

PENGEMBANGAN PENYIMPAN AIR PANAS PADA SISTEM HIBRID SOLAR THERMAL AIR CONDITIONING

- 1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Lohbener Lama 08, Indramayu, 45252,
- 2) Staf Pengajar Universitas Diponegoro, Semarang

Correponding email ^{1*)} :
k.yudhy@yahoo.com

Received: 10-10-2019
Accepted: 12-12-2019
Published: 28-12-2019

©2019 Politala Press.
All Rights Reserved.

Yudhy Kurniawan^{1*)}, Kusnandar¹⁾, Berkah Fajar Tamtomo Kiono²⁾, Tony Suryo Utomo M.S.K²⁾

Abstrak. Pemanfaatan panas AC split sebagai pemanas air saat ini sudah dirintis namun masih banyak menggunakan heater dari energi listrik. Begitu pula pemanfaatan radiasi panas matahari sebagai sumber pemanas juga sudah banyak dibuat. Pada penelitian ini membahas jika kedua system tersebut digabung menjadi system hybrid-Solar Thermal Air Conditioner. Yaitu system yang menggabungkan panas refrigeran pada discharge line kompresor AC split dan panas solar kolektor. Alat ini sudah dibuat pada penelitian sebelumnya hanya saja terbatas pada analisis terhadap pencapaian temperatur pemanasan 40 oC dalam waktu 20 menit. Namun kendala yang dialami panas belum bisa bertahan lebih lama karena memanfaatkan waktu beban puncak dari radiasi matahari, dan isolasi tangki yang tipis. Untuk itu dikembangkan sistem hibrid dengan penggantian tangki pemanas air. Metodenya diawali dengan membuat model modifikasi sistem hibrid, penentuan material insulasi tangki dan ketebalan dinding penyimpanan panas agar heat loss air dapat direduksi. Kemudian pada solar collector dimodifikasi dengan instalasi pipa seri serta sudut kemiringan kolektor 20o. Untuk sirkulasi aliran refrigeran dari discharge line kompresor ditambahkan kontrol otomatis, hal ini diharapkan kinerja alat lebih maksimal. Hasil yang diperoleh dapat diketahui seberapa efektif waktu penyimpanan air panas dan kinerja dari system tersebut.

Kata Kunci : penyimpanan panas air, Sistem hibrid, kinerja

Abstract. The utilization of Split AC as a water heater is now initiated but still uses a heater from electricity. Besides that, the use of solar thermal radiation as a source of heating has already made much. In this study discussed if both systems were merged into a hybrid-Solar Thermal Air Conditioner system. Namely system that combines heat refrigerant on the discharge line compressor AC and heat solar collectors. This system has been designed in previous studies only limited to the analysis on the achievement of the temperature 40 oC within 20 minutes. But the obstacles experienced by heat cannot last longer because it utilizes peak load time from solar radiation, and thin tank insulation. For it developed a hybrid system with the replacement of hot water tank. The method begins by creating a model for the hybrid system modification, the determination of tank insulation material and heat storage wall thickness so that the water heat loss can be reduced. Then on the solar collector modified by the pipe installation series as well as the 20o collector tilt angle. For circulation flow refrigerant from the discharge line compressor added automatic control, it is expected the performance of the system more maximized. The result can be known how effective hot water storage time and performance of the system..

Keywords : Hot water storage, hybrid system, performance

To cite this article at <https://doi.org/10.34128/je.v6i2.107>

1. Pendahuluan

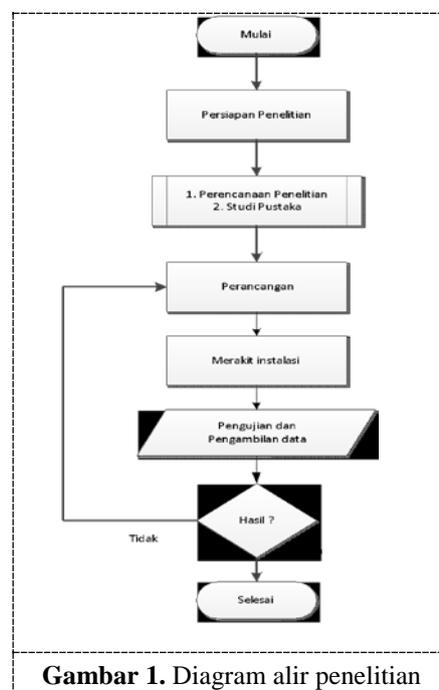
Alat pengkondisian udara banyak diperlukan di Negara yang beriklim tropis seperti Indonesia dimana kondisi udara cenderung panas dan lembab, sehingga tidak nyaman untuk beraktivitas. Sedangkan pemanas air digunakan untuk mandi air panas sebagai sarana relaksasi tubuh setelah penggunaannya melakukan aktivitas yang melelahkan sepanjang hari. Alat pengkondisian udara umumnya mengkonsumsi energi listrik untuk beroperasi yang besarnya tergantung dari kapasitas pendinginannya, sedangkan pemanas air memiliki sumber energi yang lebih bervariasi yaitu gas, listrik, dan surya. Pada kondisi yang lain perlu disadari bahwa kebutuhan bahan bakar fosil semakin besar sementara ketersediaannya semakin menipis, sehingga jika tidak dilakukan inovasi tentang energi alternatif akan mengancam generasi yang akan datang, dan untuk saat ini konsumsi terbesar sekitar 42,5 % ada pada total konsumsi listrik [1], sedangkan kebutuhan energi listrik terbesar ada pada penggunaan pengkondisian udara (AC split). Dan selama ini pemanas air diperoleh secara terpisah, seperti pemanfaatan panas buang refrigeran pada pipa luaran (discharge line) kompresor AC split dengan istilah ACWH (Air Conditioning Water Heater) atau pemanfaatan solar termal kolektor sebagai pemanas air dengan istilah SWH (Solar Water Heater), sedangkan kombinasi system dengan memanfaatkan sistem gabungan sebagai sumber energi masih jarang dilakukan penelitian. Dengan alasan ini perhatian penelitian akan dilakukan analisis seberapa besar performansi dari sistem kombinasi alat tersebut bekerja jika digabungkan menjadi sistem hybrid-Solar Thermal Air Conditioner (STAC). Hasil yang dilakukan pada pengkajian penelitian sebelumnya hanya sebatas pada seberapa besar pengaruh penggabungan unit solar termal kolektor dan Air Conditioner untuk pemanas air terhadap efisiensi sistem, namun panas air yang dihasilkan di dalam tangki belum bisa bertahan lama karena hanya memanfaatkan waktu beban puncak pemanasan dari radiasi matahari, dan bahan isolasi tangki yang tipis.

Penggunaan sistem hibrid ini digunakan sebatas pada analisis pengaruh sistem hibrid terhadap pencapaian temperatur pemanasan lebih dari 40 oC dalam waktu sekitar 20 menit dan penghematan energi sebesar 16% [2]. Untuk itu pada penelitian ini dikembangkan sistem hibrid dengan penggantian alat penukar kalor (APK) yang sekaligus sebagai penyimpan air panas. Hasil yang diperoleh diharapkan tidak hanya didapatkan kinerja yang lebih maksimal dan penghematan energi, namun efektifitas penyerapan air panas pada tangki penyimpan panas lebih lama sesuai yang diharapkan berkisar 40°C-50°C [3], sehingga dapat diimplementasikan pada sektor rumah tangga atau komersial.

2. Metodologi

Tahapan Penelitian

Pada tahapan penelitian ini dapat dilakukan dalam urutan kegiatan sebagai berikut (Gambar 1):

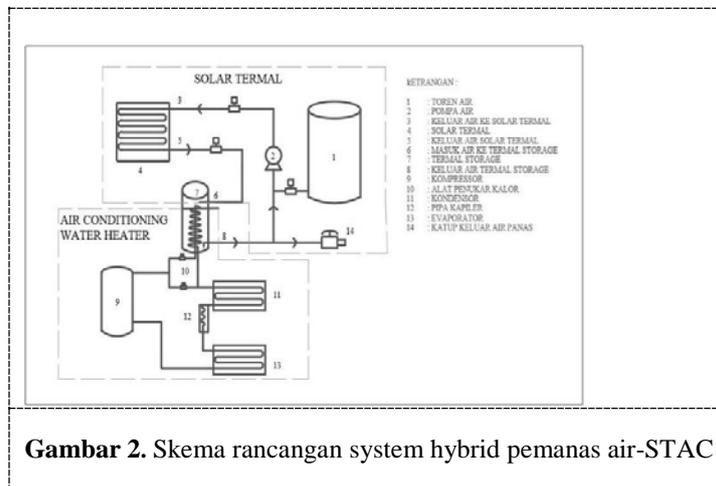


Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah secara teoritis dan eksperimental. Metode secara teoritis menggunakan parameter rancangan dari sistem hybrid tersebut, sedangkan metode secara eksperimental dilakukan setelah prototype alat beroperasi dengan baik kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui analisis performansi sistem hybrid tersebut. Skema rancangan system hybrid dapat dilihat pada Gambar 2. Tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Tahapan Persiapan (perencanaan dan studi pustaka)
2. Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan materi mengenai pendahuluan, tinjauan pustaka, data-data atau informasi sebagai bahan acuan dalam melakukan pengujian. Perencanaan dilakukan agar tidak terjadi banyak kesalahan pada saat proses pembuatan alat.

Tahapan Perancangan

Tahapan ini merupakan tahapan awal mendesain sistem yang akan dibuat. Dalam tahapan ini diperlukan data rancangan awal sistem. Perancangan desain *discharge line* kompresor dan solar termal kolektor yang akan dibuat dengan memanfaatkan panas dari keduanya. Setelah itu memilih material dan komponen yang akan digunakan.



Gambar 2. Skema rancangan system hybrid pemanas air-STAC

Tahapan Pembuatan Prototipe

Setelah desain rancangan selesai dibuat, selanjutnya membuat prototype system hybrid pemanas air yang dinamakan STAC (*Solar Thermal Air Conditioning*). Untuk AC *split* ini menggunakan refrigerant R32 yang ramah lingkungan. Sedangkan untuk solar termal kolektor menggunakan jenis *flat plate*. Kemudian menambahkan beberapa alat yang diperlukan untuk memodifikasi menjadi sebuah prototype system hybrid.

STAC-*hybrid system* merupakan sistem pemanas air menggunakan kolektor energi surya jenis plat datar yang dikombinasikan dengan ACWH (*Air conditioning Water Heater*). Sistem *hybrid* ini didesain seminimalis mungkin agar penggunaan bahan sesuai dengan kebutuhan alat tersebut (lihat Gambar 3 dan Gambar 4).

Untuk komponen utama sistem refrigerasi yang dipilih adalah sistem refrigerasi AC (*Air Conditioner Split*) yang dimodifikasi dengan mengkombinasikan sistem seperti :

- a. *Solar Thermal Collector*, adalah sebuah elemen pemanas menggunakan pipa yang memanfaatkan panas matahari dimana panas elemen tersebut dialirkan air sehingga terjadi perpindahan panas pada air tersebut.
- b. Tangki Alat Penukar Kalor (APK) merupakan suatu peralatan dimana terjadinya perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida lain yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut terjadi secara langsung atau tidak langsung. Maksudnya APK secara langsung, yaitu fluida panas akan bercampur langsung dengan fluida yang dingin (tanpa adanya pemisah) dalam tangki. Sedangkan maksud APK secara tidak langsung, yaitu dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin, jadi perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya. Pada tangki ini berfungsi pula sebagai penyimpanan panas air.



Gambar 3. Instalasi solar kolektor tipe seri dengan kemiringan sudut 20° (ditempatkan diatas gedung)



Gambar 4. Sistem instalasi *Air Conditioning Water Heater* (ACWH): 1. Tangki pengisi; 2. Tangki pemanas air (APK); 3. *Condensing unit*; 4. Pompa air; 5. *Power panel*

Tahapan Pengambilan Data

Dalam tahapan pengambilan data ini, akan diambil beberapa data dengan menggunakan alat ukur seperti: thermometer digital dan thermocouple, pressure gauge, flowmeter, multimeter, dan solar power meter. Sedangkan data-data yang diperlukan sebagai berikut: temperatur udara lingkungan, temperatur dan tekanan kompresor, temperatur dan tekanan katup ekspansi, temperatur dan tekanan evaporator, temperatur dan tekanan kondensor, temperatur air masuk dan keluar tangki APK, temperatur air pada *solar thermal collector*, temperatur air pada bak penampung, laju aliran volume bak/tangki penampung, tegangan dan arus listrik, irradiasi matahari.

Sebelum pengambilan data, perlu diperhitungkan terlebih dahulu berdasarkan data-data rancangan agar menjadi perbandingan saat analisis hasil pengujian.

Perancangan Sistem Hibrid-STAC

Hasil perhitungan *Solar Water Heater* (SWH) dapat menggunakan persamaan energy panas dan efisiensi dari solar kolektor sebagai berikut [6]:

1. Menentukan laju perpindahan panas untuk pemanas air (Q_{air})

Perhitungan panas untuk memanaskan air dapat menggunakan persamaan:

$$q_{air} = \dot{m}c \cdot cp (T_o - T_i) \quad (1)$$

$$q_{air} = 0.01 \text{ kg/s} \times 4179 \text{ J/kg} \cdot \text{oC} \cdot (40 \text{ oC} - 30 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$q_{air} = 417.9 \text{ J/s} = 417.9 \text{ Watt}$$

Dimana:

- q = energy panas dari air pemanas matahari (J/s)
- $\dot{m}c$ = laju aliran massa dari pemanas air (kg/s)

$$\dot{m}c = \rho \cdot Vt = 0.01 \text{ kg/s} \quad (2)$$

- ρ = massa jenis water (1000 kg/m³) [8]
- V = volume water dalam tangki (30L = 0.03 m³)
- t = waktu air panas tercapai (45 minute = 2700 s)
- cp = kapasitas panas jenis pada tekanan konstan dari air (4179 J/kg.°C) [8]
- T_o = temperature air awal (°C)
- T_i = temperature air panas tercapai (°C)

Untuk efisiensi solar kolektor menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{q_{air}}{I_s \cdot A_k} \times 100\% \quad (3) \quad \eta = \frac{417.9 \text{ Watt}}{677 \text{ W/m}^2 \times 1 \text{ m}^2} \times 100\%$$

$$\eta = 62 \%$$

Dimana:

- η = efisiensi solar kolektor (%)
- q = energy panas dari air pemanas matahari (J/s) or (watt)
- I_s = radiasi matahari (W/m²)
- A_k = luas kolektor (m²)

Hasil perhitungan dari *Air Conditioning Water Heater* (ACWH) [4] dapat menggunakan diagram p-h dari refrijeran R32 (Gambar 5), dimana akan ditentukan efisiensi refrijerasi sebagai berikut:

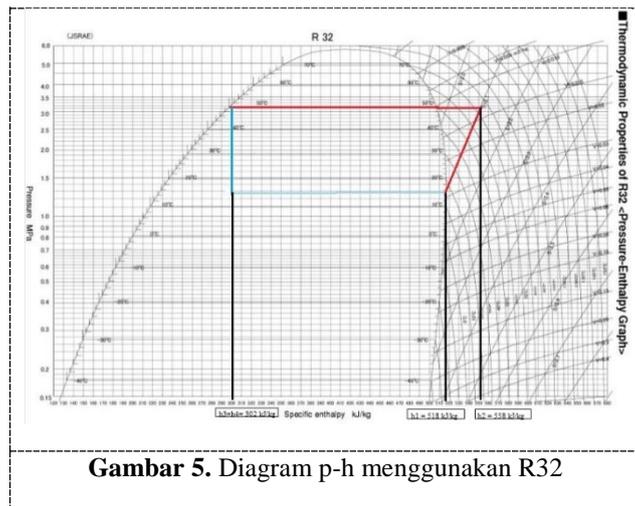
Diketahui:

- Temperatur Evaporator (T_e) = 15 °C
- = 288 K
- Temperatur Condenser (T_c) = 50 °C
- = 323 K

Nilai entalpi diperoleh:

- h_1 = 518 kJ/kg
- h_2 = 558 kJ/kg
- $h_3 = h_4$ = 302 kJ/kg





Gambar 5. Diagram p-h menggunakan R32

2. Menentukan Kerja Kompresi (q_w)
Jumlah kerja kompresi per satuan massa refrijeran dapat dihitung dengan persamaan:
 $q_w = h_2 - h_1 = 558 - 518 = 40 \text{ kJ/kg}$
3. Menentukan panas yang dilepas (q_c)
Jumlah panas refrijeran yang dilepas oleh condenser dapat dihitung dengan persamaan:
 $q_c = h_2 - h_3 = 558 - 302 = 256 \text{ kJ/kg}$
4. Menentukan efek refrigerasi (q_e)
Jumlah panas yang diserap oleh evaporator dapat dihitung dengan persamaan:
 $q_e = h_1 - h_4 = 518 - 302 = 216 \text{ kJ/kg}$

5. Menentukan nilai koefisien kinerja refrigerasi (COP) terbagi menjadi:

1. COP actual

COP actual dapat diekspresikan sebagai perbandingan antara efek pendinginan dan kerja kompresor:

$$\text{COP actual} = \frac{q_e}{q_w} = \frac{216}{40} = 5.4$$

2. COP Carnot

COP Carnot untuk system tata udara dapat diekspresikan dalam teorema Carnot menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{COP carnot} &= \frac{T_e}{T_c - T_e} \\ &= \frac{288}{323 - 288} = 8.2 \end{aligned}$$

6. Menentukan efisiensi pendingin (η_p)
Efisiensi pendingin dapat digambarkan perbandingan antara proses actual terhadap proses ideal (teorema Carnot). Definisi diatas dapat dijelaskan dalam persamaan berikut[10]:

$$R = \frac{\text{COP actual}}{\text{COP carnot}} \quad (4)$$

$$R = \frac{5.4}{8.2} = 68\%$$

7. Menentukan panas yang dilepas dari keluaran kompresor (*discharge line*) (Q_{coil})
Panas yang dilepas dari pipa luaran kompresor dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut [2]:

$$Q_{coil} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (5)$$

\dot{m} = compressor power / Compression work q_w

$$\dot{m} = \frac{0.43 \text{ kW}}{40 \text{ kJ/kg}} = 0.01 \text{ kg/s}$$

Dimana:

- Q_{coil} = panas yang dilepas dari pipa luaran kompresor (Watt)
- \dot{m} = laju aliran massa refrijeran (kg/s)
- C_p = kapasitas panas jenis pada tekanan konstan dari refrijeran (3,560 J/kg.°C) [9]
- ΔT = perbedaan temperature koil refrijeran antara temperature koil masuk tangki (T_{in}) dengan temperature keluar tangki (T_{out}). Dimana: T_{in} is 66 °C (339 K) and T_{out} is 50 °C (323 K), sehingga diperoleh $\Delta T = T_{in} - T_i = 339 - 323 = 16$ K

Sehingga berdasarkan persamaan (5) diperoleh $Q_{out} = 612.3$ Watt

8. Menentukan efisiensi pemanas air (η)

Menghitung efisiensi pemanas air dapat menggunakan persamaan berikut [2]:

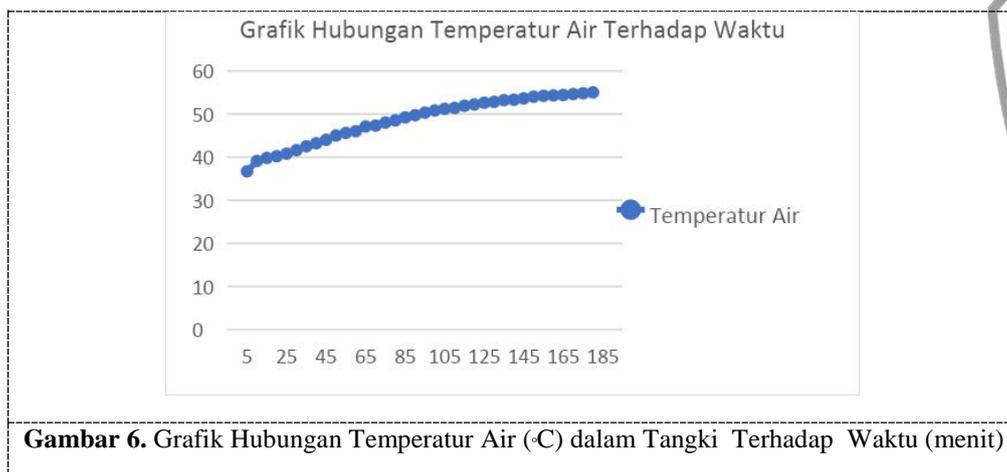
$$\eta = \frac{Q_{water}}{Q_{coil}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\eta = \frac{417.96}{612.3} \times 100\%$$

$$\eta = 68\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengambilan data pada pengujian dilakukan untuk mengetahui capaian temperature rancangan (40 °C) pada system hybrid pemanas air yang sesuai dengan rancangan. Pengambilan data dilakukan saat system beroperasi. Dibawah ini hasil pengujian dapat dibuat pada grafik sebagai berikut (Gambar 6):

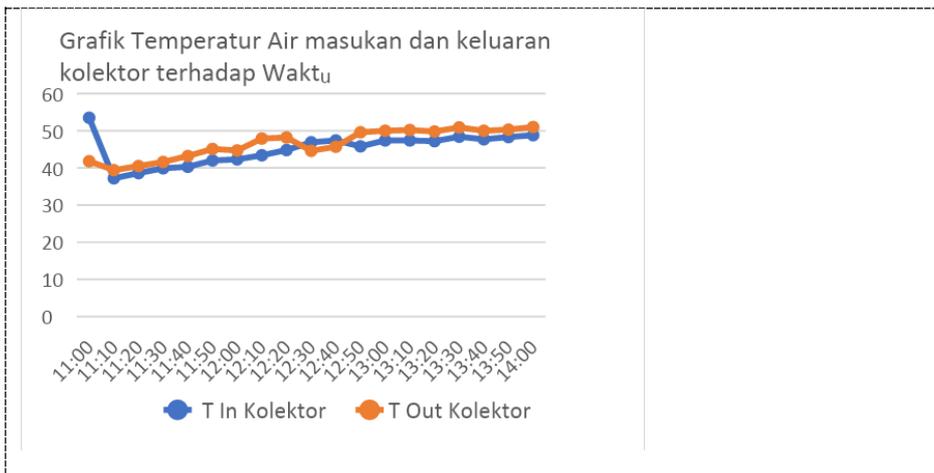


Gambar 6. Grafik Hubungan Temperatur Air (°C) dalam Tangki Terhadap Waktu (menit)

Pengambilan data dilakukan selama 3 jam dengan mengoprasikan dua sistem ACWH dan SWH. Grafik diatas dijelaskan 5 menit pertama temperature air mencapai 36,7 °C dan selama 30 menit temperature air mencapai diatas 40 °C. Berikut hasil pengambilan data masing-masing sistem dalam satu pengoprasian yang sama:

1. Hasil pengujian dari *solar water heater* (SWH)

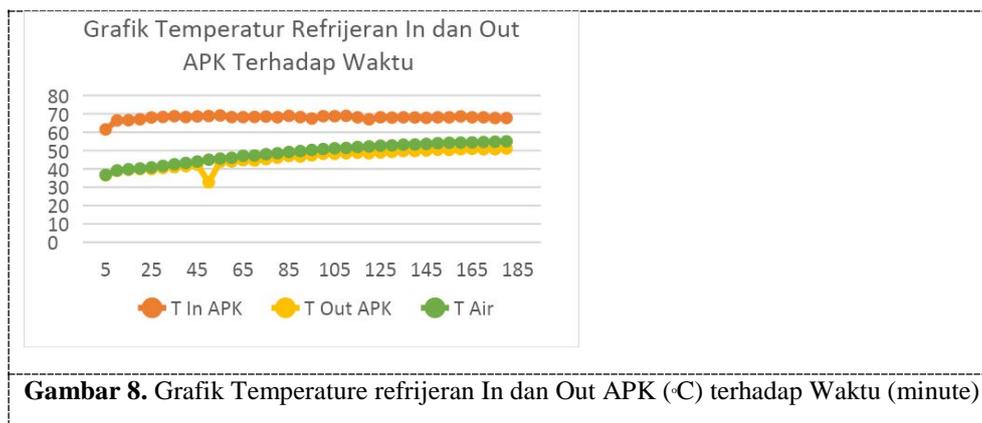
Pengambilan data dilakukan selama tiga jam pada pukul 11:00 - 14:00 WIB. Berikut hasil pengambilan data dalam bentuk grafik (Gambar 7):



Gambar 7. Grafik Temperatur Air Masukan dan Keluaran kolektor terhadap Waktu

Dari grafik pada Gambar 7 dapat dilihat temperature air masuk pada pukul 11:10 yaitu mencapai temperature 38 °C pada saat mengalami proses pemanasan oleh kolektor energi surya, temperature air mengalami peningkatan suhu secara teratur. Sehingga temperature air keluaran kolektor mencapai temperature rancangan pada pukul 11:30 yaitu 42 °C dengan lama waktu pemanasan 30 menit. Kemudian Temperatur terpanas keluaran kolektor selama 3 jam pada pukul 14:00 yaitu 55 °C.

- Hasil pengujian dari *Air Conditioning Water Heater (ACWH)* Pengambilan data dilakukan selama tiga jam dengan waktu yang sama dengan SWH. Berikut pengambilan data dalam bentuk grafik (gambar 9):



Gambar 8. Grafik Temperature refrijeran In dan Out APK (°C) terhadap Waktu (minute)

Grafik data pada Gambar 8 menjelaskan kenaikan dan penurunan temperature refrigerant masuk APK dan keluar APK melalui air didalam tangki air panas selama 3 jam dengan menggunakan tipe helikal pipa ¼ inch. Sehingga temperature air rancangan tercapai pada menit ke 20 yaitu 40,2 °C dengan temperatur masuk APK 67 °C, dimana selisih perpindahan temperature panas refrigerant ke air yaitu 26,8 °C karena perpindahan kalor ke temperature yang lebih rendah. Temperature air tertinggi selama 3 jam yaitu 55 °C.

Untuk hasil pengujian diperoleh dari data actual menggunakan persamaan dari perhitungan rancangan, sehingga dapat diketahui perbandingan hasil keduanya seperti dalam tabel 1 dan 2 di bawah.

Tabel 1. Comparison of design calculations and test results of solar collectors

Variable	Design Calculation	Test Result
Qwater (Watt)	417.9	1002,96
Hot water time is reached (minute)	45	30
Water temperature in tank (°C)	40	42
Solar radiation (W/m ²)	677 W/m ²	1213 W/m ²
Collector efficiency (%)	62%	82%

Tabel 2. Comparison of design calculations and test results of ACWH

Variable	Design Calculation	Test Result
Qcoil (Watt)	612.3	1088,6
Qwater (Watt)	417.9	1044.75
Hot water time is reached (minute)	45	30
Water temperature in tank (°C)	40	42
Entering coil temperature (°C)	66	68.3
Out coil temperature (°C)	50	40.5
Refrigeration efficiency (%)	68	75
ACWH Efficiency (%)	68	95

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan system hybrid-Solar thermal Air Conditioning dapat mencapai temperature air panas 40 °C selama 30 menit dengan kapasitas air dalam tangki 30 liter. Untuk pengujian pada solar kolektor pelat datar diperoleh efisiensi system sebesar 82%, terdapat selisih 20% dibanding perhitungan rancangan. Efisiensi pemanas pada system ACWH yang menggunakan penukar kalor (APK) sebagai media pemanas air sebesar 95%, dikarenakan kalor pada koil (Q_{coil}) lebih besar dibanding kalor dari air panas (Q_{water}), sedangkan ditinjau dari efisiensi pendinginan, perhitungan dari hasil pengujian mendapatkan nilai sebesar 75%, lebih tinggi dibandingkan dari hasil rancangan.

5. Saran

Saran yang dapat diajukan agar penelitian dapat lebih baik lagi adalah sebagai berikut: Sebaiknya pipa keluaran kolektor dibuat dari bahan insulator yang lebih baik, seperti menggunakan bahan PVC yang tahan panas. Disamping itu perlu ada penambahan tangki storage sebagai penampung panas dari kolektor dengan insulator yang baik, dan system control distribusi aliran air masuk dan keluar tangki pemanas air.

Daftar Pustaka

- [1] Santoso D, F Dalu Setiaji 2013, Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisi Udara Sebagai Pemanas Air Dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal Jurnal Ilmiah Elektroteknika Vol. 12 No. 2 page 129 Oktober 2013
- [2] Kurniawan Y., 2018, Prototype Sistem Hibrid-Pemanfaatan panas AC split dan panas radiasi matahari untuk pemanas air Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat ISBN: 978-602-61545-0-7 page 190-193 2 Oktober 2018 di Pangkal Pinang
- [3] Soegijanto A., Soelami P., 1993, Development of Energy Audit Methods for Energy Conservation in Office Building
- [4] Nurhalim I., 2011, Rancang Bangun Dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine Pada Split Air Conditioning Water Heater, Skripsi Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia hal. 6
- [5] Mohamed E Ali, 2006, Natural Convection Heat Transfer from Vertical Helical Coils in Oil Heat transfer Engineering vol. 27 no. 3
- [6] Rahman M, Lanya B, Tamrin 2013, Rancang Bangun Alat Pengumpul Panas Energi Matahari Dengan Sistem Termosifon Jurnal Teknik Pertanian, Lampung, Volume 2 No. 2, page 95-104.
- [7] Hartono Budi Santoso, Agung Harjatmo, Arya Wulung, dan Suwidodo, 2008, Pembuatan Solar Collector Sistem Siklus Terbuka Dengan Alat Kontrol Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535 Seminar Nasional Sain Terapan dan Teknologi – IST AKPRIND Yogyakarta
- [8] Incropera, Frank P and Dewitt, David P., 2005, Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition. New York: John Wiley & Sons.
- [9] ASHRAE 1993 Handbook Fundamentals;
- [10] W F Stoecker and J W Jones 1992 Refrigeration and Air Conditioning, Erlangga, Jakarta, 1992.