

Uji Prestasi Pemanas Air Tenaga Matahari Jenis Tabung dengan Variasi Arah Kolektor Terhadap Datangnya Sinar Matahari

Bambang Yunianto^{a,*}

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: byunianto20@gmail.com

Abstract

Solar water heater (PATM) has been widely used by the community to provide hot water needs, both for household, hotel and hospital needs. Most PATM construction uses flat plates or vacuum tubes with a capacity of 100 liters to 300 liters. Construction is quite complicated and relatively expensive so it can only be made by factories with complete equipment. For PATM, small capacity and simple construction below 50 liters and cheap, not yet available in the market. So in this study we tried to design a simpler solar water heater. PATM construction consists of a collector and a storage tank into one unit, making it simpler, easier to make and cheaper to manufacture but the temperature achieved remains maximum. This research is to design and test a household scale PATM with a capacity of 17 liters with a length and diameter of a storage tank of 100 cm and 15 cm. The storage tank in the form of a black painted tube is in a collector box with a length of 120 cm, width 45 cm and height 40 cm. The walls of the collector's box are made of 1 cm thick wood and covered with 5 cm thick rockwool insulators and glass as collector covers installed to capture solar energi. The test is carried out to find out the water temperature that can be achieved and the efficiency of PATM, with variations in the 4 directions of the collector field to the arrival of sunlight. The test is carried out by two methods, namely the collector with a single glass and double glass and is carried out from 10:00 until 15:00. The variations in the collector's position with respect to the sun's direction include, facing east, facing east + 30 o, facing east + 60 o and facing south. From the results of the highest temperature test that can be achieved 65.5 0C with an average solar energi intensity of 830 W / m² in the east facing collector position +300 with 1 glass cover. The highest efficiency is 40.55% in the east facing position

Keywords: *Solar water heater, water temperature, radiation intensity, collector direction, efficiency*

Abstrak

Alat pemanas air tenaga matahari (PATM) telah banyak digunakan oleh masyarakat untuk menyediakan keperluan air panas, baik untuk keperluan rumah tangga, hotel, maupun rumah sakit. Kebanyakan kontruksi PATM menggunakan plat datar atau tabung vakum dengan kapasitas 100 liter hingga 300 liter. Kontruksi PATM adalah rumit dan relatif mahal sehingga hanya bisa dibuat oleh pabrik dengan peralatan yang lengkap. PATM dengan kapasitas kecil dan kontruksi sederhana di bawah 50 liter dan murah belum tersedia di pasaran. Sehingga, penelitian ini mencoba merancang pemanas air tenaga surya yang lebih sederhana. Kontruksi PATM terdiri dari kolektor dan tangki penyimpanan menjadi satu unit, sehingga lebih sederhana, mudah dibuat, dan murah biaya dalam pembuatan. Akan tetapi, suhu yang dicapai tetap maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan menguji PATM skala rumah tangga dengan kapasitas 17 liter dengan panjang dan diameter tangki penyimpanan adalah sebesar 100 cm dan 15 cm . Tangki penyimpanan berbentuk tabung yang dicat hitam berada di dalam kotak kolektor dengan panjang 120 cm, lebar 45 cm, dan tinggi 40 cm. Dinding kotak kolektor dibuat dari kayu dengan tebal 1 cm dan dilapisi isolator *rockwool* dengan tebal 5 cm serta kaca sebagai penutup kolektor dipasang untuk menangkap energi matahari. Pengujian dilakukan untuk mengetahui suhu air yang bisa dicapai dan efisiensi PATM, dengan variasi 4 arah bidang kolektor terhadap datangnya sinar matahari. Pengujian dilaksanakan dengan dua metode, yaitu kolektor dengan kaca tunggal dan kaca rangkap dan dilakukan dari pukul 10:00 sampai dengan 15:00. Variasi posisi kolektor terhadap arah matahari antara lain, hadap timur, hadap timur +30°, hadap timur +60° dan hadap selatan. Dari hasil pengujian didapati suhu tertinggi yang dapat dicapai adalah sebesar 65,5 °C dengan intensitas energi matahari rata-rata 830 W/m² pada posisi kolektor hadap timur +30° dengan 1 kaca penutup. Sedangkan, efisiensi tertinggi sebesar 40.55% pada posisi hadap timur.

Kata kunci : Pemanas air tenaga matahari, suhu air, intensitas radiasi, arah kolektor , efisiensi

1. Pendahuluan

Energi matahari atau radiasi surya adalah sumber energi yang dapat dikelompokkan sebagai energi terbarukan yang merupakan hasil dari reaksi fusi nuklir di inti matahari. Energi matahari sampai dipermukaan bumi akan diserap (51 %), dipantulkan, dan kembali ke angkasa luar (30%) maupun ke awan di atmosfer (19 %) [1]. Indonesia adalah negara yang dilalui garis khatulistiwa dan beriklim tropis, sehingga menjadikan Indonesia memiliki 2 musim dengan matahari yang bersinar sepanjang tahun. Potensi energi di Indonesia sangat beragam, salah satunya adalah energi terbarukan dari matahari yang besarnya adalah 4,8 kWh/m²/hari [2].

Salah satu alat yang memanfaatkan energi matahari adalah pemanas air tenaga matahari (PATM). Alat ini digunakan oleh masyarakat yang memerlukan air panas, baik itu untuk mandi, mencuci (*laundry*), maupun untuk kebutuhan lainnya. Kebutuhan akan air panas pada skala rumah tangga maupun skala besar seperti hotel, villa, maupun rumah sakit adalah berbeda, dimana untuk skala rumahan kebutuhan akan air panas adalah 50-100 L sedangkan untuk skala besar seperti hotel membutuhkan 100-150 L per hari [3].

PATM lebih sedikit dipakai dalam masyarakat daripada yang dari pemanas air energi gas (PAG) ataupun listrik (PAL) karena pemasangannya yang lebih sulit dan ukuran alat yang cukup besar. Selain itu, harga PATM lebih mahal daripada yang dari PAG dan PAL. Oleh karena itu, pengembangan atau modifikasi PATM diperlukan agar dapat menepang kebutuhan air panas masyarakat namun dengan harga lebih murah. Salah satu model modifikasi adalah PATM jenis tabung. Kontruksi pemanas ini terdiri dari kolektor dan tangki penyimpanan menjadi satu unit, sehingga kontruksi menjadi lebih sederhana dan ringkas.

Prinsip kerja pemanas air tenaga matahari (PATM) adalah panas dari matahari diterima oleh kolektor yang di dalamnya terdapat pipa-pipa berisi air. Kolektor yang berbentuk plat dan pipa yang dicat hitam akan menyerap energi radiasi matahari sehingga suhu plat dan pipa kolektor akan naik. Panas yang diterima kolektor akan diserap oleh air yang berada di dalam pipa sehingga suhu air meningkat [4]. PATM didesain dalam dua bentuk yaitu aktif dan pasif. Pengertian aktif dan pasif mengacu pada terjadinya aliran air di dalam pipa-pipa kolektor. Jika aliran air digerakkan oleh pompa disebut aktif, sedangkan aliran air yang terjadi karena beda suhu dan ketinggian disebut pasif. Desain PATM pasif memerlukan beda ketinggian saluran air masuk dan keluar. Air dingin dialirkan dari bawah sedangkan air panasnya dialirkan lewat atas karena massa jenis air panas lebih kecil daripada yang dari massa jenis air dingin (prinsip *thermosipon*). Kemudian, air masuk ke dalam tangki penyimpan panas [4,5]. Terdapat beberapa jenis kolektor matahari, diantaranya adalah kolektor matahari plat datar, kolektor dengan pemusat (*concentrating collector*), dan kolektor tabung vakum (*evacuated tube collector*).

Pada kolektor matahari, plat datar menggunakan plat hitam, kaca, dan isolator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(a). Hal ini bertujuan agar permukaan plat hitam dapat menyerap energi matahari dan memanaskan air yang ada pada pipa. Selanjutnya, kaca dan isolator digunakan untuk mengurangi panas yang akan terbuang kembali ke luar kolektor [4]. Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar adalah memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui pancaran langsung dan luas area tangkapan radiasi, tidak memerlukan *tracking* matahari, dan desain yang sederhana, memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada desain kolektor ini dapat dipasang kaca tunggal atau kaca ganda yang memungkinkan peningkatan efisiensi kolektor. Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh Vetrivel dan Mathiazhagan [6] didapati bahwa penggunaan kaca ganda akan meningkatkan efisiensi dan suhu dibanding pada kaca tunggal.



Gambar 1. (a) Kolektor matahari plat datar, (b) *Concentrating Collector*, dan (c) *Evacuated Tube Collector*

Kolektor matahari dengan pemusat (*Concentrating Collector*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(a) dapat memfokuskan energi radiasi cahaya matahari pada suatu penangkap energi (*receiver*), sehingga dapat meningkatkan kuantitas energi panas yang diserap oleh absorber. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan reflektivitas yang tinggi. Berdasarkan komponen absorbernya, jenis ini dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu *Line Focus* dan *Point Focus* [7]. *Concentrating Collector* ditujukan untuk mengkonsentrasikan energi matahari yang diperoleh kolektor ke pipa yang berisi air. Bagian *reflector* menjadi bagian terpenting yang harus diperhatikan pada kolektor ini karena arah dan sudut *reflector* akan menentukan besarnya energi yang dapat dipantulkan ke pipa [4,8].

Selanjutnya, kolektor tabung vakum (*Evacuated Tube Collector*) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1(c) dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua jenis kolektor surya sebelumnya.

Keistimewaan dari kolektor tabung vakum adalah efisiensi transfer panasnya yang tinggi tetapi faktor kehilangan panasnya yang relatif rendah [9]. Hal ini dikarenakan fluida yang terjebak diantara absorber dan selubung kaca dikondisikan dalam keadaan vakum, sehingga mampu meminimalisasi kehilangan panas yang terjadi secara konveksi antara air dalam pipa dan tabung vakum yang menyelubungi. Hal ini menyebabkan kerugian panas total dari air dalam pipa ke udara lingkungan akan diperkecil. Prestasi dari tiga kolektor tersebut dipengaruhi juga oleh arah datangnya sinar matahari dan sudut kemiringan kolektor. Pada kolektor plat datar, tidak adanya konsentrator untuk mengarahkan sinar matahari ke pipa-pipa kolektor berakibat pada arah dan kemiringan permukaan kolektor berpengaruh terhadap efisiensi [10,11]

Selain itu, terdapat jenis kolektor lain yang lebih sederhana yaitu kolektor pemanas air kotak [12]. Kontruksi kolektor pemanas air kotak terdiri dari kotak dengan penutup kaca dan di dalamnya berisi air. Sehingga kotak yang di bagian dalam dilapisi plat hitam yang berfungsi sekaligus sebagai kolektor panas matahari. Efisiensi dan suhu yang dapat dicapai adalah rendah yaitu 45 °C, akan tetapi mempunyai keunggulan sederhana dan mudah dibuat. Untuk meningkatkan efisiensi pemanas air ini, modifikasi desain dengan tetap mempertahankan kemudahan dalam pembuatan diperlukan. Desain yang dikembangkan adalah pada kotak kolektor dibuat memanjang dan dinding-dinding dalam kotak dilapisi *reflector* berupa cermin atau aluminium foil sehingga dapat meningkatkan pantulan sinar matahari ke tabung kolektor. Tabung kolektor dan penampung air diletakkan di dalam kotak kolektor.

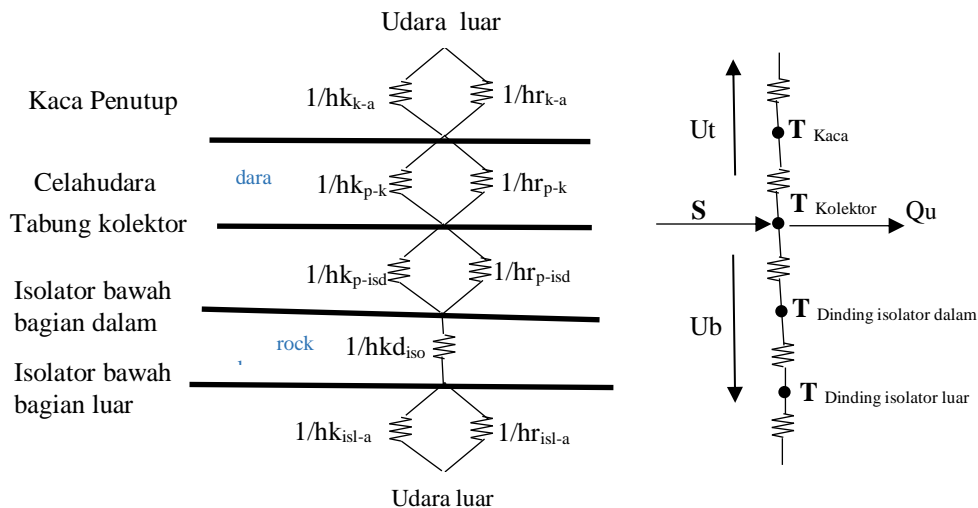
Energi radiasi matahari yang diserap tabung kolektor melalui kaca penutup, kemudian panas yang dihasilkan akan dipindahkan, ke air yang ada didalam tabung. Transfer energi radiasi matahari ke collector dapat dinyatakan dengan persamaan Q_u [4].

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_p - T_a)] \tag{1}$$

Dimana :

- Q_u = Panas yang berguna
- A_c = Luas kaca kolektor
- I = Jumlah intensitas radiasi yang jatuh pada kolektor
- $(\tau\alpha)$ = koefisien transmisivitas kaca x koefisien absorpsi pelat kolektor
- U_L = Koefisien kerugian kalor total = $(U_t + U_b)$
- T_p = Suhu pelat kolektor
- T_a = Suhu lingkungan
- $S = I \cdot \tau \cdot \alpha$ = Energi matahari yang diserap permukaan

Perpindahan energi matahari ke permukaan kolektor dan diteruskan ke air dengan jaringan termal ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jaringan termal kerugian kalor [4]

Energi berguna Q_u , digunakan untuk menaikkan suhu air awal (T_i) ke suhu akhir (T_o), yang bisa dituliskan dalam persamaan 2.

$$Q_u = m \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \tag{2}$$

Prestasi pemanas air tenaga matahari dinyatakan dengan efisiensi termal, η

$$\eta = Q_u / (A_c \cdot I) \cdot 100 \% \quad (3)$$

dimana: η = Efisiensi kolektor (%)

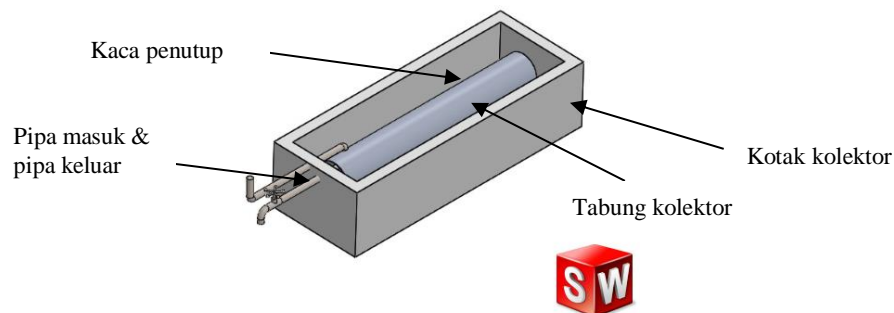
A_c = Luas kaca kolektor (m²)

I = Intensitas radiasi matahari jatuh pada permukaan kaca (W/m²)

2. Bahan dan Metodologi Penelitian

Konstruksi pemanas air tenaga matahari jenis tabung terdiri dari tiga komponen utama yaitu tabung kolektor, kotak kolektor, dan kaca penutup kotak kolektor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Tabung kolektor berada di dalam kotak kolektor dan berisi air yang berfungsi untuk menangkap energi matahari. Tabung kolektor di samping berfungsi sebagai kolektor panas radiasi dan tangki penyimpanan air panas. Hal ini bertujuan untuk bentuk yang sederhana sehingga mengurangi volume alat dan mudah dibuat, namun masih mempunyai efisiensi yang tinggi. Kotak kolektor sebagai rumah dari tabung kolektor dan sebagai *reflector* panas ke tabung kolektor. Karena sebagai *reflector* panas, maka dalam dinding kotak kolektor dipasang *reflector* cermin atau aluminium foil. Kaca penutup berfungsi untuk mentransmisikan radiasi matahari dan diserap tabung kolektor. Kaca penutup juga berfungsi sebagai isolator panas, sehingga panas radiasi tetap terperangkap dalam ruang kotak kolektor (efek rumah kaca) sehingga meningkatkan efisiensi kolektor pemanas air.

Tabung kolektor terbuat dari bahan aluminium yang dicat hitam untuk menambah nilai absorpsi panas. Tabung dengan ukuran diameter 15 cm dan panjang 100 cm dapat menampung sekitar 17,66 L air. Kotak kolektor dibuat dari kerangka kolektor dari besi siku dengan tebal 3 mm dan dilapisi plat besi dengan tebal 1 mm. Ukuran kotak kolektor memiliki panjang 120 cm, lebar 45 cm dan tinggi 40 cm. Ukuran ini memberikan jarak 10 cm dari sisi bagian dalam kotak ke tabung kolektor. Tabung kolektor dipasang di dalam kotak kolektor dan dilengkapi pipa air masuk dan keluar. Dalam kotak kolektor dilapisi isolator dari bahan *rockwool* dengan densitas 80 kg/m³ dan konduktivitas thermal adalah 0.034 W/m0K. Isolator dipasang untuk mengurangi panas yang hilang sehingga meningkatkan efisiensi. Pengujian ini menggunakan dua metode yaitu dinding dalam kotak kolektor dipasang reflektor dan tidak dipasang reflektor dan kaca penutup digunakan kaca bening/transparan biasa dengan tebal 3 mm. Akan tetapi, dalam artikel ini hanya ditampilkan pengujian tanpa *reflector* dengan kaca tunggal dan kaca ganda.



Gambar 3. Pemanas air tenaga matahari jenis tabung

Pengujian dilakukan dengan menempatkan pemanas air tenaga matahari jenis tabung dibawah pancaran sinar matahari langsung dan dilakukan selama 6 jam dari jam 09.00 s.d 15.00. Terdapat dua metode pengujian yaitu pengambilan data untuk penggunaan kaca penutup tunggal dan kaca penutup dobel/ganda. Setiap metode divariasikan empat arah kolektor, yaitu menghadap timur, menghadap timur +30⁰, menghadap timur +60⁰, dan menghadap selatan. Tabung kolektor diisi penuh dengan air. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa radiasi matahari yang ditangkap tabung akan diteruskan ke air tanpa harus melalui udara dalam tabung, sehingga perpindahan panas dari dinding tabung ke air tinggi. Data yang diambil adalah pengukuran suhu air di dalam tabung, permukaan tabung kolektor, udara lingkungan, dan intensitas radiasi matahari. Pengukuran suhu air digunakan sensor LM35 dan diolah dengan program Simuling. Kemudian, pengukuran suhu di bagian lain, permukaan tabung, kaca, dan udara lingkungan dilakukan pengukuran secara manual dengan *thermometer infrared* dan *thermometer* tabung. Sedangkan intensitas matahari diukur dengan *solar power meter*. Semua pengukuran dilakukan dan dicatat setiap 60 menit. Data-data hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui prestasi pemanas air yaitu suhu tertinggi dan efisiensi yang dapat dicapai.

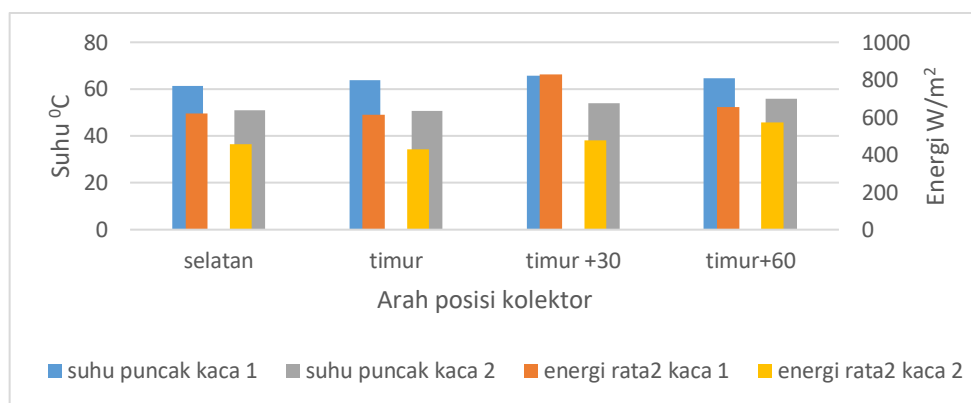
Prosedur pengujian dilakukan dengan menempatkan kolektor pemanas air tenaga matahari ditempat terbuka yang tidak terhalang oleh bangunan ataupun pohon-pohon yang dapat mengurangi pancaran matahari sampai permukaan kolektor. Data-data pengukuran harus dikalibrasi dengan alat ukur yang standard sehingga diperoleh data yang benar. Hanya pada *solar power meter* tidak dilakukan kalibrasi dengan asumsi alatnya baru sehingga ketepatan masih bisa dipertanggungjawabkan. Pengambilan data dimulai jam 09.00 hingga 15.00, dimana intensitas radiasi matahari sudah cukup tinggi dan fluktuasi adalah rendah (rata-rata 800 W/m²). Pada pengambilan data dilakukan dengan variasi arah kolektor yang berbeda dan selalu memperhatikan cuaca pada saat pengujian agar diperoleh intensitas matahari yang sama

dengan hari-hari sebelumnya. Jika pada hari tertentu didapat data yang jauh dari sebelumnya, maka perlu dilakukan pengulangan untuk mendapatkan data intensitas matahari yang sama

Pengujian dimulai dengan menempatkan kolektor dengan penutup kaca tunggal menghadap ke timur, kemudian pada hari berikutnya dilakukan pengujian dengan menggeser arah kolektor menghadap ke timur +30°, ke timur+60°, dan terakhir kolektor menghadap arah selatan. Dengan prosedur dan urutan yang sama pengujian untuk kolektor dengan penutup kaca ganda. Data-data suhu dan intensitas matahari digunakan untuk menghitung prestasi pemanas air yaitu energi berguna (Qu) dan efisiensi (η) yang dapat dihitung dengan persamaan 2 dan 3. Dari data pengujian dan perhitungan ini, kemudian disajikan dalam tabel maupun grafik.

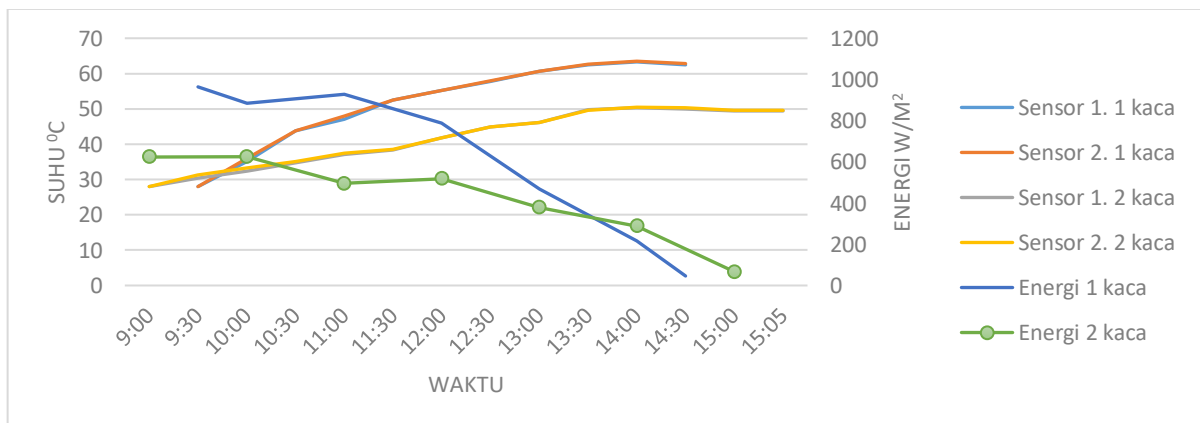
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pemanas air tenaga matahari jenis tabung dilakukan di bawah sinar matahari langsung. Data-data diambil selama 6 jam setiap kali pengujian dan dilakukan saat matahari memancarkan intensitas radiasi yang sama dengan hari sebelumnya. Data pengujian suhu pada variasi arah kolektor dan perhitungan efisiensi kolektor ditampilkan dalam grafik Gambar 4 s.d Gambar 8 dan Tabel 1. Dari Gambar 4 didapat bahwa suhu air tertinggi pada pemanas air kaca tunggal terjadi saat posisi hadap timur +30° sebesar 65,6°C dengan energi rata-rata sekitar 830 W/m². Untuk pemanas air kaca ganda suhu air tertinggi adalah pada posisi timur +60° sebesar 54,3°C dengan energi rata-rata sekitar 570 W/m².

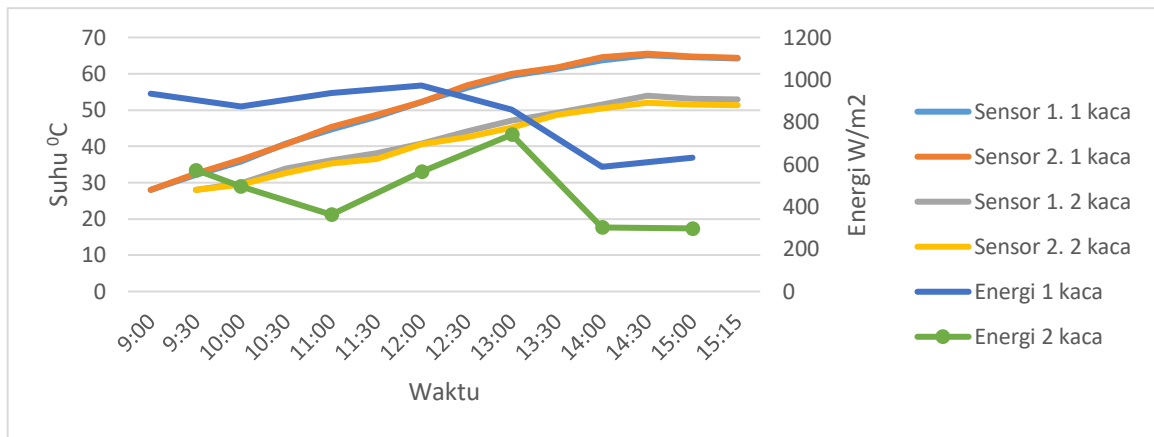


Gambar 4. Perbandingan suhu puncak air dan energi rata-rata

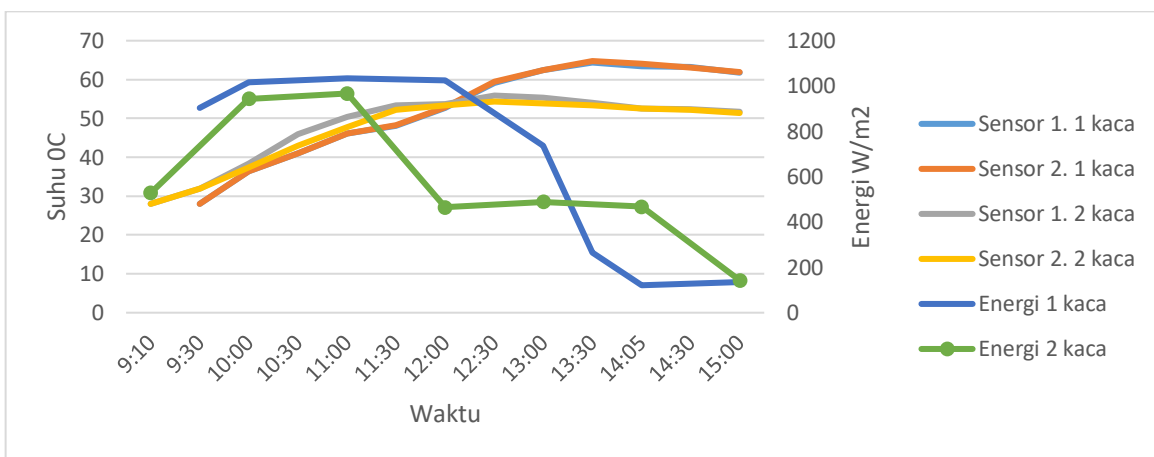
Dari Gambar 4 teramati bahwa pengaruh energi terhadap suhu air berpengaruh besar disebabkan energi matahari yang tersimpan digunakan sebagai energi untuk memanaskan air. Jika energi yang tersimpan besar maka suhu air pun akan semakin tinggi. Perbedaan suhu kaca tunggal dan kaca ganda tidak bisa dijadikan ukuran bahwa pemanas dengan kaca tunggal lebih baik daripada yang dari kaca ganda. Pada saat pengujian, kaca ganda energi matahari yang diterima kolektor lebih kecil sehingga suhu air maksimum menjadi lebih rendah daripada yang dari panas penggunaan kaca ganda. Adapun detail perubahan suhu air terhadap waktu dan arah kolektor terhadap matahari ditunjukkan dengan Gambar 5 s.d Gambar 8. Peningkatan suhu dimulai saat pengujian dan berangsur-angsur naik hingga puncak pada jam 14.00, sementara energi matahari berangsur-angsur menurun pada jam 12.00. Walaupun energi matahari sudah menurun pada jam 12.00, namun masih terdapat peningkatan suhu air hingga jam 14.00. Hal ini menunjukkan bahwa energi masuk masih lebih tinggi daripada energi yang hilang.



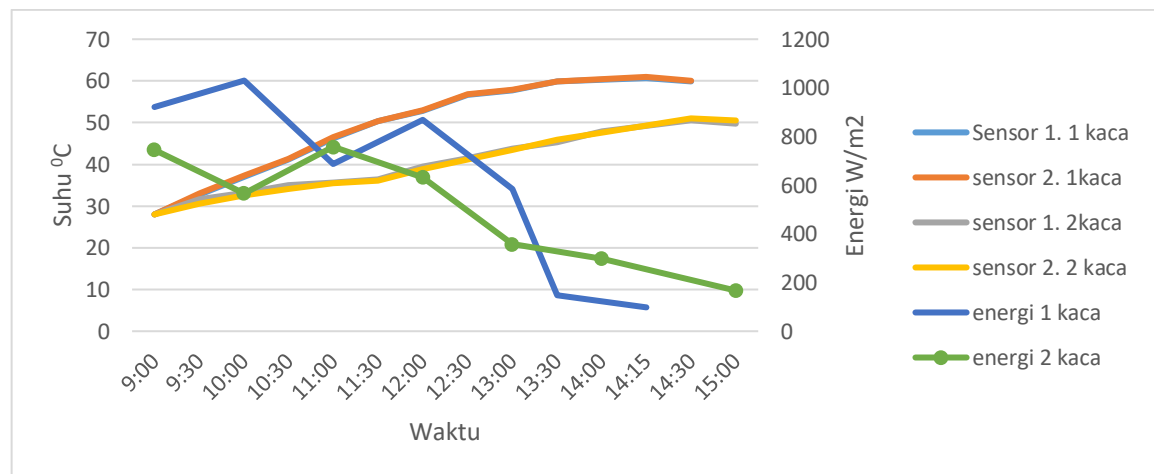
Gambar 5. Grafik perbandingan arah timur



Gambar 6. Grafik perbandingan suhu arah timur +30°



Gambar 7. Grafik perbandingan suhu arah timur +60°



Gambar 8. Grafik perbandingan suhu arah selatan

Dari Gambar 4 s.d Gambar 8 teramati bahwa pemanas air dengan kaca tunggal memiliki suhu air lebih tinggi daripada yang dari pemanas air kaca ganda. Hal ini disebabkan karena energi radiasi matahari pada pemanas air kaca tunggal saat pengujian lebih besar dari pada kaca ganda. Rata-rata energi matahari untuk kaca tunggal adalah 830 W/m². Sedangkan pada kaca ganda, rata-rata energi matahari yang dapat ditangkap kolektor adalah 570W/m². Perubahan suhu terhadap waktu menunjukkan perubahan yang kontinu, berbeda dengan energi radiasi yang berfluktuasi. Hal ini karena faktor cuaca akan berpengaruh terhadap energi yang dapat ditangkap kolektor. Awan yang lewat tiba-tiba akan mempengaruhi perubahan energi yang diterima kolektor. Berbeda dengan suhu, energi yang diterima kolektor dan air tidak segera merubah suhu air secara tiba-tiba karena tabung kolektor yang berisi, sehingga perubahan suhu air dapat secara kontinu.

Pengaruh kaca tunggal atau kaca ganda dan arah kolektor terhadap energi matahari rata-rata selama 6 jam pengujian didapat efisiensi yang berbeda yang dapat ditunjukkan dengan tabel 1 berikut:

Tabel 1. Efisiensi kolektor pemanas air tenaga matahari

Posisi	Q_u (KJ)	I (KJ)	η (%)
selatan 1 kaca	2126.65	6477.10	32.83
timur 1 kaca	2365.48	5833.01	40.55
timur+30 1 kaca	2440.45	9446.43	25.83
timur +60 1 kaca	2272.66	6841.10	33.22
Selatan 2 kaca	1480.84	5214.84	28.39
timur 2 kaca	1496.54	4882.88	30.64
timur+30 2 kaca	1712.17	4991.23	34.30
timur +60 2 kaca	1570.09	6340.75	24.76

Dari Tabel 1 didapat bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada posisi kolektor hadap timur dengan kaca tunggal yaitu sebesar 40.55%, walaupun pada posisi ini tidak diperoleh suhu tertinggi. Suhu air tertinggi terjadi pada posisi kolektor hadap timur +30. Sedangkan kolektor dengan penutup kaca ganda mempunyai suhu dan efisiensi yang lebih rendah. Hal ini karena intensitas matahari rata-rata saat pengujian pada kaca ganda lebih rendah (570 W/m^2) daripada saat pengujian kaca tunggal (830 W/m^2).

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa suhu maksimum yang dihasilkan oleh pemanas air tenaga matahari dari hasil pengujian adalah sebesar $65,5^\circ\text{C}$ pada posisi hadap timur + 30° dengan kaca tunggal dan intensitas radiasi rata-rata sebesar 830 W/m^2 . Selanjutnya, efisiensi tertinggi dalam 6 jam pengujian didapat sebesar 40,55% pada posisi hadap timur dengan kaca tunggal. Pada variasi arah kolektor terhadap matahari tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada suhu air yang dapat dicapai. Suhu tertinggi dari ke tiga arah adalah 64°C s.d $65,5^\circ\text{C}$ hanya pada hadap arah timur +60 yang agak jauh perbedaannya yaitu hanya mencapai suhu 60°C .

4.2 Saran

Prestasi penggunaan kaca ganda lebih rendah daripada yang dari kaca tunggal. Hal ini dikarenakan pada pengujian yang kami lakukan tidak dilakukan pada bulan yang sama, sehingga intensitas radiasi rata-rata terukur mempunyai perbedaan yang cukup besar (830 W/m^2 untuk kaca tunggal dan 570 W/m^2 untuk kaca ganda). Oleh karena itu, pengujian dengan menggunakan dua pemanas yang sama dengan jumlah kaca yang berbeda diperlukan.

Daftar Pustaka

- [1] Ahrens, C. Donald. *Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate and Environment*. Thomson Learning, Inc. America, 2003
- [2] Septiadi, D., Nonlohv, P., Souissa dan Rumlawang, M. Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon dan Sekitarnya). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol 10, N 1, hal. 22-28, 2009
- [3] Badan Standardisasi Nasional 2005. *Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing*. ICS 91.140.60, Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-7065-2005
- [4] Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. 2006,
- [5] Energi-ku : <http://www.energi-ku.com/2015/03/pemanfaatan-panas-sinar-matahari-solar.html>
- [6] Vettrivel, H & Mathiazhagan, P. Comparison Study of Solar Flat Plate Collector with Single and Double-Glazing Systems. *International Journal of Renewable Energi Research* Vol.7, No.1, hal. 267 -274, 2017
- [7] Andrew Petre. *Development of a Concentrating Solar Water Heater with Phase Change Energi Storage*. Thesis for the Degree Master of Science, Arizona State University, December 2015.
- [8] Aidah M J Mahdi, Khaleel I Abass, Raid S Jawad. The performance of an effective solar water heater enhancement based on experimental study. *WWJMRD*; 4(7): 50-54 -2018
- [9] Shatat, M. Riffat, S & Agyenim, F. Experimental Testing Method for Solar Light Simulator with an Attached Evacuated Solar Collector. *International journal Energi Environ* Vol 4, NO 2, hal. 219-230. 2013
- [10] H. Gunerhan, A Hepbasli. Determination of the tilt angle of solar collectors for building applications. *Building and environment*, vol. 42, pp. 779-783, 2007
- [11] S. Soulayman, M. Hammoud. Optimum tilt angle of solar collectors for building applications in mid latitude zone. *Energi conversion and management*, vol. 124, pp 20 - 28, 2016
- [12] Fauzy Tulus B.S, Himsar, A. Rancang bangun Pemanas air Tenaga surya tipe kotak yang dilengkapi *phase change* material kapasitas 100 L. *Jurnal dinamis* vol 1, 44-50, 2012