

Desain, Perakitan dan Uji Coba *Mini Parabolic Trough Collector* (PTC) Sederhana

Lintang Ratri Prastika^{1,a)} dan Muhammad Miftahul Munir^{1,b)}

¹Laboratorium Fisika Instrumentasi,
Kelompok Keilmuan Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} lintang.r.prastika@gmail.com

^{b)} miftah@fi.itb.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat model parabolic trough collector (PTC) dalam ukuran kecil, dengan tahap menentukan desain, melakukan perakitan dan uji coba mini PTC sederhana ini. Mini PTC didisain menggunakan persamaan parabola sederhana. Terbuat dari material yang mudah diperoleh dalam ukuran yang kecil. Panjangnya sekitar 1 m dan lebar aperture 0,5 m. Plat seng mengkilat digunakan sebagai reflector dan pipa aluminium digunakan sebagai absorber. Pengujian PTC dilakukan pada lahan terbuka di atap sebuah gedung di Jalan Purbasari Dalam, Cimahi, Jawa Barat, Indonesia. Air dimasukkan ke dalam pipa sebanyak 70% dari volume total pipa, yaitu 63,2 ml. PTC diletakkan dengan orientasi Utara-Selatan. Manual tracking dilakukan untuk membuat PTC tetap mengarah ke matahari. Pengukuran suhu dan tekanan air dalam pipa dilakukan dan dicatat setiap 15 menit sekali dari pukul 9.30–11.00. Hasil pengukuran menunjukkan suhu tertinggi yang dapat dicapai PTC adalah 54°C dan tekanan tertinggi adalah 1,4 bar. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, desain mini PTC ini belum mampu menghasilkan uap bertekanan tinggi. Studi lebih lanjut dapat dilakukan dengan memperbaiki desain dan mengganti material PTC sampai dapat menghasilkan uap air bertekanan tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk memutar mini generator dan menghasilkan listrik.

Kata-kata kunci: Kolektor surya, parabola, energi surya

PENDAHULUAN

Energi merupakan sesuatu yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup khususnya manusia. Semua kegiatan yang dilakukan manusia memerlukan energi. Sehingga manusia mencari sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya.

Saat ini sumber energi utama bagi manusia di dunia berasal dari fosil, seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam. Sayangnya, sumber energi tersebut termasuk sumber daya alam yang sulit diperbaharui karena proses perubahan bangkai makhluk hidup menjadi fosil itu membutuhkan waktu yang sangat lama. Akibatnya jika sumber energi yang berasal dari fosil tersebut dieksploitasi terus-menerus, persediaannya di alam akan habis. Menyadari keadaan tersebut, banyak pihak yang mulai memikirkan mencari sumber energi lain yang lebih efisien dan yang lebih ramah lingkungan. Diantaranya adalah matahari, angin, air, dan biomass [1].

Indonesia merupakan negara dengan letak astronomis yang sangat strategis. Berada di sekitar garis khatulistiwa tepatnya 6° LU sampai 11° LS dan 95° BT sampai 141° BT. Indonesia memiliki iklim tropis dan selalu terkena matahari sepanjang tahun. Sebagian besar wilayah di Indonesia memperoleh intensitas radiasi matahari yang cukup, dengan rata-rata harian sekitar 4 kWh/m² [1]. Dengan kondisi tersebut, Indonesia memiliki potensi yang besar untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan.

Salah satu cara memanfaatkan energi matahari saat ini adalah dengan menggunakan kolektor surya. Prinsipnya, cahaya matahari difokuskan pada sebuah absorber yang kemudian akan digunakan untuk memanaskan air yang ada dalam absorber. Lebih jauh lagi air tersebut akan terus dipanaskan sampai menghasilkan uap. Selanjutnya uap yang dihasilkan akan digunakan untuk memutar turbin sehingga dihasilkanlah listrik.

Terdapat berbagai jenis kolektor surya yang berkembang saat ini. Diantaranya kolektor menggunakan plat datar, silinder, dan parabola. Tipe absorber yang digunakan pun bermacam-macam. Terdapat absorber tipe datar, pipa, dan titik. Perbedaan bentuk kolektor, absorber, maupun tracking akan memberikan hasil yang berbeda pada pemanasan air dalam absorber.

Banyak peneliti telah membuat dan menguji coba jenis-jenis kolektor surya tersebut sebagai upaya memperoleh desain yang paling efisien untuk dapat dikembangkan secara komersial menjadi sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.

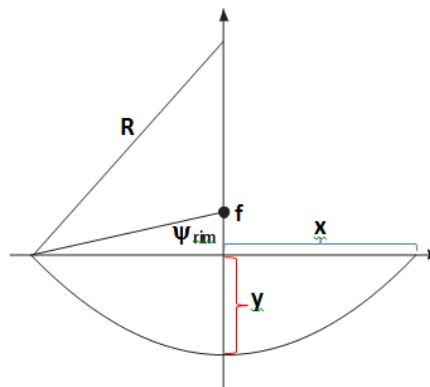
Tujuan penelitian ini adalah membuat model kolektor surya berbentuk parabola (*Parabolic Trough Collector, PTC*) sederhana yang berukuran kecil. Desain dibuat dengan mengacu pada beberapa paper yang telah ada, dengan modifikasi dan penyesuaian dengan material yang ada disekitar tempat tinggal penulis. Hasil uji coba kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, untuk mengetahui kualitas dari mini PTC sederhana yang telah penulis buat.

DESAIN

Mini PTC sederhana ini didesain dengan persamaan parabola sederhana dengan ukuran panjang sekitar 1 m dan lebar aperture 0,5 m. Besaran parabola untuk menentukan ukuran PTC lainnya dihitung menggunakan persamaan (1) [2].

$$x^2 = 2Ry \tag{1}$$

x merupakan setengah lebar aperture (jarak antara ujung lengkungan parabola) reflektor dan y adalah kedalaman parabola dari garis aperture. Skema sistem parabola terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem parabola

Titik fokus parabola dihitung menggunakan persamaan (2) [2].

$$f = \frac{R}{2} \tag{2}$$

Sudut rim (*rim angle, ψ_{rim}*) dihitung dengan persamaan (3) [3].

$$\tan \frac{\psi_{rim}}{2} = \frac{2x}{4f} \tag{3}$$

Besaran lain yang penting dari sebuah PTC adalah perbandingan konsentrasi (*concentrating ratio, C*) yaitu perbandingan antara luas aperture (A_a) dengan luas permukaan absorber (A_r), yang dapat dihitung dengan persamaan (4) [3].

$$C = \frac{A_a}{A_r} \tag{4}$$

Dan efisiensi PTC dihitung dengan dengan persamaan (5) [3].

$$\eta_c = \frac{m_w c_w (T_0 - T_c)}{I_{b,d} A} \tag{5}$$

Dengan :

- T_o = suhu *inlet* dan *outlet* air dalam pipa ($^{\circ}C$)
- m_w = massa air (kg)
- c_w = kalor jenis air ($4200 J/kg^{\circ}C$)
- I_b = radiasi langsung matahari (W/m^2)
- A = luas aperture (m^2)

Ukuran kolektor surya parabola terangkum pada tabel 1.

Tabel 1. Ukuran kolektor surya untuk desain PTC

Besaran	Nilai
Panjang PTC	105 cm
Aperture	50 cm
Sudut rim	84°
Jarak fokus	13,9 cm
Perbandingan konsentrasi, C	12,74
Kedalaman kolektor	11,25 cm

Penulis membagi PTC menjadi tiga bagian utama, yaitu plat reflector (pemantul), absorber, dan kaki penyangga. Plat reflector terpasang pada bingkai berbentuk persegi panjang. Bingkai plat dan kaki penyangga dibuat dengan menggunakan besi pipih dengan ukuran panjang rata-rata 90 cm, lebar 2 cm, dan tebal 2 mm. Bingkai plat reflector berukuran panjang 105 cm dan lebar 54,5 cm. Plat reflector menggunakan plat seng dengan ukuran panjang 105 cm, lebar 60 cm. Plat seng tersebut dilapisi dengan polet crom mengkilat untuk meningkatkan kemampuan pantul plat. Pipa absorber menggunakan bahan aluminium berukuran diameter luar 1,25 cm, diameter dalam 1 cm, panjang 115 cm. Pipa tersebut kemudian dicat hitam untuk meningkatkan kemampuan menyerap energi radiasi matahari. Pipa absorber ditopang menggunakan besi pipih, besi penopang absorber ini berukuran panjang total 20 cm. Data geometris desain PTC yang penulis buat terangkum dalam tabel 2.

Tabel 2. Data geometris desain PTC

Bagian PTC	Besaran	Ukuran
Bingkai reflektor	Panjang	105 cm
	Lebar	54,5 cm
Kaki penyangga	Panjang	110 cm
	Lebar	36 cm
	Tinggi	41 cm
Penopang absorber	Panjang	20 cm
	Diameter lubang untuk pipa absorber	1,25 cm
	Diameter luar	1,25 cm
Pipa absorber	Diameter dalam	1 cm
	Panjang	115 cm

Alat-alat lain yang digunakan pada mini PTC ini adalah kran kompresor sebanyak dua buah sebagai saluran keluar masuk air ke dalam pipa, penyambung kran dengan pipa berbentuk ‘T’ dan ‘I’, selang hidrolik, klem ukuran 7/8 inci, barometer, dan termometer sebagai alat ukur saat uji coba. Kemudian semua bagian dirangkai dan disatukan menjadi PTC yang utuh seperti pada gambar 2.

UJI COBA

Uji coba ketepatan pantulan pada fokus mini PTC dilakukan dengan menggunakan laser pointer. Bagian plat yang belum memantulkan laser secara tepat pada pipa diperbaiki lagi.

Uji coba kemampuan PTC menerima panas dari sinar matahari dilakukan dengan cara meletakkan mini PTC pada lahan terbuka di saat matahari terik kemudian “menjemurnya”. Uji coba dilakukan di atap sebuah gedung di Jalan Purbasari Dalam, Cimahi, Jawa Barat, Indonesia. Pipa diisi dengan air kurang lebih 70% volume total pipa. PTC diletakkan dengan orientasi Utara-Selatan, sehingga perlu dilakukan *tracking* supaya pipa selalu mengarah pada matahari. *Tracking* dilakukan secara manual menggunakan tali yang dipasang di ujung-ujung bingkai untuk menyesuaikan posisi PTC terhadap matahari.

Penjemuran dilakukan pada saat cuaca sedang cerah dan matahari bersinar terik. Dilakukan empat kali penjemuran pada bulan Februari-April 2015. Tiap penjemuran dilakukan dari pukul 09.30 sampai pukul 11.00 dengan pengamatan hasil pengukuran suhu dan tekanan setiap 15 menit. Besaran yang diukur adalah

perubahan suhu air dalam pipa dan tekanan yang dihasilkan dari proses pemanasan air menggunakan energi matahari. Pengukuran menggunakan alat ukur termometer dan barometer sederhana.



Gambar 2. Mini parabolic through collector sederhana

HASIL

Hasil pengukuran suhu dan tekanan tercantum dalam tabel 3 dan tabel 4.

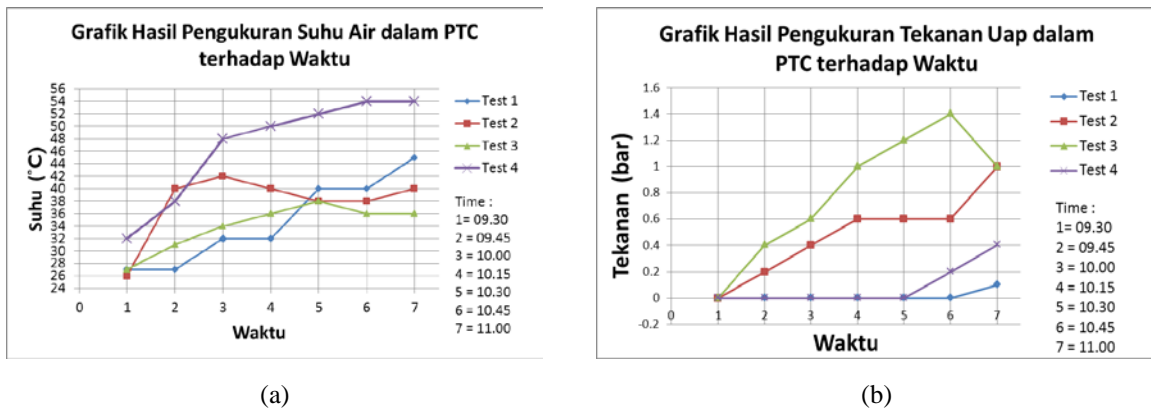
Tabel 3. Hasil pengukuran suhu air dalam pipa

Waktu	Suhu (°C) Percobaan 1	Suhu (°C) Percobaan 2	Suhu (°C) Percobaan 3	Suhu (°C) Percobaan 4
09.30	27	26	27	32
09.45	27	40	31	38
10.00	32	42	34	48
10.15	32	40	36	50
10.30	40	38	38	52
10.45	40	38	36	54
11.00	45	40	36	54

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tekanan dalam Pipa

Waktu	Tekanan (bar) Percobaan 1	Tekanan (bar) Percobaan 2	Tekanan (bar) Percobaan 3	Tekanan (bar) Percobaan 4
09.30	0	0	0	0
09.45	0	0,2	0,4	0
10.00	0	0,4	0,6	0
10.15	0	0,6	1	0
10.30	0	0,6	1,2	0
10.45	0	0,6	1,4	0,2
11.00	0,1	1	1	0,4

Jika data pada tabel 3 dan 4 ditampilkan dalam bentuk grafik akan terlihat seperti pada gambar 3.



Gambar 3. (a) Grafik hasil pengukuran suhu air dalam PTC terhadap waktu, (b) Grafik hasil pengukuran tekanan dalam PTC terhadap waktu

Data hasil uji coba tersebut kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi PTC yang telah dibuat. Massa air dapat dihitung menggunakan hubungan massa jenis dengan volume. Volume air yang dimasukkan dalam pipa adalah $6,32 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ yang merupakan 70% dari volume total pipa. Jika massa jenis air yang digunakan dianggap sebesar 1000 kg/m^3 , maka massa air adalah $6,32 \times 10^{-2} \text{ kg}$.

Uji coba PTC dalam studi ini tidak menggunakan air mengalir sehingga suhu *inlet* dan *outlet* air dalam pipa dapat diasumsikan sebagai suhu tertinggi dan suhu terendah yang dapat dicapai saat uji coba PTC [2]. Suhu tertinggi 54°C dan suhu terendah 26°C .

Nilai intensitas radiasi matahari yang digunakan adalah nilai intensitas radiasi rata-rata di Indonesia pada tengah hari yang cerah, yaitu sebesar 1000 W/m^2 [4]. Luas aperture PTC diperoleh dengan mengalikan ukuran lebar aperture (0,5 m) dengan panjang PTC (1,05 m), diperoleh nilai $0,525 \text{ m}^2$. Menggunakan persamaan (5) diperoleh nilai efisiensi PTC yang dibuat, yaitu sebesar 14,2 %.

PEMBAHASAN

Penelitian Pradeep et. al. [2] yang melakukan pemanasan di daerah Karnataka, India pada tanggal 15-18 Mei 2009 menunjukkan bahwa Parabolic Trough Collector yang dibuatnya dengan bahan reflector aluminium dan pipa absorber berbahan chromium mencapai suhu 31°C - 90°C dalam keadaan cuaca kering dan 26°C - 37°C dalam keadaan cuaca lembab untuk waktu pemanasan pukul 09.00-11.00 dan untuk PTC yang dibuat Pradeep et al. [2] dengan bahan reflector cermin dan pipa absorber berbahan chromium mencapai suhu 35°C - 94°C dalam keadaan cuaca kering dan 29°C - 49°C dalam keadaan cuaca lembab untuk waktu dan lokasi pemanasan yang sama. Penelitian review Hossain et al. [5] menunjukkan suhu rata-rata yang dicapai PTC pada pukul 09.00-11.00 sekitar 17°C - 20°C . Hasil penelitian Tayade et al. [6] menunjukkan suhu yang dapat dicapai PTC yang dibuatnya dengan bahan reflector aluminium dan pipa absorber berbahan aluminium yang dibungkus pipa gelas mencapai suhu 32°C - 55°C untuk waktu pemanasan pukul 09.30-11.00 selama bulan November-Desember di daerah Chandrapur, India (19.95° LU , 79.3° BT). Kemudian penelitian Valan Arasu dan Sornakumar [7] menunjukkan PTC yang mereka buat dengan bahan reflector berupa *solarflex foil* dan absorber dengan bahan tembaga yang diselubungi dengan pipa gelas dapat menaikkan suhu air dalam pipa sebesar 42°C - 55°C untuk waktu pemanasan pukul 09.30-11.00. Seluruh penelitian sebelumnya tersebut menunjukkan bahwa PTC yang telah dibuat dengan berbagai material reflector dan absorber dapat meningkatkan suhu air dalam pipa dengan suhu maksimal 94°C untuk waktu pemanasan sampai pukul 11.00. Hal tersebut sesuai dengan hasil uji coba PTC yang penulis buat bahwa PTC dapat pula meningkatkan suhu air dalam pipa absorber. Suhu tertinggi yang dapat dicapai adalah 54°C mendekati hasil penelitian Tayade et al. [6]. Namun dalam proses uji cobanya terdapat kenaikan suhu yang tidak linier, terjadi penurunan suhu air dalam pipa sebelum mencapai pukul 11.00.

Tekanan yang diperoleh pada PTC yang dibuat dalam penelitian Asfar et al.[8] adalah 2 bar saat suhu maksimum outlet sebesar 123°C dengan keadaan air mengalir. PTC yang penulis buat mencapai tekanan maksimum 1,4 bar dalam suhu air dalam pipa yang belum melebihi 100°C . Kemungkinan tekanan yang terukur oleh barometer tersebut merupakan tekanan udara dalam pipa yang terpanaskan, karena pipa tidak diisi penuh oleh air.

Efisiensi PTC yang penulis buat masih jauh dibawah 50% sehingga belum menunjukkan nilai yang baik untuk keadaan intensitas radiasi rata-rata di Indonesia pada siang hari yang cerah.

KESIMPULAN

PTC dapat dibuat menggunakan berbagai material dan berbagai ukuran untuk menghasilkan PTC yang paling efisien. Tempat PTC dioperasikan pun menentukan hasil pemanasan PTC. Pada penelitian ini telah dibuat PTC dengan material seng mengkilat sebagai reflector dan pipa aluminium tanpa selubung gelas sebagai absorber. Dengan ukuran yang kecil (panjang 1 m dan lebar aperture 0,5 m) dihasilkan suhu tertinggi yang dapat dicapai PTC sebesar 54°C dan tekanan tertinggi sebesar 1,4 bar untuk waktu pemanasan 09.30-11.00. Efisiensi PTC yang dibuat adalah 14,2 %. Perlu dilakukan pengukuran intensitas radiasi matahari secara langsung saat melakukan pemanasan PTC supaya dihasilkan nilai efisiensi yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Joko Prasetyanto, S.T. yang telah sangat membantu dalam proses perakitan PTC ini.

REFERENSI

1. N. A. Handayani and D. Ariyanti, *Int. Journal of Renewable Energy Development* 1 (2), 33-38 (2012).
2. K.K.V. Pradeep, T. Srinath, V. Reddy, *Int. Journal of Research in Aeronautical And Mechanical Engineering* 1 (4), 37-55 (2013).
3. A.M. Eltahir, "Design And Testing of a Solar Parabolic Concentrating Collector", in *International Conference on Renewable Energies and Power Quality 2013 (ICREPO'13)*, pp. 1-5.
4. H. Asy'ari, Jatmiko, Angga, "Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya", in *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012*, pp. 52-57.
5. M.S. Hossain, R. Saidur, H. Fayaz, N.A. Rahim, M.R. Islam, J.U. Ahamed, M.M. Rahman, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3801– 3812 (2011).
6. M. G. Tayade, R. E. Thombre, S. Dutt, *Int. Journal of Scientific and Research Publications* 5 (1), 1-5 (2015).
7. A. Valan Arasu and S. T. Sornakumar, *Thermal Science* 10 (2), 167-174 (2006).
8. J. A. Asfar, O. Ayadi and A. A. Salaymeh, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* 8 (1), 1-5 (2014).