

PERANCANGAN CONCAVE PLATE COLLECTOR SEBAGAI SISTEM PENYERAP SOLAR ENERGY

Jefri Ramadan^[1], Awaludin Martin^[2]

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia
^[1]jefri.ramadan6184@student.unri.ac.id, ^[2]awaludinmartin01@gmail.com

ABSTRACT

Energy demand throughout the world is increasing gradually as a result of advances in science and technology. The fossil energy that have been used to met these needs have been decreasing and one day it will definitely run out. The increasing use of fossil fuels results in the production of CO₂ emissions which always increase every year. Solar energy is energy that comes from sunlight, but the heat produced by this sunlight tends to be low, so to take advantage of this solar energy, technology is needed that can convert the heat temperature from that source, namely the solar collector. One of them is the concave plate collector, which will be used as a solar energy absorber system to be applied to the organic rankine cycle (ORC). The highest temperature reached for heating water is 56.6°C, able to provide energy contribution of 43.4% of the total energy required with an organic rankine cycle efficiency of 4.489%.

Keywords: concave plate collector, organic rankine cycle.

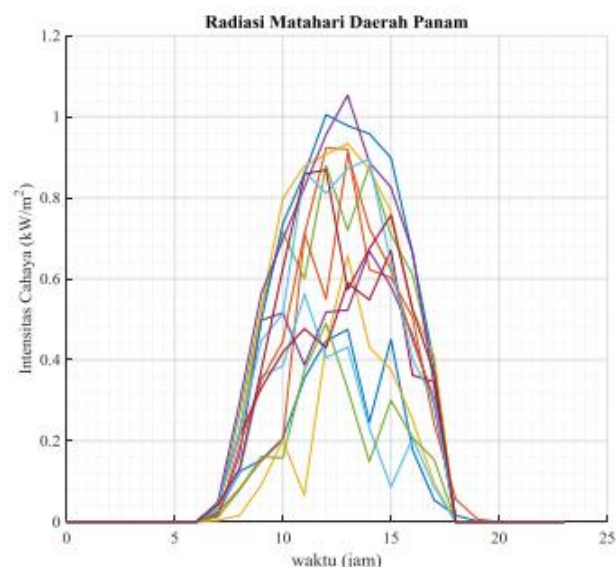
1. Pendahuluan

Energi mempunyai peranan sangat penting dalam kehidupan manusia. Energi merupakan pendukung utama bagi kegiatan ekonomi nasional dan dipakai sebagai alat untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan.

Permintaan energi diseluruh dunia semakin meningkat secara bertahap sebagai akibat dari kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, kebangkitan negara-negara industri baru seperti Cina dan India, serta peningkatan populasi dunia. Kebanyakan energi dunia pada abad yang lalu disediakan oleh bahan bakar fosil karena murah dan nyaman digunakan namun memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan seperti pemanasan global dan hujan asam [1].

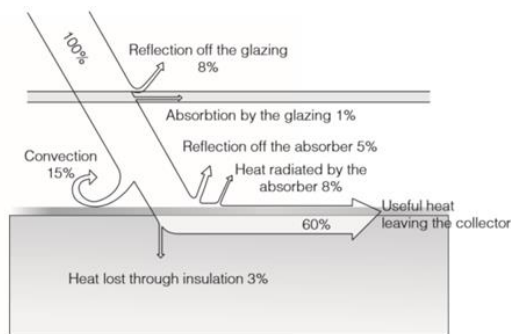
Pemanfaatan sumber energi yang dapat diperbaharui seperti energi angin, biomassa, panas surya, *geothermal* dan panas buang merupakan cara untuk mengatasi permasalahan diatas [2]. Sumber daya energi surya merupakan sumber daya yang ketersediaannya paling universal. Dengan penerapan teknologi, energi surya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi dalam bentuk listrik atau energi termal (panas). Potensi sumber energi matahari di Indonesia rata-rata 4,5 kWh per meter persegi per hari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga tergolong kaya sumber energi matahari [3].

Provinsi Riau memiliki radiasi matahari 4,8 kWh/m² dalam satu hari, sementara untuk daerah kota Pekanbaru kawasan Panam, radiasi matahari rata-rata daerah Panam sebesar 4,78 Kwh/m² dengan interval radiasi matahari dari 2000-1053 W/m² dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Radiasi Matahari Daerah Panam [4]

Pengumpul energi surya adalah salah satu jenis penukar kalor khusus yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi internal yang di transport oleh sebuah media. Komponen utama dari sebuah sistem solar adalah kolektor surya. Ini adalah perangkat yang menyerap radiasi matahari yang masuk, mengubahnya menjadi panas, dan mentransfer panas ini ke cairan (biasanya udara, air, atau fluida organik) yang mengalir melalui kolektor, dengan panas yang diserap oleh kolektor sebesar 60 persen yang dapat digunakan dapat dilihat pada Gambar 2 [5].

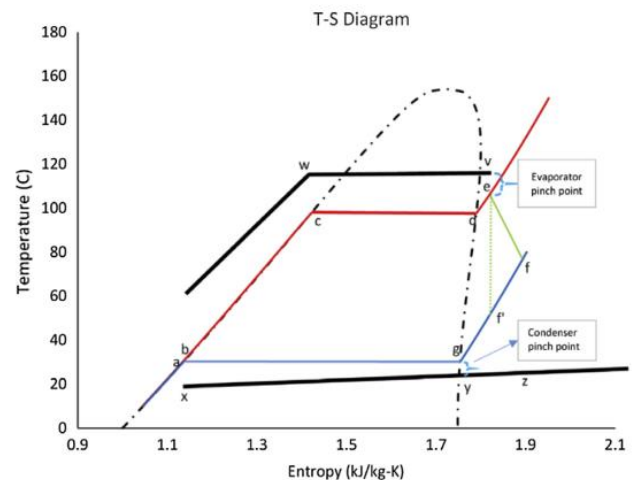


Gambar 2. Kemampuan Kolektor [6]

Biasanya, kolektor tidak dipasang secara horizontal tetapi pada sudut untuk meningkatkan jumlah radiasi yang dicegat dan mengurangi kerugian refleksi dan kosinus. Oleh karena itu, perancang sistem membutuhkan data tentang matahari radiasi pada permukaan yang diberi judul data radiasi yang diukur atau diperkirakan, bagaimanapun, sebagian besar tersedia baik untuk kejadian normal atau untuk permukaan horizontal. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk mengubah data ini menjadi radiasi pada permukaan miring. Jumlah insolasi pada permukaan terestrial di lokasi tertentu untuk waktu tertentu tergantung pada orientasi dan kemiringan permukaan.

Untuk pengumpul terkonsentrasi, fluks radiasi ditingkatkan melalui pantulan permukaan seperti cermin, yang mencegat dan memfokuskan radiasi sinar matahari ke penerima yang lebih kecil luas areanya. Kolektor terkonsentrasi melacak matahari dan mengarahkan radiasi matahari ke sebuah titik seperti konzentrador parabola atau ke penerima linier seperti *parabolic trough collectors* (PTC) dan *linear fresnel reflectors* (LFR), dan sebaliknya, pengumpul yang tidak terkonsentrasi tidak melacak matahari dan luas penyerapan radiasi matahari adalah sama. Kolektor umum yang tidak terkonsentrasi adalah *flat plate collectors* (FPC) dan *compound parabolic collectors* (CPC) [7].

Organic rankine cycle (ORC) adalah salah satu sistem pembangkit listrik yang merupakan modifikasi dari Rankine Cycle (gambar 1) dimana fluida kerja yang digunakan adalah fluida kerja organik (*refrigerant* dan Hidrokarbon) [8]. *Organic rankine cycle* (ORC) memiliki empat komponen utama yaitu evaporator, turbin, kondensor, dan pompa. Fluida kerja dipompa menuju evaporator untuk dipanaskan sehingga membangkitkan uap, uap tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap, hasil putaran turbin akan digunakan untuk memutar generator dan akan menghasilkan sumber listrik, uap hasil ekspansi turbin dikondensasi dan dialirkan oleh pompa kembali ke evaporator dapat dilihat pada Gambar 3 [9].



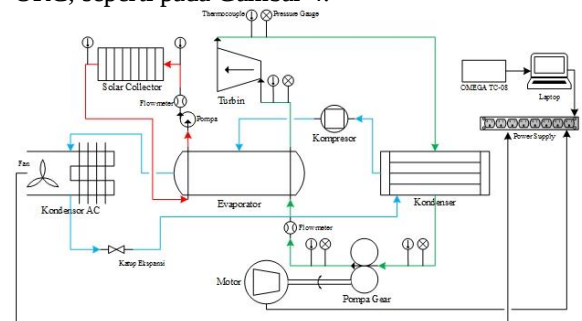
Gambar 3. T-s Diagram dari Sistem *Organic Rankine Cycle* [10]

2. Metodologi

Proses perancangan, pembuatan *concave plate collector*, serta pengujian sistem dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau.

2.1 Alur Penelitian

Dalam perancangan ini terdapat skema atau gambaran sistem ORC dengan *concave plate collector* yang akan dibuat, skema tersebut juga menjelaskan bagaimana proses kerja pada sistem ORC, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Sistem ORC Menggunakan *Concave Plate Collector*

Pada gambar diatas terdiri dari tiga siklus, yaitu siklus *organic rankine cycle* yang ditunjukkan dengan garis berwarna hijau, siklus refrigerasi ditunjukkan dengan garis berwarna biru dan siklus *solar collector* ditunjukkan dengan garis berwarna merah. Pada siklus ORC, setiap tahap diberikan *pressure gauge* dan *thermocouple* yang berguna untuk mengetahui tekanan dan temperatur fluida kerja disaat sistem beroperasi, kecuali pada *solar collector* yang hanya diberikan *thermocouple*, yang bisa dijadikan data untuk analisis nanti. Serta diberikan *flowmeter* juga untuk mengukur laju aliran massa fluida kerja.

2.2 Perancangan Concave Plate Collector

Adapun beberapa variabel yang ditentukan dalam langkah awal perancangan *concave plate collector* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel-variabel Perancangan	
Variabel	Nilai
Temperatur Akhir Air (°C)	95°C
Laju Aliran Massa Air ($\dot{m}$)	0,042 kg/s
CP Air	4,185 kJ/kg°C

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk perancangan *Concave Plate Collector*, berikut ini alur perhitungan perancangan [11].

- Mencari radiasi matahari yang diterima kolektor (S)

$$S = \tau_g \cdot \rho_p \cdot \alpha_p \cdot I_t \quad (1)$$

- Mencari energi berguna yang dihasilkan kolektor (Q_u)

$$Q_u = A_c \cdot [S - UL(T_i - T_\infty)] \quad (2)$$

- Mencari panjang *tube* sementara (L)

$$Q_u = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{\pi \cdot D \cdot L} \quad (3)$$

- Mencari jumlah kalor total untuk memanaskan air (Q)

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta h \quad (4)$$

- Mencari *surface area* (A_s)

$$A_s = \frac{Q}{U \cdot \Delta T} \quad (5)$$

- Mencari nilai kecepatan aliran fluida

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} \quad (6)$$

- Mencari nilai bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (7)$$

- Mencari nilai bilangan Nusselt

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{1/3} \quad (8)$$

- Mencari nilai h_i dan h_o

$$h = \frac{k}{D} Nu \quad (9)$$

- Mencari R dan U

$$R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} \quad (10)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (11)$$

- Mencari panjang *tube* total kolektor

$$A_{total} = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}} \quad (12)$$

$$L_{total} = \frac{A}{\pi D} \quad (13)$$

- Mencari sudut *azimuth* matahari

$$(z) = \sin^{-1} \left(\frac{\cos(\delta) \sin(h)}{\cos(\alpha)} \right) \quad (14)$$

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk perancangan *Concave Plate Collector*, berikut ini alur perhitungan perancangan [12].

- Menghitung Daya Turbin

$$P_{t,act} = \dot{m}_{act} \times (h_3 - h_4) \quad (15)$$

- Menghitung Daya Pompa

$$P_{p,act} = \dot{m}_{act} \times (h_2 - h_1) \quad (16)$$

- Menghitung Kalor Masuk

$$Q_{in} = h_3 - h_2 \quad (17)$$

- Menghitung W nett

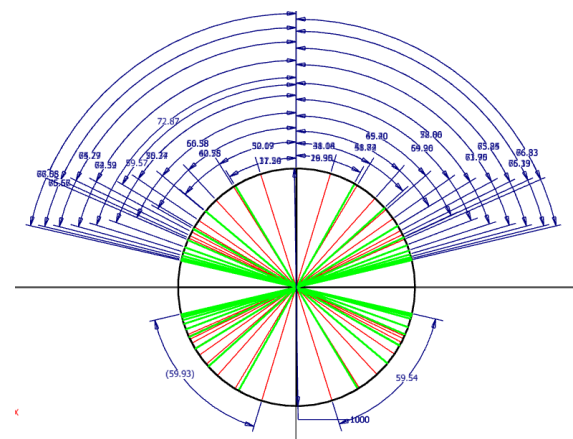
$$W_{net} = [(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)] \quad (18)$$

- Menghitung Efisiensi

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (19)$$

3. Hasil

Adapun hasil perhitungan sudut *azimuth* matahari pada *concave plate collector* dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut :

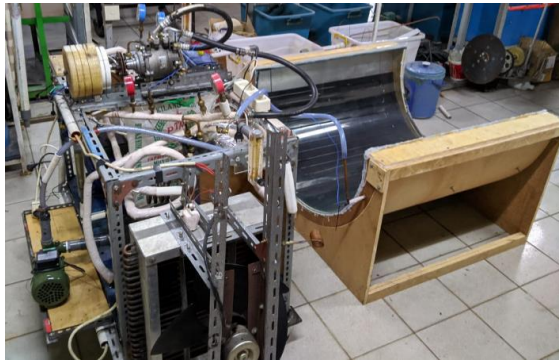


Gambar 5. Perhitungan Sudut Azimuth

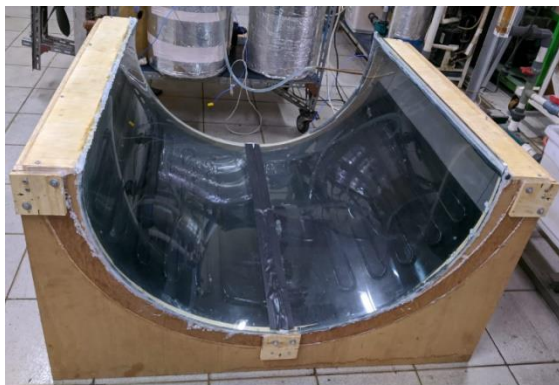
Sudut pada sisi tengah bawah *concave* adalah 34,40°, yang mana besar sudut tersebut digunakan untuk mencari panjang busur dalam menentukan panjang *tube* hubung antar sisi kiri dan sisi kanan, sudut pada sisi kiri dan sisi kanan merupakan lebar area untuk *tube serpentine* dengan besar sudut

adalah 59°, dalam menentukan lebar area untuk *tube serpentine* pada sisi kiri dan sisi kanan.

Setelah *concave plate collector* selesai dibuat, maka kolektor digabungkan dengan sistem ORC sebagai sistem penyerap panas. Berikut tampak samping Gambar 6 dan depan Gambar 7 sistem ORC dengan *Concave Plate Collector*.



Gambar 6. Rangkaian Sistem ORC Menggunakan *Concave Plate Collector* Tampak Samping



Gambar 7. *Concave Plate Collector* Tampak Depan

Dari hasil perancangan dan pembuatan *concave plate collector* didapatkan hasil rekapitulasi sebagai berikut :

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perancangan	
	Nilai
Panjang <i>Tube</i> Total	18,12 m
Panjang <i>Tube</i> Hubung	300 mm
Luas Sisi <i>Absorber</i> Kiri-Kanan	500 mm
Temperatur Akhir Air (°C)	56,6°C
Energi Suplai Kolektor	43,5%
Diameter Kaca <i>Concave</i>	1000 mm
Panjang Kaca <i>Concave</i>	1000 mm
Tebal Kaca <i>Concave</i>	8 mm

Pada *concave plate collector* temperatur awal air pada evaporator adalah 27°C kemudian pompa air dinyalakan lalu didiamkan, data diambil dari jam 10:00–12:00 WIB, berdasarkan data pengujian

temperatur air meningkat dan memiliki temperatur tertinggi yaitu pada 56,6°C, setelah itu berlanjut ke pengujian sistem ORC. Sebelum pengujian dilakukan maka semua data temperatur dan tekanan dicatat sebagai berikut:

Th : 95°C adalah temperatur air pada evaporator

Tc : 8°C adalah temperatur air pada kondensor

P1 : 2,1 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 1 (masuk pompa)

P2 : 2,1 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 2 (keluar pompa)

P3 : 2,1 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 3 (masuk turbin)

P4 : 2,1 bar adalah tekanan refrigeran pada *pressure gauge* 4 (keluar turbin)

Pengujian dan pengambilan data pada penelitian ini dilakukan per 5 menit selama 1 jam. Kondisi temperatur akhir pada evaporator dan kondensor setelah pengujian adalah Th = 89°C dan Tc = 27°C Dan dari semua data yang diperoleh maka pada menit 20 menunjukkan bahwa efisiensi sistem ORC terbesar. Adapun hasil pengujian pada menit ke 20 adalah sebagai berikut:

T1	: 25,1°C	P1	: 6,8 bar
T2	: 29,7°C	P2	: 10 bar
T3	: 63,5°C	P3	: 10,2 bar
T4	: 46,6°C	P4	: 9,1 bar

Setelah itu dihitung efisiensi dari hasil uji coba dan didapatlah hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Efisiensi <i>Organic Rankine Cycle</i>	
	Nilai
Daya Pompa	213,87 Watt
Daya Turbin	510,49 Watt
Kalor Masuk	203,59 kJ/kg
W Nett	9,14 kJ/kg
Efisiensi <i>Organic Rankine Cycle</i>	4,489%

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Temperatur tertinggi yang dicapai oleh *concave plate collector* adalah 56,6°C, mampu memberikan kontribusi energi sebesar 43,5 % dari energi total yang dibutuhkan.
2. Dari hasil uji coba menggunakan *concave plate collector* pada sistem *organic rankine cycle* didapat efisiensi tertinggi sebesar 4,489 %.

Daftar Pustaka

- [1] Aboelwafa, Omar, Seif-Eddeen K.Fateen, Ahmed Soliman, Ibrahim M.Ismail. 2017. "A Review On Solar Rankine Cycles: Working fluids, Applications, And Cycle Modifications". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82 (2018) 868–885.
- [2] IEA (2014), *Energy Technology Perspectives 2014*, IEA, Paris
- [3] Rahmandhika, Andinusa. 2015. "Analisis Siklus Rankine Organik Memanfaatkan Tenaga Surya Dengan Kolektor Tipe Tabung Vakum". *Skripsi*. Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- [4] Iswadi, H.R. 2017. *Ketersediaan Sistem Pembangkit Listrik Berbasikan Tenaga Surya di Kota Pekanbaru*. Pekanbaru. Universitas Riau
- [5] Kalogirou, Soteris A. 2004. "Solar Thermal Collectors And Applications". *Progress in Energy and Combustion Science*, 30 (2004) 231–295.
- [6] Freeman, James, Klaus Hellgardt, Christos N Markides. 2015. "An Assessment of Solar–Thermal Collector Designs for Small-Scale Combined Heating and Power Applications in the United Kingdom". *Heat Transfer Engineering*, 36(14–15):1332–1347, 2015.
- [7] Pamungkas, aria Halim, and Ary Bachtiar Khrisna Putra. 2013. "Studi Variasi Flowrate Refrigerant Pada Sistem Organic Rankine Cycle Dengan Fluida Kerja R-123." *Teknik Pomtis* 2 (2): 2–6.
- [8] Nurhilal, Otong, Cukup Mulyana, and Nendi Suhendi. 2014. "Disain Pembangkit Listrik Tenaga Uap Siklus Rankine Organik 100 KW Dengan Fluida Kerja R-123," no. April: 136–39.
- [9] Douvartzides, S., and I. Karmalis. 2016. "Working Fluid Selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) Exhaust Heat Recovery of an Internal Combustion Engine Power Plant." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 161 (1).
- [10] Dutta, Shilpi Pratim, Dr. Ramesh Chandra Borah. 2018. "Design of a Solar Organic Rankine Cycle Prototype for 1 kW Power Output". *Jurnal*. (6) 23-33.
- [11] John A. Duffie, and William A. Beckman. 2006. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Book. 4th Intern. University of Wisconsin. Madision
- [12] Cengel, Yunus A, and Michael Boles. 2006. *Thermodynamics An Engineering Aproach*. Book. 5th Intern. McGraw-Hil.