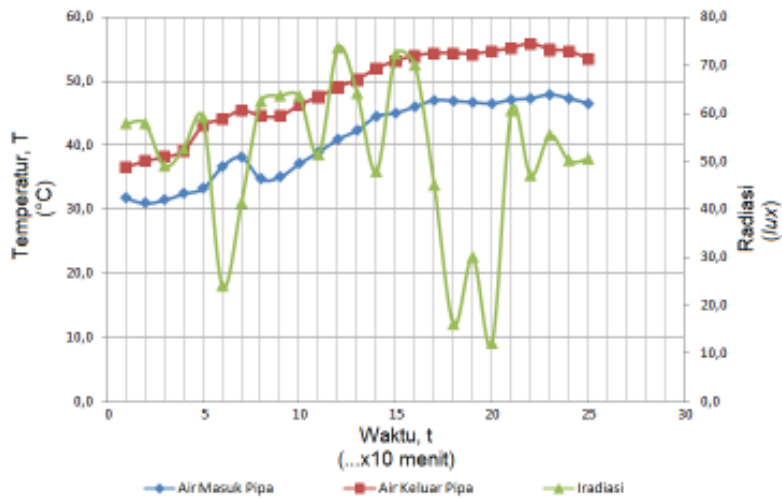
Hasil pengukuran pada dasarnya dilakukan pada 6 titik pengukuran, dengan grafik-grafik pada Gambar 7 sampai 13.

Gambar 7 menunjukkan pada pengambilan data ke-11 (menit ke-110) sampai dengan pengambilan data ke-16 (menit ke-160) temperatur air keluar pipa tembaga mengalami penurunan, hal ini disebabkan pada pengambilan data ke-8 (menit ke-80) sampai dengan pengambilan data ke-11 (menit ke-110) terjadi penurunan intensitas matahari selama ± 30 menit, walaupun pada pengambilan data ke-5 (menit ke-50) sampai dengan pengambilan data ke-6 (menit ke -60) sempat terjadi penurunan intensitas matahari tetapi waktunya hanya berlangsung selama ± 10 menit.

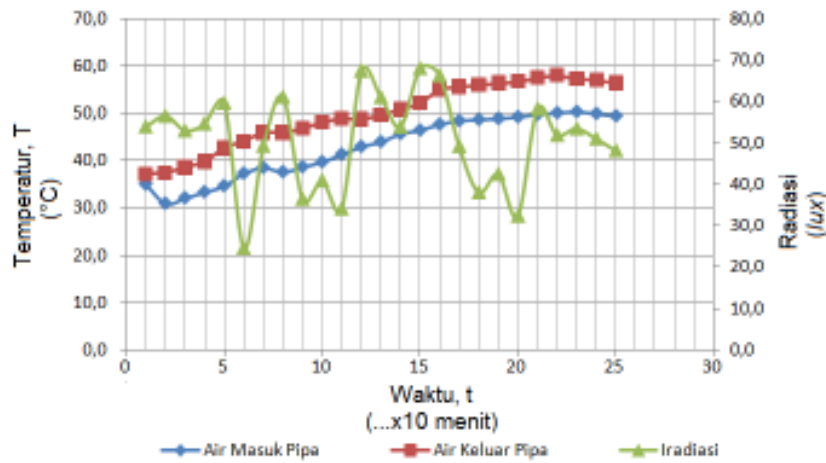
Gambar 8 menunjukkan pada pengambilan data ke-7 (menit ke-70) sampai dengan pengambilan data ke-9 (menit ke-90) temperatur air keluar pipa tembaga mengalami penurunan, hal ini disebabkan pada pengambilan data ke-5 (menit ke-50) sampai dengan pengambilan data ke-6 (menit ke-60) terjadi penurunan intensitas matahari selama ± 10 menit, dan pada waktu yang sama terjadi pula penurunan temperatur air masuk pipa, hal diperkirakan akibat dari laju aliran massa air yang berubah dari pengambilan data sebelumnya yaitu dari 0,04 liter/s menjadi 0,18 liter/s.



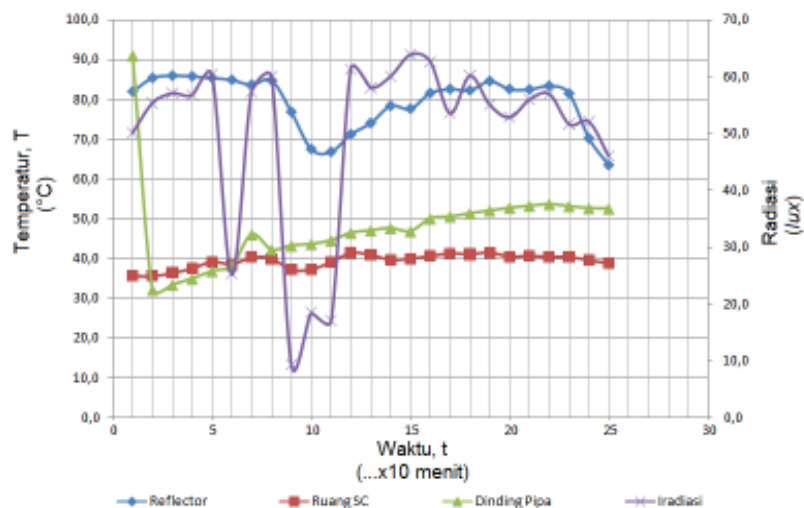
Gambar 7. Grafik perbandingan temperatur air masuk dan temperatur air keluar pipa tembaga pada laju aliran massa air 0,04 liter/s



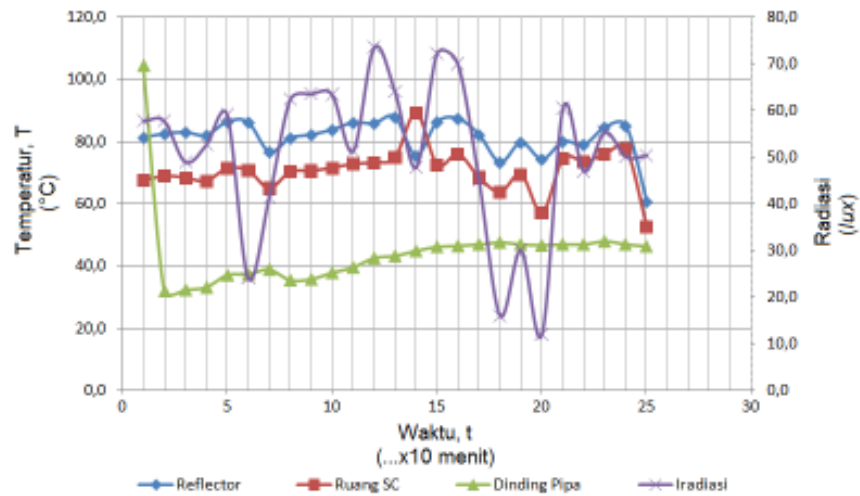
Gambar 8. Grafik perbandingan temperatur air masuk dan temperatur air keluar pipa tembaga pada laju aliran massa air 0,18 liter/s



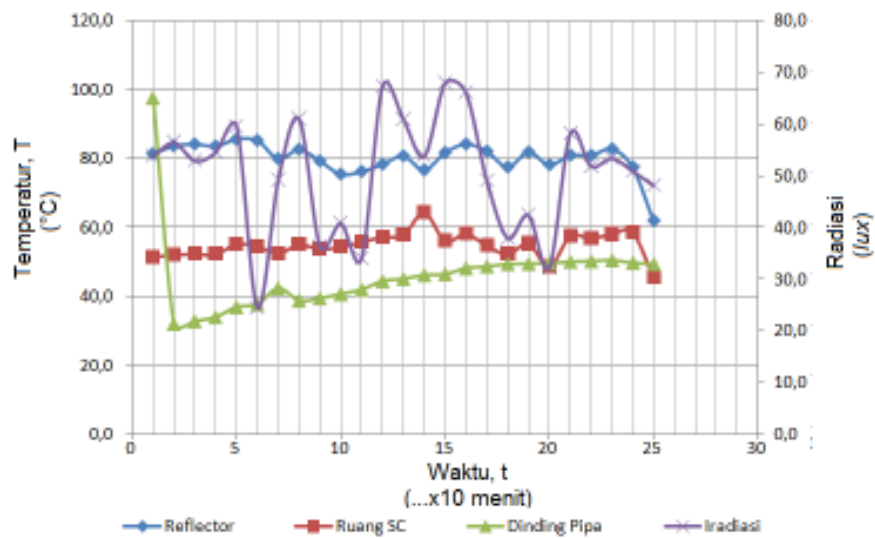
Gambar 9. Grafik perbandingan temperatur air masuk dan temperatur air keluar pipa tembaga pada laju aliran massa air 0,4 liter/s



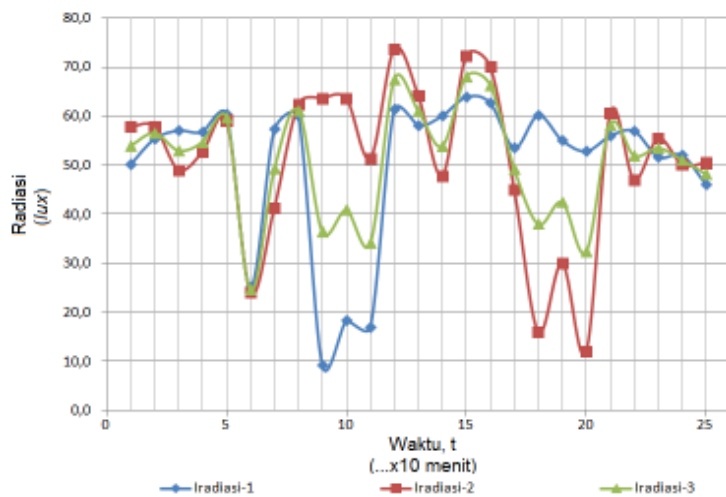
Gambar 10. Grafik perbandingan temperatur dinding dalam dan temperatur ruang solar collector dengan temperatur dinding luar pipa tembaga pada laju aliran massa air 0,04 liter/s



Gambar 11. Grafik perbandingan temperatur dinding dalam dan temperatur ruang solar collector dengan temperatur dinding luar pipa tembaga pada laju aliran massa air 0,18 liter/s



Gambar 12. Grafik perbandingan temperatur dinding dalam dan temperatur ruang solar collector dengan temperatur dinding luar pipa tembaga pada laju aliran massa air 0,4 liter/s



Gambar 13. Grafik intensitas matahari pada 3 hari pengambilan data pengukuran

Gambar 9 menunjukkan pada pengambilan data ke-5 (menit ke-50) dan pengambilan data ke-9 (menit ke-90) terjadi dua kali penurunan intensitas cahaya matahari tetapi tidak berpengaruh banyak terhadap penurunan temperatur air keluar pipa tembaga, hal ini dikarenakan rentang waktu terjadinya penurunan intensitas cahaya matahari tersebut hanya berlangsung sekitar ± 10 menit. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan solar kolektor tipe CPC pada gambar 6, 7 dan 8 lebih baik dibandingkan dengan pengembangan sebelumnya yang menggunakan semi-silinder[15,16,17].

Gambar 10 menunjukkan pada pengambilan data ke-6 (menit ke-60) sampai dengan pengambilan data ke-25 (menit ke-250) temperatur dinding pipa tembaga (receiver) mengalami kecenderungan untuk naik, sedangkan temperatur ruang solar collector mengalami perubahan temperatur yang cenderung tetap. Temperatur dinding pipa tembaga di awal pengambilan data mencapai temperatur 90°C dikarenakan katup pada pompa belum dibuka dan menyebabkan fluida (air) belum mengalir di dalam pipa tembaga. Terlihat beda temperatur antara temperatur dinding solar collector (reflector) dengan temperatur ruang solar collector dan temperatur dinding pipa tembaga (receiver) yang cukup jauh.

Gambar 11 menunjukkan sejak awal pengambilan data pengukuran beda temperatur antara dinding solar collector (reflector) dengan ruang solar collector perbedaan antara kedua tidak terlalu jauh, sedangkan beda temperatur pada dinding pipa tembaga (receiver) hanya berkisar antara $32^{\circ}\text{--}48^{\circ}\text{C}$ yang jika dibanding pada pengambilan data sebelumnya dapat berkisar antara $32^{\circ}\text{--}48^{\circ}\text{C}$. Hal ini terjadi diperkirakan akibat dari laju aliran massa air yang berubah dari pengambilan data sebelumnya yaitu dari 0,04 liter/s menjadi 0,18 liter/s.

Gambar 12 menunjukkan sejak awal pengambilan data pengukuran beda temperatur antara dinding solar collector (reflector), temperatur ruang solar collector, dan temperatur pada dinding pipa tembaga (receiver) tidak terlalu berbeda jauh, hanya saja pada pengambilan data ke-15 (menit ke 150) temperatur dinding solar collector (reflector) dan temperatur ruang solar collector cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan intensitas cahaya matahari yang cenderung menurun, tetapi temperatur dinding pipa tembaga (receiver) cenderung konstan.

Gambar 13 menunjukkan terjadinya penurunan intensitas cahaya matahari pada menit ke-50 sampai dengan menit ke-60, menit ke-80 sampai dengan menit ke-110, dan pada menit ke-160 sampai dengan menit ke-200, ini menunjukkan pola intensitas cahaya matahari yang terjadi di kota Bogor dimana tempat pengambilan data pengukuran dilakukan.

4. Simpulan

Dari hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa laju aliran massa fluida (air) sangat berpengaruh terhadap daya serap panas antara pipa tembaga dengan fluida (air) dimana laju aliran massa dengan besar 0,04 liter/s adalah laju aliran massa yang optimum untuk memperoleh beda temperatur fluida (air) yang maksimum.

Penurunan intensitas cahaya matahari tidak berpengaruh cukup besar jika waktu penurunannya kurang dari 30 menit. Temperatur dinding pipa cenderung dapat dipertahankan dikarenakan adanya selubung kaca yang sebagai perangkat intensitas cahaya matahari.

Pemasangan filter cahaya pada bagian dalam kaca penutup dan selubung kaca dapat dijadikan sebagai jalan keluar untuk meningkatkan temperatur di dinding solar collector (reflector) dan dinding luar pipa tembaga (receiver), agar pantulan radiasi sinar matahari tidak terpantul kembali keluar dari solar collector dan selubung kaca.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Fakultas Teknik untuk menyediakan fasilitas dan dukungan moril hingga terlaksananya riset ini, kepada Asosiasi Riset Lab. EDfEC, kepada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, dan kepada Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), serta kepada Hibah Strategis Nasional (STRATNAS) DIKTI Tahun 2015 atas dukungan dana sesuai dengan kontrak antara Kopertis Wilayah IV Jawa Barat dengan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UIKA Bogor Nomor: 1008/K4/KM/2015 tanggal 31 Maret 2015 dan kontrak antara LPPM UIKA Bogor dengan Dr. Yogi Sirodz Gaos, Ir., M.T., selaku Peneliti Utama Nomor: 037/K-5/LPPM-UIKA/IV/2015 tanggal 09 April 2015.

Daftar Pustaka

- [1] Sylvain Quoilin, *Experimental Study and Modeling of a Low Temperature Rankine Cycle for Small Scale Cogeneration*, University of Liege, 2007.
- [2] Denny Widhiyanuriyawan, Sudjito Suparman, Mega Nur Sasongko, *Potensi Sumber Energi Angin di Wilayah Perairan Indonesia dengan Data Satelit QuikSCAT*. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, 16-17 Oktober 2012.
- [3] Abubakar Lubis, *Energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan*, Jurnal Teknik

- Lingkungan vol 8 No.2 hal 155-162, Jakarta, Mei 2007, ISSN 1441-318.
- [4] M. Helmi F.A.P, Epyk Sunarno, Endro Wahyono, *Pemanfaatan energi matahari menggunakan solar cell sebagai energi alternative untuk menggerakkan konveyor*, -.
- [5] Harmut Speliethoff, Andreas Schuster. *The organic Rankine Cycle-power production from low temperature heat*, Electricity generation combined heat power, Strasbourg, 14-16 September 2006.
- [6] 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.
- [7] E.H. Wang a, H.G. Zhang a,* , B.Y. Fan a, M.G. Ouyang b, Y. Zhao c, Q.H. Muc, *Study of working fluid selection of organic Rankine cycle (ORC) for engine waste heat recovery*, Energy 36 (2011) 3406e3418.
- [8] Jiangfeng wang, Zhequan Yan, Man Wang, Maoqin Li, Yiping Dai, *Multi objective Optimatizion of an organic rankine cycle (ORC) for low grade waste heat recovery using evolutionary algorithm*. Energi Conversion and Management 71 (2013) 146-158.
- [9] Cengel. Yunus.A, Boles, Michael, 2006, "Thermodynamics an Engineering Approach", 5th Ed, Mcgraw-Hill, International Edition, 2016.
- [10] 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.
- [11] BF Tchanche, G. Papadakis, G. Lambrinos, A. Frangoudakis, *Seleksi Fluida untuk suhu rendah surya siklus Rankine organik*, Appl. Therm Eng. 29 2009.
- [12] Manuel I. Gonza'lez *, Luis R. Rodri'guez. *Solar powered adsorption refrigerator with CPC collection system: Collector design and experimental test*. Energy Conversion and Management 48 (2007) 2587-2594.
- [13] Omar Z. Sharaf, Mehmet F. Orhan. *Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems: Part II – Implemented systems, performance assessment, and future directions*, -
- [14] Kumar R, Kaushik SC, Garg HP. *Analytical study of collector solar-gain enhancement by multiple reflectors*. Energy 20(6):511e22, 1995.
- [15] Gaos Sirodz, Yogi., Mulya Juarsa., Edi Marzuki., Muhamad Yulianto. *Pemilihan Fluida Kerja Pada pengembangan Organic Rankine Cycle*. Proceeding Thermofluid UGM, 2013.
- [16] Juarsa, Mulya Seftian Haryadi, Muhamad Yulianto, Edi Marzuki., Yogi Sirods 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.
- [17] Muhamad, Yulianto, Yogi Sirodz Gaos., Mulya Juarsa., Edi Marzuki. *Analisa Effisiensi pada fluida kerja berdasarkan variasi temperature masuk turbin pada pengembangan Organic Rankine Cycle*. Proceeding Thermofluid UGM, 2013.