



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN PANAS BUANG PENYEJUK UDARA PADA
APARTEMEN UNTUK PENYEDIAAN AIR PANAS:
TINJAUAN TERMAL**

SKRIPSI

**AGUNG NUGROHO
04 05 02 0065**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
GASAL 2009/2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN PANAS BUANG PENYEJUK UDARA PADA
APARTEMEN UNTUK PENYEDIAAN AIR PANAS:
TINJAUAN TERMAL**

SKRIPSI

**AGUNG NUGROHO
04 05 02 0065**

**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
GASAL 2009/2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk**

Telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Agung Nugroho

NPM : 0405020065

Tanda Tangan :

Tanggal : 14 Desember 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Agung Nugroho
NPM : 0405020065
Program Studi : Teknik Mesin
Judul skripsi : Pemanfaatan Panas Buang Penyejuk Udara pada Apartemen Untuk Penyediaan Air Panas: Tinjauan Termal

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr-Ing. Ir. Nandy Putra ()

Penguji : Ir.Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng ()

Penguji : Ardiyansyah, ST.M.Eng ()

Penguji : Dr.Ir. Engkos A. Kosasih, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 14 Desember 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) **Orang tua dan keluarga** saya yang telah memberikan dukungan moril dan materiil hingga selesainya makalah ini;
- 2) **Dr-Ing. Ir. Nandy Putra** selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu memberikan pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
- 3) **Dr. Ir. Harinaldi**, M.Eng selaku kepala Departemen Teknik Mesin;
- 4) **Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono Dea. Pe** selaku pembimbing akademis yang memberikan dukungan;
- 5) **Bpk. Dedi S**, atas bantuan dan bimbingan mengenai perancangan dan perakitan sistem penyejuk udara;
- 6) **Seluruh karyawan DTM FTUI** atas penyediaan sarana-prasarana pengujian dan bantuannya selama perakitan alat pengujian; dan
- 7) **Sahabat dan teman** yang banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agung Nugroho
NPM : 0405020065
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pemanfaatan Panas Buang Penyejuk Udara pada Apartemen Untuk Penyediaan Air Panas: Tinjauan Termal

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 14 Desember 2009

Yang menyatakan

(AgungNugroho)

Agung Nugroho
NPM 0405020065
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing
Dr-Ing. Ir. Nandy Putra

**PEMANFAATAN PANAS BUANG PENYEJUK UDARA PADA APARTEMEN
UNTUK PENYEDIAAN AIR PANAS: TINJAUAN TERMAL**

ABSTRAK

Pemanasan global menjadi isu hangat beberapa tahun belakangan ini. Namun kebijakan pemerintah yang mengedepankan pemanfaatan energi fosil telah melahirkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sehingga banyak aktivitas kehidupan yang dirasakan tidak dapat berjalan tanpa kehadiran energi fosil. Konsumsi paling banyak akan bakar fosil adalah penggunaan listrik.

Mengingat iklim di Indonesia cukup panas, hampir setiap apartemen menggunakan AC untuk menciptakan temperatur yang nyaman untuk manusia yang tinggal di dalamnya. Selain itu tuntutan lain untuk apartemen adalah pemanas air.

Dengan memanfaatkan panas buang dari AC untuk memanaskan air, kita dapat menghemat konsumsi listrik yang digunakan oleh water heater. Sistem ini dikenal dengan Air Conditioner Water Heater (ACWH). Sistem ACWH terdahulu mengalami masalah akan desain yang rumit dan air panas yang dihasilkan tidak terlalu tinggi.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimisasi efektivitas ACWH dengan menggunakan helical coil pada tangki penyimpanan sehingga dapat diterapkan pada apartemen. Helical coil dibuat dari pipa tembaga $\frac{1}{4}$ inch sepanjang 5 m.

Dengan helical coil dan tangki penyimpanan didapatkan air panas dengan temperatur sebesar 56°C untuk waktu pemanasan selama 2 jam pada beban pendinginan 2600 W untuk kapasitas 50 L air.

Kata kunci : Energi, Alat Penukar Kalor Helical Coil, Tangki Penyimpanan, Beban Pendinginan

Agung Nugroho
NPM 0405020065
Mechanical Engineering Department

Supervisor
Dr-Ing. Ir. Nandy Putra

UTILIZATION OF HEAT WASTE IN APARTMENT'S AIR CONDITIONING TO PROVIDE HOT WATER: THERMAL ASPECT

ABSTRACT

Global warming becomes hot issue in recent years. But government policies that promote the use of fossil energy make people become dependen. The main consumption fossil fuels go to electricity.

Considering the hot climate in Indonesia, people choose to use Air Conditioning in order to create a comfortable temperature for them. On the other hand, the demands of water heater in apartment is high.

By utilizing heat waste from air conditioning to produce hot water, we can hold the electricity consumption down. This system is known as Air Conditioner Water Heater (ACWH). The problems of previous ACWH are not having compact desaign and low temperature of hot water.

The purpose of this study is to optimize the effectiveness of using ACWH helical coil in the water storage that can be applied to the apartment. Helical coil made of ¼-inch copper pipe throughout the 5 m.

With the helical coil and the water storage, we can acieve hot water with a temperature of 56 ° C for warm-up time for 2 hours at 2600 W cooling load for 50 litre of water.

Keywords : Energy, Heat Exchanger, Helical Coil, Water Storage, Cooling Load

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan Penelitian.....	3
I.4. Pembatasan Masalah.....	3
I.5. Metodologi Penelitian.....	4
I.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TEORI PENUNJANG	6
II.1. Alat Penukar Kalor Jenis Helical Coil	6
II.2. Jenis-jenis Water Heater.....	7
II.2.1. Pemanas Air Listrik (Electric Water Heater)	7
II.2.2. Pemanas Air Berbahan Bakar Gas (Gas Water Heater)	8
II.2.3. Pemanas Air Tenaga Surya (Solar Water Heater).....	8
II.2.4. Air Conditioner Water Heater	9
II.3 Penelitian ACWH Sebelumnya	11
II.3.1. ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass.....	11
II.3.2. ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass	12
II.3.3. ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass [5]	12
II.3.4. ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass [5]	13
II.3.5. ACWH dengan Pipa Helical 3 Lualan [6].....	13
II.3.6. ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat 14 Lembar	14
II.3.7. ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat 30 Lembar	15
BAB III RANCANG BANGUN ALAT PENGUJIAN	17
III.1. Instalasi Alat Pengujian	17

III.2. Komponen Alat Pengujian.....	19
III.2.1. Sistem Air Conditioner	19
III.2.2. Alat Penukar Kalor	20
III.2.3. Data Akusisi.....	20
III.2.4. Termokopel Tipe K.....	22
III.2.5. <i>Pressure Gauge</i>	22
III.2.6. Beban Pendinginan	23
III.2.7. <i>Clamp Meter</i>	23
III.2.8. Tangki Penyimpanan	24
III.3. Prosedur Pengambilan Data.....	25
III.4. Prosedur Pengolahan Data	25
III.4.1. Efektifitas.....	26
III.4.2. Kalor yang Diterima Air	26
III.4.4. Kerja Kompresor.....	26
III.4.5. Unjuk Kerja ACWH	26
BAB IV ANALISA DATA PENELITIAN.....	27
IV.1. Analisa Karakterisasi ACWH.....	27
IV.2. Analisa Perbandingan ACWH 1 PK dan $\frac{3}{4}$ PK.....	43
IV.1. Perbandingan ACWH menggunakan tangki penyimpanan dengan ACWH sebelumnya	48
BAB V KESIMPULAN & SARAN	52
V.1. Kesimpulan	52
V.2. Saran	53
DAFTAR ACUAN	54
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR II-1 PEMANAS AIR LISTRIK	7
GAMBAR II-2 PEMANAS AIR BERBAHAN BAKAR GAS	8
GAMBAR II-3 PEMANAS AIR TENAGA SURYA	9
GAMBAR II-4 TEMPERATUR PENGGUNAAN AIR DI RUMAH TANGGA [7]	11
GAMBAR II-5 SKEMA ACWH DENGAN PIPA KOIL 1 SHELL PASS	12
GAMBAR II-6 SKEMA ACWH DENGAN PIPA HELICAL 2 SHELL PASS [5]	13
GAMBAR II-7 SKEMA ACWH DENGAN PIPA HELICAL 2 SHELL PASS [6]	13
GAMBAR II-8 SKEMA DAN ALAT ACWH DENGAN PHE 14 PLAT	15
GAMBAR II-9 DENAH RUANG APARTEMEN	16
GAMBAR III-1 ALAT PENGUJIAN	17
GAMBAR III-2 SKEMA ALAT PENGUJIAN	18
GAMBAR III-3 DESAIN LETAK ALAT PENGUJIAN	18
GAMBAR III-4 AIR CONDITIONING	19
GAMBAR III-5 PENUKAR KALOR TIPE HELICAL COIL	20
GAMBAR III-6. USER INTERFACE DARI LAB VIEW VERSI 8.5	21
GAMBAR III-7 NI CDAQ 9174	21
GAMBAR III-8 PORT NI CDAQ 9174	21
GAMBAR III-9 PRESSURE GAUGE JENIS HI PRESSURE	22
GAMBAR III-10 BEBAN PENDINGINAN BERUPA LAMPU	23
GAMBAR III-11 CLAMP METER	24
GAMBAR III-12 TANGKI PENYIMPANAN	24
GAMBAR IV-1 GRAFIK TEMPERATUR ACWH 1 PK DENGAN BEBAN 1800 WATT	27
GAMBAR IV-2 GRAFIK TEMPERATUR ACWH 1 PK DENGAN BEBAN 2000 WATT	28
GAMBAR IV-3 GRAFIK TEMPERATUR ACWH 1 PK DENGAN BEBAN 2200 WATT	29
GAMBAR IV-4 GRAFIK TEMPERATUR ACWH 1 PK DENGAN BEBAN 2400 WATT	30
GAMBAR IV-5 GRAFIK TEMPERATUR ACWH 1 PK DENGAN BEBAN 2600 WATT	31
GAMBAR IV-6 GRAFIK KENAIKAN AIR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK	32
GAMBAR IV-7 GRAFIK Q AIR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK	32
GAMBAR IV-8 GRAFIK KERJA KOMPRESOR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK	33
GAMBAR IV-9 GRAFIK COP SISTEM VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK	34
GAMBAR IV-10 GRAFIK TEMPERATUR ACWH ¼ PK DENGAN BEBAN 1800 WATT	35
GAMBAR IV-11 GRAFIK TEMPERATUR ACWH ¼ PK DENGAN BEBAN 2000 WATT	36
GAMBAR IV-12 GRAFIK TEMPERATUR ACWH ¼ PK DENGAN BEBAN 2200 WATT	37

GAMBAR IV-13 GRAFIK TEMPERATUR ACWH $\frac{3}{4}$ PK DENGAN BEBAN 2400 WATT.....	38
GAMBAR IV-14 GRAFIK TEMPERATUR ACWH $\frac{3}{4}$ PK DENGAN BEBAN 2600 WATT.....	39
GAMBAR IV-15 GRAFIK KENAIKAN AIR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH $\frac{3}{4}$ PK	40
GAMBAR IV-16 GRAFIK Q AIR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH $\frac{3}{4}$ PK	40
GAMBAR IV-17 GRAFIK KERJA KOMPRESOR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH $\frac{3}{4}$ PK.....	41
GAMBAR IV-18 COP PADA ACWH $\frac{3}{4}$ PK	41
GAMBAR IV-19 GRAFIK EFEKTIFITAS VS BEBAN PENDINGINAN $\frac{3}{4}$ PK	42
GAMBAR IV-20 GRAFIK PERBANDINGAN TEMPERATUR ACWH 1 PK & $\frac{3}{4}$ PK PADA BEBAN 2600 WATT	43
GAMBAR IV-21 GRAFIK KENAIKAN AIR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK & $\frac{3}{4}$ PK.....	44
GAMBAR IV-22 GRAFIK Q AIR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK & $\frac{3}{4}$ PK .	45
GAMBAR IV-23 GRAFIK KERJA KOMPRESOR VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK & $\frac{3}{4}$ PK.....	46
GAMBAR IV-24 GRAFIK COP VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK & $\frac{3}{4}$ PK	47
GAMBAR IV-25 GRAFIK EFEKTIFITAS VS BEBAN PENDINGINAN PADA ACWH 1 PK & $\frac{3}{4}$ PK.....	48
GAMBAR IV-26 GRAFIK KENAIKAN AIR VS LAJU ALIRAN ACWH SEBELUMNYA	49
GAMBAR IV-27 GRAFIK EFEKTIFITAS VS LAJU ALIRAN ACWH SEBELUMNYA	49

DAFTAR TABEL

TABEL II-1 SPESIFIKASI PHE CB26-14H.....	14
TABEL II-2 SPESIFIKASI PHE CB26-30H.....	15
TABEL IV-1PERBANDINGAN ACWH.....	50



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
c_p	Kalor spesifik pada tekanan konstan	kJ/kg.K
COP	<i>Coefficient Of Performance</i>	-
I	Arus	Ampere
\dot{m}	Debit aliran massa	kg/s
NTU	<i>Number of Transfer Unit</i>	-
P	Tekanan	psi
Q	Laju perpindahan kalor	W
T	Temperatur	°C
U	Koefisien perpindahan kalor keseluruhan	W/m ² .K
W	Kerja	W

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Pemanasan global telah menjadi isu hangat yang diperbincangkan beberapa tahun belakangan ini. Bahkan pada tanggal 7 Desember 2009, 190 negara mengadakan perundingan dalam Konferensi Perubahan Iklim PBB di Kopenhagen, Denmark untuk mencapai kesepakatan baru sebagai pengganti skema Protokol Kyoto yang akan berakhir pada tahun 2012.

Inti dari pemanasan global adalah kejadian meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi. Penyebab utamanya adalah efek gas rumah kaca. Sebuah organisasi bernama *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) mencatat suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0.74 \pm 0.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1.33 \pm 0.32 \text{ }^{\circ}\text{F}$) selama seratus tahun terakhir. Bahkan IPCC menunjukkan suhu permukaan global akan meningkat 1.1 hingga $6.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (2.0 hingga $11.5 \text{ }^{\circ}\text{F}$) antara tahun 1990 dan 2100.

Dunia sudah mulai berbenah menghadapi masalah pemanasan global. Walaupun tidak bisa dihindari, setidaknya sudah banyak langkah-langkah yang telah ditempuh, contohnya Amerika mengembangkan program untuk menggalakkan tanaman di atas atap dan juga pembuatan atap memantul yang tak terlalu menyerap panas. Usaha ini untuk menurunkan suhu dan membantu penanggulangan gelombang panas. Beberapa negara telah menggunakan energi alternatif untuk pembangkit listriknya, contohnya energi panas bumi, energi angin, energi nuklir dan energi air.

Namun kebijakan pemerintah yang mengedepankan pemanfaatan energi fosil telah melahirkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sehingga banyak aktivitas kehidupan yang dirasakan tidak dapat berjalan tanpa kehadiran energi fosil. Di Indonesia sendiri, kebutuhan akan bahan bakar fosil masih cenderung tinggi. Dari daftar pembangkit listrik yang ada di Indonesia menunjukkan bahwa Pembangkit listrik PLN yang terbanyak menggunakan BBM (36%) dan diikuti pembangkit yang menggunakan gas (25%), batubara (23%), tenaga air (15%) dan panas bumi (2%). Dapat disimpulkan bahwa listrik dihasilkan dari pembangkit-pembangkit listrik yang sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil yang tak terbarukan sebagai bahan bakarnya. Hal ini akan memicu suatu masalah di kemudian hari jika sumber energi tersebut habis suatu hari nanti.

Mengingat iklim di Indonesia cukup panas, hampir setiap rumah dan apartemen menggunakan AC untuk menciptakan temperatur yang nyaman untuk manusia yang tinggal di dalamnya. Selain itu tuntutan lain untuk rumah dan apartemen adalah pemanas air. Sistem

yang ada saat ini adalah penggunaan 2 alat terpisah, AC dan pemanas air, yang masing-masing mengkonsumsi listrik dengan jumlah yang tidak sedikit.

Umumnya alat pemanas air (water heater) yang sering digunakan adalah pemanas air yang menggunakan listrik sebagai sumber energinya. Pemanas air jenis ini mengharuskan konsumsi listrik yang sangat besar (1200-2500W). Selain listrik, pemanas air juga dapat menggunakan gas sebagai sumber pemanasnya. Hanya saja penggunaan gas termasuk dalam pemakaian energi non renewable dan besarnya resiko kecelakaan akan ala tersebut. Cara lain yang sering digunakan orang adalah dengan menggunakan pemanas air yang menggunakan panas matahari (*Solar Water Heater/ SWH*). Cara ini mempunyai keterbatasan dimana SWH memerlukan luas permukaan yang besar untuk dapat menangkap energi matahari, *initial cost* yang tinggi, dan efektivitas alat yang hanya bisa digunakan saat mendapatkan sinar matahari. Harga SWH berkisar antara 5-10 juta rupiah.

Salah satu aplikasi konservasi energi pada tempat tinggal adalah dengan *Air Conditioner Water Heater* (ACWH). Ada potensi thermal yang tak tergunakan berupa panas buang dari AC. Pada kondensor AC, refrigeran melepaskan kalor yang diserapnya ke dalam lingkungan. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air sehingga tidak dibutuhkan listrik tambahan untuk memanaskan air. Untuk itu digunakan alat penukar kalor untuk memanfaatkan kalor sisa tersebut.

Saat ini sudah dikembangkan beberapa sistem ACWH menggunakan berbagai jenis alat penukar kalor. ACWH saat ini memiliki kelemahan utama berupa laju aliran air yang rendah untuk mendapatkan panas yang diinginkan dan tidak adanya penyimpanan air panas tersebut. Untuk meningkatkan efektivitas ACWH, maka digunakanlah ACWH dengan alat penukar kalor tipe koil yang diintegrasikan di dalam tangki penyimpanan. Sehingga diharapkan banyak air yang dapat dipanaskan dan terus tersimpan hingga saatnya digunakan.

I.2. Perumusan Masalah

ACWH yang ada saat ini mempunyai efektivitas yang rendah dimana suhu air panas tidak bisa terlalu tinggi, membutuhkan laju aliran air yang sangat rendah untuk mendapatkan panas yang diinginkan dan tidak adanya penyimpanan air panas tersebut. Untuk meningkatkan efektivitas ACWH, maka digunakan jenis alat penukar kalor berupa koil. Pada penelitian sebelumnya ACWH menggunakan PHE memiliki kelemahan dengan laju aliran air yang rendah dan harga PHE yang tidak ekonomis. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap efektivitas ACWH dengan alat penukar kalor tipe koil pada tangki

penyimpanan dengan variasi pembebanan kalor sehingga dapat dicapai optimalisasi penggunaan ACWH.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan efektivitas ACWH dengan menggunakan helical coil pada tangki penyimpanan sehingga dapat diterapkan pada apartement maupun rumah pada umumnya.

I.4. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Unit Air Conditioner yang digunakan memiliki daya 3/4 PK
2. Beban pendinginan menggunakan lampu pijar untuk mensimulasikan beban pendinginan pada tempat tinggal yang besarnya bervariasi
3. Pengukuran terhadap alat pengujian meliputi pengukuran terhadap temperatur aliran air, temperatur dan tekanan refrigerant, dan temperatur ruangan

I.5. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pembelajaran bahan-bahan yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal ilmiah, dan situs-situs internet

2) Perancangan dan Instalasi Sistem Pemipaan ACWH

Perancangan sistem pemipaan ACWH bertujuan untuk menggantikan sistem pemipaan yang sudah ada. Pada pengujian kali ini dilakukan perubahan alat penukar kalor dan sistem pemipaan dari AC normal sehingga panas refrigeran dapat dimanfaatkan

3) Pengujian ACWH

Unjuk kerja alat dilakukan dengan proses kalibrasi termokopel, pengambilan data temperatur dan tekanan pada alat uji

4) Perhitungan, Analisa, dan Kesimpulan Pengujian

Data yang didapat dari pengujian kemudian diolah untuk mendapatkan grafik-grafik pengujian ACWH. Dari grafik tersebut akan dilakukan analisa yang menggambarkan karakteristik unjuk kerja sistem ACWH. Dari analisa dapat ditarik kesimpulan dari proses pengujian yang dilakukan, unjuk kerja ACWH sehingga dapat diterapkan pada kehidupan sehari-hari

I.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab-bab sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan mengenai prinsip kerja sistem pendinginan, teori alat penukar kalor dan ACWH. Tinjauan pustaka ini diambil dari beberapa buku, jurnal, dan situs-situs di internet

BAB III. INSTALASI ALAT PENGUJIAN

Bab ini berisi perancangan dan instalasi alat pengujian, gambar instalasi alat pengujian, dan prosedur pengambilan data

BAB IV. ANALISA DATA

Bab ini berisi analisa hasil pengujian sistem ACWH yang meliputi pengolahan data, analisa efektivitas ACWH, unjuk kerja ACWH, dll

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari pengujian yang sudah dilakukan dan saran untuk pengembangan alat ACWH selanjutnya

BAB II TEORI PENUNJANG

II.1. Alat Penukar Kalor Jenis Helical Coil

Untuk menentukan besarnya kalor yang dilepas oleh Helical Coil HE, dapat digunakan persamaan-persamaan untuk silinder horisontal panjang dengan konveksi bebas sebagai berikut:

$$Q_{HE} = \bar{h} \times A \text{ pipa} \times \Delta T \quad (II.1)$$

Untuk menentukan besarnya koefisien konveksi (\bar{h}), digunakan persamaan:

$$\bar{h} = \frac{Nu \ k}{D} \quad (II.2)$$

Sedangkan untuk mencari besarnya Nu, Churchill dan Chu merekomendasikan persamaan untuk bilangan Rayleigh pada kisaran tertentu:

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \text{ untuk } Ra \leq 10^{12} \quad (II.3)$$

$$\alpha = \frac{v}{Pr}$$

$$Ra = \frac{g \beta (T_{ri} - T_{wi}) D^3}{\alpha v} \quad (II.4)$$

Dimana:

Q_{HE} = Kalor yang dilepas oleh Heat Exchanger (Helical Coil) (Joule)

\bar{h} = Koefisien Konveksi ($W / m^2 .K$)

Nu = Bilangan Nusselt

D = Diameter pipa (m)

k = Konduktifitas termal pipa ($W / m.K$)

Pr = Bilangan Prandtl

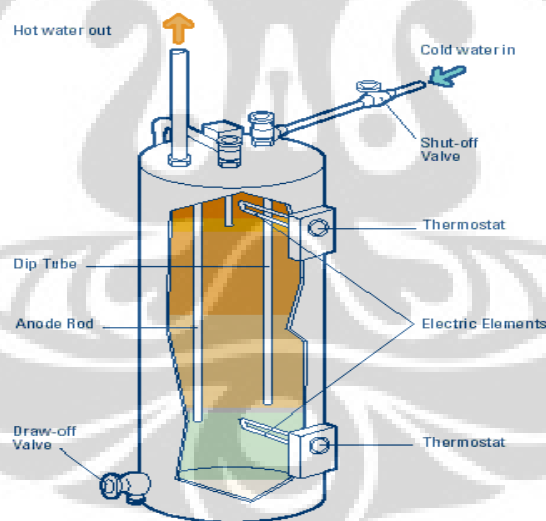
Ra = Bilangan Rayleigh

- β = Koefisien ekspansi termal (K^{-1})
- g = gravitasi (m / s^2)
- α = Difusifitas termal (m^2 / s)
- ν = Viskositas kinetik (m^2 / s)
- T_{ri} = Temperatur refrigerant masuk ($^{\circ}C$)
- T_{wi} = Temperatur air masuk ($^{\circ}C$)

II.2. Jenis-jenis Water Heater

II.2.1. Pemanas Air Listrik (Electric Water Heater)

Prinsip kerja pemanas air listrik adalah dengan cara menampung air dalam sebuah tangki yang dilengkapi dengan elemen pemanas yang akan memanaskan air karena adanya arus listrik. Pemanas air listrik dilengkapi dengan adanya *thermostat* sehingga sistem dapat mati/hidup secara otomatis. Ketika air panas digunakan, *supply* air akan masuk ke dalam tangki yang menyebabkan turunnya temperatur air di tangki. Penurunan temperatur akan mengaktifkan sistem pemanas sampai temperatur air panas tertentu tercapai.

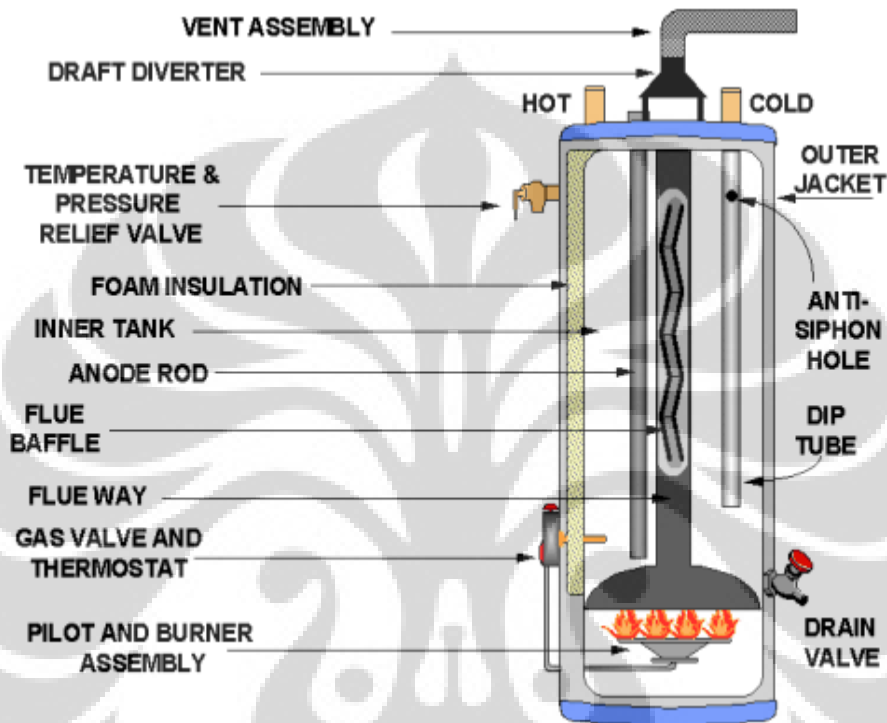


Gambar II-1 Pemanas Air Listrik

Sumber: http://oec.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/home/gif/heating_elec.fig.15.gif

II.2.2. Pemanas Air Berbahan Bakar Gas (Gas Water Heater)

Prinsip kerjanya adalah dengan melewatkan air ke dalam pipa-pipa yang dibakar dengan menggunakan gas. Untuk memperluas bidang perpindahan panas biasanya ditambahkan sirip-sirip. Perluasan bidang perpindahan panas diperlukan agar input energy lebih besar sehingga temperature yang diperoleh lebih tinggi. Selain itu digunakan pula pipa-pipa tembaga untuk mempercepat perpindahan panas.



Gambar II-2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

Sumber: <http://repair2000.com/gashttr.gif>

II.2.3. Pemanas Air Tenaga Surya (Solar Water Heater)

Tipe yang satu ini memang hemat listrik karena menggunakan tenaga matahari sebagai sumber panas tetapi untuk harga alat ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan tipe lainnya. Kekurangannya adalah pemasangan yang lebih rumit (diletakkan di atas atap rumah) dan panas yang dihasilkan akan tergantung dari panas matahari yang ada. Prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan energy radiasi matahari yang diserap oleh absorber, kemudian air panas ditampung di dalam tangki yang diisolasi. Fluida mengalir dengan cara memanfaatkan perbedaan massa jenis air di dalam tangki. Beberapa sistem pemanas telah dilengkapi dengan heater tambahan sehingga

dapat memanaskan air walaupun tidak ada sinar matahari. Pemanas air tenaga surya yang paling umum adalah jenis pemanas air tenaga surya plat datar (*flat plate solar water heater*).



Gambar II-3 Pemanas Air Tenaga Surya

Sumber: <http://www.gratisiklan.com/images/20091007/40596/service-pemanas-air-water-heater-0.jpg>

II.2.4. Air Conditioner Water Heater

ACWH adalah sistem yang mengutilisasi panas buang dari sistem pendinginan untuk memanaskan air. Sebagian kalor dari refrigeran yang sudah dikompresi oleh kompresor digunakan untuk memanaskan air dengan bantuan alat penukar kalor. Penukar kalor inilah yang sangat menentukan kinerja dari ACWH. Dibutuhkan penukar kalor yang dapat memindahkan kalor semaksimal mungkin dari refrigeran tanpa menyebabkan *pressure drop* berlebihan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem pendinginan.

Prinsip kerja ACWH adalah:

- Proses 1-2:

Uap refrigeran dihisap kompresor kemudian ditekan sehingga tekanan dan temperatur refrigeran naik.

- Proses 2-2'':

Panas refrigeran ditransfer kepada air di dalam penukar kalor sehingga air mengalami kenaikan temperatur sedangkan refrigeran mengalami penurunan dan sebagian telah berubah fasa menjadi cairan.

- Proses 2-3:

Refrigeran didinginkan pada kondensor seperti pada siklus pendinginan biasa

- Proses 3-4:

Refrigeran keluaran kondensor dan penukar kalor digabungkan sebelum diekspansi. Cairan refrigeran dengan tekanan dan temperatur tinggi diekspansikan sehingga mengalami penurunan tekanan dan temperatur.

- Proses 4-1:

Refrigeran di evaporator dalam keadaan temperatur rendah sehingga dapat menyerap kalor ruangan. Cairan refrigeran menguap secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan. Selama proses penguapan di dalam pipa terdapat campuran refrigeran fase cair dan uap. Proses ini berlangsung pada tekanan tetap sampai mencapai derajat *superheat*

Secara teoritis dengan penggunaan ACWH dapat meningkatkan jumlah kalor yang dapat dibuang yang berarti dapat menambah beban pendinginan (*cooling load*) yang dapat dipindahkan dengan kerja kompresor yang sama. Namun perlu diperhatikan jika beban pendinginan tidak ditambah, akan mengakibatkan refrigeran yang masuk ke dalam kompresor masih berada dalam kubah uap (berfasa campuran antara *liquid* dan *vapor*) sehingga dapat merusak kompresor.

Berdasarkan standar temperatur air panas untuk kepentingan mandi dan mencuci tangan, maka temperatur yang harus dicapai oleh sistem ACWH adalah 40-45⁰C. Sedangkan untuk kepentingan mandi, rata-rata seorang dewasa membutuhkan air 50L. Dengan asumsi bahwa sebuah apartemen dihuni oleh 2 orang dan setiap orangnya mandi menggunakan air panas minimum 1 kali per hari, maka jumlah air panas yang harus disuplai sistem ACWH adalah 100 L/hari.

	Jenis Pemakaian	Temperatur
		°C
1	Minum	50-55
2	Mandi : dewasa	42-45
	Mandi : anak-anak	40-42
3	Pancuran mandi	40-43
4	Cuci muka dan tangan	40-42
5	Cuci tangan untuk pengobatan	43
6	Bercukur	46-52
7	Dapur :	
	Macam-macam keperluan	45
	Pencucian mesin cuci	45-60
	Pembilasan mesin cuci	70-80
8	Cuci pakaian	
	Macam-macam pakaian	60
	Bahan sutra dan wol	33-49
	Bahan linen dan katun	49-60
9	Kolam renang	21-27
10	Cuci mobil (bengkel)	24-30

Gambar II-4 Temperatur Penggunaan air di rumah tangga [7]

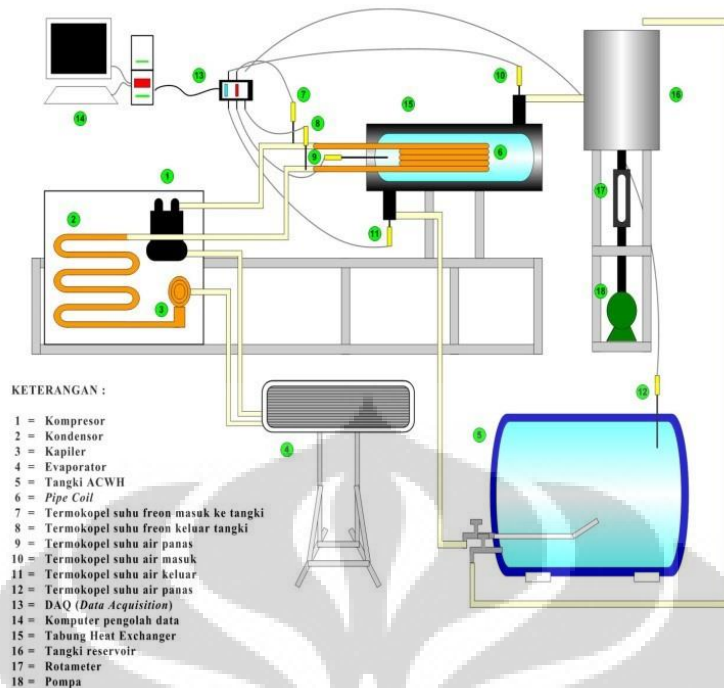
II.3 Penelitian ACWH Sebelumnya

Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia telah melakukan beberapa penelitian tentang ACWH. Tujuan dari penelitian-penelitian ini adalah mencari penggunaan air conditioner water heater yang paling efektif dan efisien. Penelitian yang dilakukan menggunakan variasi alat penukar kalor dan laju aliran, antara lain:

II.3.1. ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass

Air Conditioner Water Heater dengan Pipa Koil 1 Shell Pass menggunakan pipa tembaga berukuran 3/8 inchi sepanjang 5 meter sbagai alat penukar kalornya. Pipa tembaga ini digulung seperti part 6 dalam gambar II.5. Air dingin dilewatkan dengan variasi aliran melalui tabung heat exchanger (part 15).

Air Conditioner Water Heater dengan Pipa Koil 1 Shell Pass menghasilkan temperatur air keluar sebesar 44,95°C pada laju aliran 50 L/hr dan 31,52°C pada laju aliran 200 L/hr. Alat ini memerlukan ruang yang cukup besar untuk instalasi dan penggunaannya karena banyak komponen yang digunakan.



Gambar II-5 Skema ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass

II.3.2. ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass

Air Conditioner Water Heater dengan Pipa Helical 1 Shell Pass sama dengan Pipa Koil 1 Shell Pass yang menggunakan pipa tembaga 3/8 inchi sepanjang 5 meter tetapi digulung menjadi gulungan helical. Skema alat pengujian dan proses pengujiannya pun tidak berbeda.

Air Conditioner Water Heater dengan Pipa Helical 1 Shell Pass menghasilkan air panas pada temperatur 53,91°C pada laju aliran 50 L/hr dan 37,17°C pada laju aliran 200 L/hr. Permasalahan akan penggunaan ruang yang besar masih sama terjadi pada penelitian ini.

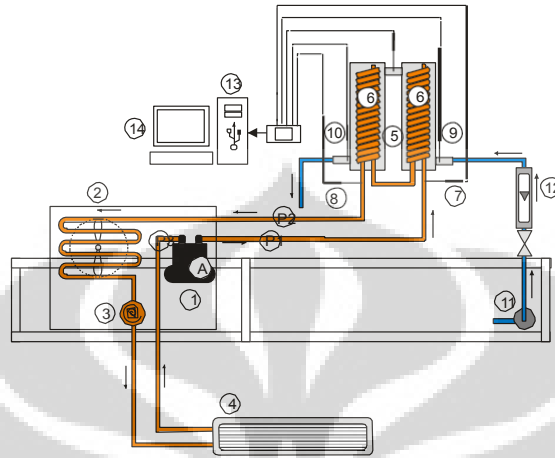
II.3.3. ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass [5]

Penelitian selanjutnya dilakukan pengembangan dengan Pipa Koil dengan 2 Shell Pass. Pada penelitian kali ini, air panas yang dihasilkan sebesar 48,38°C pada laju aliran 50 L/hr dan 29,60°C pada laju aliran 200L/hr.

Karena menggunakan 2 tabung heat exchanger, maka besar ruangan yang diperlukan lebih besar daripada Pipa Koil 1 Shell Pass.

II.3.4. ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass [5]

Pengembangan alat juga dilakukan pada pipa helical. Penelitian ini menggunakan Pipa Helical 2 Shell Pass. Air panas yang dihasilkan sebesar $47,65^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran 50 L/hr dan $31,07$ pada aliran 200 L/hr.

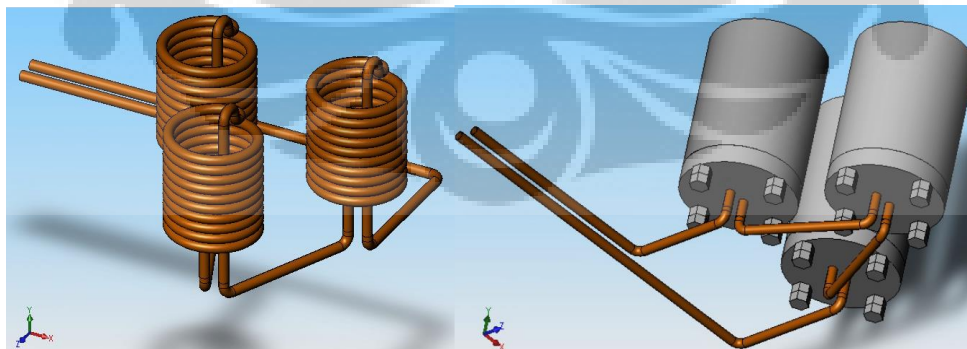


Gambar II-6 Skema ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass [5]

II.3.5. ACWH dengan Pipa Helical 3 Laluan [6]

Karena penggunaan pipa helical lebih cepat dalam memindahkan kalor, maka pengembangan selanjutnya hanya dilakukan untuk pipa jenis ini. Pengembangan menggunakan Pipa Helical 3 laluan yang disusun seri.

Pengujian mendapatkan air panas sebesar $59,90^{\circ}\text{C}$ untuk laju aliran sebesar 50 L/hr dan $26,63^{\circ}\text{C}$ untuk laju aliran 200 L/hr. Dengan semakin banyaknya penggunaan komponen dan shell, maka dimensi ACWH pun bertambah besar.



Gambar II-7 Skema ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass [6]

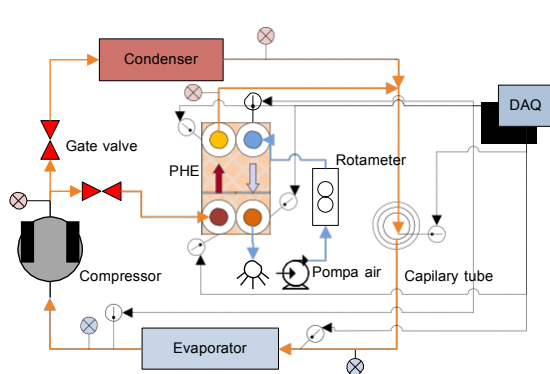
II.3.6. ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat 14 Lembar

Pada penelitian ini digunakan alat penukar kalor berupa plate heat exchanger (PHE). PHE yang digunakan adalah AlfaLaval tipe CB26-14H yang merupakan *counterflow current, brazed* PHE. PHE diisolasi dengan menggunakan bahan armafex dan dilapisi *laminated tape* sehingga tidak mengalami kontak dengan udara bebas. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan kalor yang hilang dari PHE sehingga efektivitas PHE tetap tinggi. Dudukan untuk PHE terbuat dari plat siku yang dibaut. Spesifikasi lengkap dari PHE dapat dilihat pada tabel II.1

Penggunaan PHE 14 plat menghasilkan air panas sebesar 46,59°C pada laju aliran air 50 L/hr dan 35,34°C pada laju aliran 200 L/hr. Harga PHE terbilang cukup mahal. Karena untuk 1 set PHE seharga 2,5 juta rupiah.

Tabel II-1 Spesifikasi PHE CB26-14H

Data & Dimensi	CB26-14H	
Temperatur kerja max/min	225/-160	°C
Tekanan kerja max S3-S4/S1-S2	30/30	bar
Volume per kanal	0,059	L
Flowrate max	8,1	m ³ /h
Tinggi	310	mm
Lebar	112	mm
Jarak sambungan per <i>port</i> vertikal	250	mm
Jarak sambungan per <i>port</i> horizontal	50	mm
<i>Plate pack length</i>	(n*2,4)+9	mm
Berat kosong	(n*0,13)+1,2	kg
Sambungan ulir standar	1	inch
Material <i>plate</i>	AISI 316	
Material sambungan	AISI 316	
Material <i>brazing</i>	Tembaga	



Gambar II-8 Skema dan alat ACWH dengan PHE 14 Plat

II.3.7. ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat 30 Lembar

Air Conditioner Water Heater yang menggunakan PHE juga mengalami pengembangan. Penelitian ini menggunakan PHE 30 Plat dengan tipe CD26-30H yang spesifikasi lengkapnya dapat dilihat pada tabel II.2

Air panas yang dihasilkan oleh air conditioner water heater menggunakan PHE 30 Plat sebesar $48,12^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran 50 L/hr dan $37,17^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran 200 L/hr.

Tabel II-2 Spesifikasi PHE CB26-30H

Data & Dimensi	CB26-30H	
Temperatur kerja max/min	225/-160	$^{\circ}\text{C}$
Tekanan kerja max S3-S4/S1-S2	30/30	bar
Volume per kanal	0,059	L
Flowrate max	8,1	m^3/h
Tinggi	310	mm
Lebar	112	mm
Jarak sambungan per <i>port</i> vertikal	250	mm
Jarak sambungan per <i>port</i> horizontal	50	mm
Plate pack length	$(n*2,4)+9$	mm
Berat kosong	$(n*0,13)+2,4$	kg
Sambungan ulir standar	1	inch
Material <i>plate</i>	AISI 316	
Material sambungan	AISI 316	
Material <i>brazing</i>	Tembaga	

II.4. Survey Denah Ruang Apartemen

Telah dilakukan survey pada beberapa lokasi apartemen di Jakarta dengan tujuan untuk mengetahui format umum denah ruangan yang ada di unit-unit apartemen. Posisi yang menguntungkan adalah apabila tempat peletakan kondenser penyejuk ruangan atau biasa disebut sebagai unit *outdoor* terletak persis di sebelah kamar mandi. Hal ini dapat mengurangi rugi-rugi kalor dan jatuh tekan yang berlebihan serta mudah dalam penginstalasian. Pada gambar II.7 dapat dilihat denah salah satu unit apartemen di daerah Jakarta Utara. Terlihat bahwa posisi *unit outdoor* berada disebelah kamar mandi. Terlihat pula pada gambar tersebut, bahwa di sebelah outdoor unit dipasang pula alat pemanas air elektrik, hal ini menunjukkan bahwa penyejuk ruangan dan pemanas air merupakan kebutuhan utama pada setiap unit apartemen. Dari survey juga diperoleh informasi bahwa semua unit yang dikunjungi memiliki AC dan juga pemanas air yang terpisah. Sehingga apabila diterapkan system ACWH pada apartemen diperkirakan memiliki pangsa pasar yang luar biasa besarnya.



Gambar II-9 Denah ruang apartemen

BAB III RANCANG BANGUN ALAT PENGUJIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakter alat penukar kalor model koil yang terintegrasi pada tangki penyimpanan pada sistem *Air Conditioner Water Heater*. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian terhadap alat penukar kalor yang terpasang pada sebuah sistem ACWH.

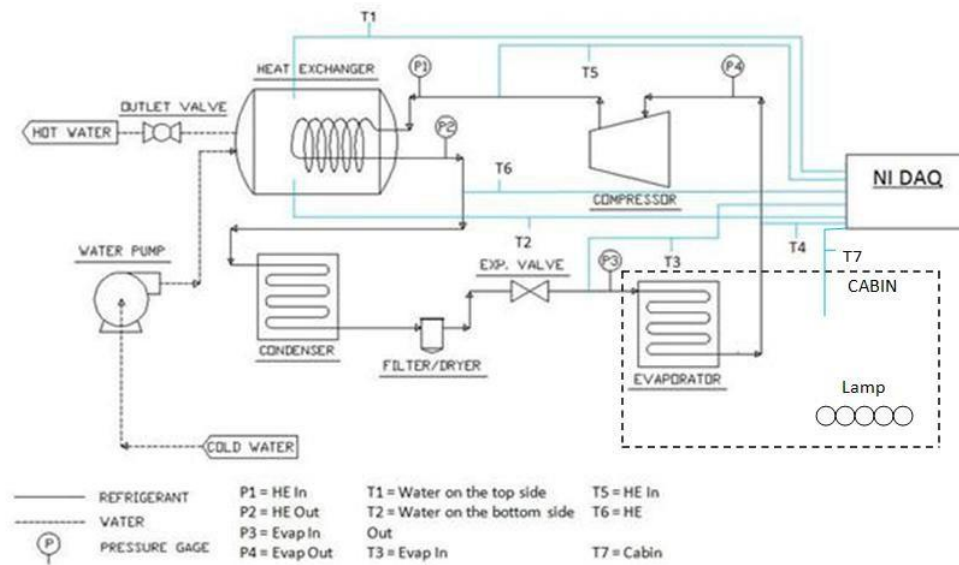
Pada sistem ACWH, terjadi perpindahan kalor dari refrigerant dengan temperatur tinggi setelah keluar dari kompresor dengan air yang memiliki temperatur rendah dalam tangki penyimpanan. Dengan adanya perpindahan kalor ini, maka diharapkan temperatur refrigerant turun dan sebaliknya terjadi peningkatan temperatur pada air dalam tangki penyimpanan.

III.1. Instalasi Alat Pengujian

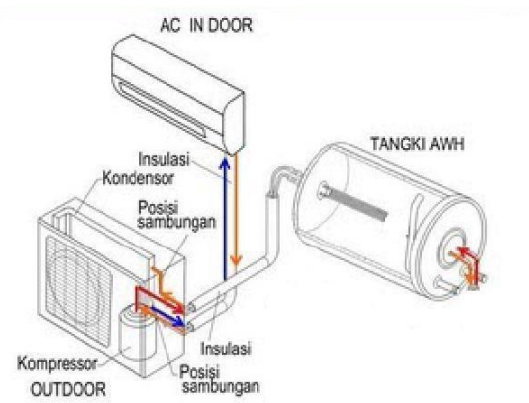
Alat pengujian terdiri dari sistem AC dengan aliran refrigeran dihubungkan dengan penukar kalor tipe koil yang berada dalam tangki penyimpanan. Pipa outlet kompresor dan pipa inlet kondensor dipotong kemudian dihubungkan dengan alat penukar kalor. Dengan demikian, refrigeran dengan temperatur tinggi yang keluar dari kompresor akan mengalir terlebih dahulu melalui alat penukar kalor lalu menuju ke kondensor. Di dalam tangki penyimpanan akan terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dan air karena adanya perbedaan temperatur antara keduanya.



Gambar III-1 Alat Pengujian



Gambar III-2 Skema alat pengujian



Gambar III-3 Desain letak alat pengujian

Termokopel dipasang pada titik-titik masuk dan keluar fluida-fluida kerja. Tekanan refrigeran diukur dengan menggunakan *pressure gauge* tipe *bourdon tube* pada beberapa titik, tekanan *discharge* kompresor (inlet HE), tekanan keluar HE, tekanan keluar pipa kapiler, dan tekanan *suction* kompresor. Dengan data-data temperature dan tekanan yang didapatkan, siklusnya dapat dimasukkan dalam diagram P-h. Arus listrik yang masuk kompresor diukur menggunakan *clamp meter*. Selengkapny untuk perancangan dan instalasi alat penujian penukar kalor pada *Air Conditioner Water Heater* dapat dilihat pada skema alat penujian.

III.2. Komponen Alat Pengujian

III.2.1. Sistem Air Conditioner

Air Conditioner (AC) yang digunakan dalam pengujian ini adalah tipe *split* dengan daya sebesar 1 PK dan $\frac{3}{4}$ PK. Unit indoor, yang terdiri dari evaporator, dan unit outdoor, yang terdiri dari kompresor, condenser, dan pipa kapiler. Seluruh jalur pemipaan (piping) refrigeran yang ada diisolasi untuk mencegah kebocoran thermal yang dapat menurunkan performa AC.

Spesifikasi AC:

1 PK

- Merek: Samsung
- Model: AS07RLX
- Power Input: 800 Watt
- Voltage/Freq: 200-220 V/50 Hz
- Current: 4 A
- Refrigerant: R 22 (360 g)

$\frac{3}{4}$ PK

- Merek: Samsung
- Model: AS09RLX
- Power Input: 570 Watt
- Voltage/Freq: 200-220 V/50 Hz
- Current: 3 A
- Refrigerant: R 22 (300 g)



Gambar III-4 Air Conditioning

III.2.2. Alat Penukar Kalor

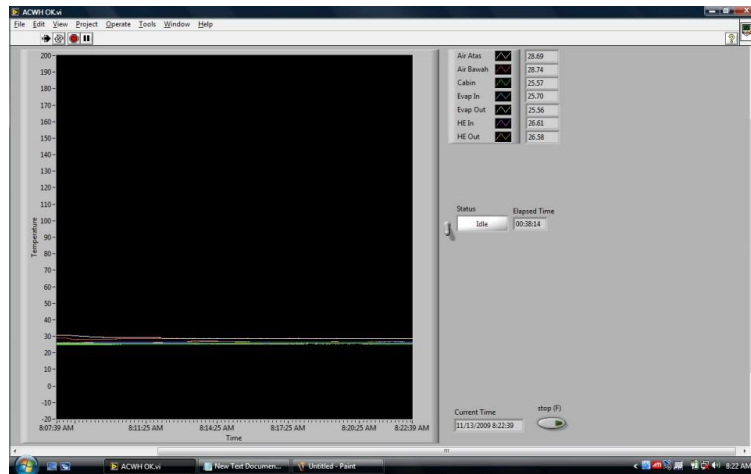
Pada penelitian ini digunakan alat penukar kalor berupa pipa koil berukuran $\frac{1}{4}$ inch. Dipilih material dari pipa tembaga karena memiliki konduktivitas yang besar dan sejenis dengan pipa AC pada umumnya sehingga mudah dalam melakukan pengelasan.



Gambar III-5 Penukar kalor tipe helical coil

III.2.3. Data Akusisi

Data akusisi (DAQ) yang digunakan untuk pembacaan tegangan keluaran termokopel tipe K ini adalah NI cDAQ 9174 dengan 4 port. Dalam aplikasinya hanya digunakan 2 port saja. DAQ ini merupakan data akusisi yang dapat menerima masukan secara digital. Dalam penggunaannya DAQ dihubungkan dengan komputer melalui *USB port* dan menggunakan *power supply* DC 12V. Software yang digunakan ada 2, yaitu Lab View versi 8.5 dan NI-DAQmx. Pada software Lab View yang digunakan sudah dibuat tampilan (*user interface*) dari termokopel yang digunakan. Hasil pembacaan temperatur akan terbaca pada layar komputer.



Gambar III-6. User Interface dari Lab View versi 8.5



Gambar III-7 NI cDAQ 9174



Gambar III-8 Port NI cDAQ 9174

III.2.4. Termokopel Tipe K

Termokopel adalah alat yang bekerja berdasarkan efek Seebeck yang menyatakan jika kedua material konduktor yang berbeda dihubungkan dan membentuk *junction*, akan menghasilkan perbedaan tegangan (*electromotive force/emf*) jika terdapat perbedaan temperatur pada kedua *junction* tersebut. Besarnya gradien tegangan-temperatur berbeda untuk tiap-tiap termokopel, tergantung material penyusun termokopelnya.

Termokopel yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel tipe K dengan material penyusunnya adalah chromel dan alumel. Tipe ini merupakan tipe yang paling umum dan mudah digunakan, dengan rentang temperatur antara -200 C samapai dengan +1200C.

III.2.5. Pressure Gauge

Pressure gauge digunakan untuk mengetahui tekanan refrigeran pada titik-titik tertentu dalam sistem ACWH ini. Tekanan refrigeran yang diukur adalah tekanan *discharge* kompresor (inlet PHE), tekanan keluar PHE, tekanan keluar TXV, dan tekanan *suction* kompresor.

Pressure gauge yang digunakan ada 2 macam, *Low Pressure* (0-120 psi) dan *Hi Pressure* (0-500 psi).



Gambar III-9 Pressure gauge jenis hi pressure

III.2.6. Beban Pendinginan



Gambar III-10 Beban pendinginan berupa lampu

Untuk mengetahui seberapa besar kapasitas pendingin ataupun pemanasan, harus diketahui kondisi di dalam dan luar ruangan. Beban pendingin dari suatu bangunan/ruangan terdiri dari kalor yang masuk dari sela-sela ruangan (dinding, atap, lantai, jendela, pintu, dsb.) dan kalor yang berasal dari dalam ruangan itu sendiri, (kalor dari penghuni, peralatan, dan lampu). Beban yang berasal dari luar ruangan disebut dengan *external load*, sedangkan beban dari dalam ruangan disebut dengan *internal load*. Beban tersebut termasuk beban kalor laten dan beban kalor sensible. Beban kalor sensible mempengaruhi temperatur bola kering, sedangkan beban kalor laten mempengaruhi kadar kelembaban dalam ruangan tersebut.

III.2.7. Clamp Meter

Clamp meter digunakan untuk mengetahui arus listrik yang digunakan oleh kompresor. Arus listrik akan menyatakan kerja yang dilakukan kompresor. Pengukuran arus listrik dengan *clamp meter* dilakukan dengan melingkari kabel tunggal (boleh kabel + atau -) dengan *clamp*.

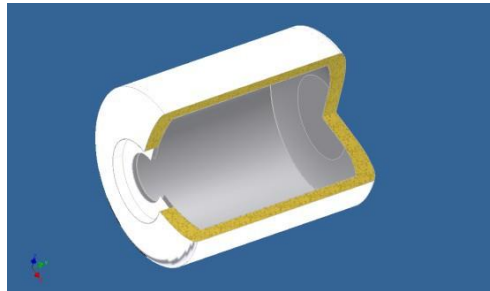
Clamp meter bekerja berdasarkan induksi magnetik listrik akibat adanya arus yang mengalir pada kawat konduktor tunggal. Besarnya induksi tersebut diterjemahkan ke dalam pembacaan arus listrik (*ampere*).



Gambar III-11 Clamp Meter

III.2.8. Tangki Penyimpanan

Tangki penyimpanan terbuat dari stainless steel untuk bagian dalam yang dilapisi oleh polyurethane sebagai penahan kalor. Untuk bagian luarnya dibuat dari bahan Zyncalume. Tangki penyimpanan memiliki diameter luar 47cm dan panjang 52 cm. Tangki ini dapat menampung 50 L air.



Gambar III-12 Tangki Penyimpanan

III.3. Prosedur Pengambilan Data

Langkah-langkah yang dijalankan dalam pengambilan data pada ACWH dengan Alat penukar kalor berupa koil pada tangki penyimpanan adalah:

1. Mengisi tangki penyimpanan dengan air yang memiliki temperatur normal hingga penuh
2. Menyalakan dan menghubungkan DAQ dengan komputer melalui kabel USB
3. Menjalankan program DAQ untuk mengetahui temperatur awal di tiap titik pengambilan data (Evaporator in & out, HE in & out, Water in & out). Proses pengecekan ini penting dilakukan agar tiap pengambilan data semua komponen berada pada temperatur awal
4. Menyalakan AC dan mengatur setting temperatur evaporator AC pada 16°C
5. Menyalakan lampu sebagai beban pendinginan (2600, 2400, 2200, 2000, dan 1800 Watt)
6. Mulai menyimpan data tiap detik pada program DAQ secara otomatis setelah terlebih dahulu menekan tombol *write to file* pada komputer
7. Mencatat secara manual harga pressure pada evaporator dan HE yang dapat dilihat di pressure gauge tiap menit
8. Mencatat secara manual harga arus yang dibutuhkan kompresor dengan melihat di clamp meter tiap menit
9. Melakukan sirkulasi air (mix) pada tangki penyimpanan dengan bantuan pompa air pada menit ke 45, 90, dan 120
10. Mematikan AC setelah 2 jam percobaan dan menunggu 1-2 jam untuk percobaan berikutnya (variasi beban pendinginan) agar AC berada dalam kondisi awal kembali

III.4. Prosedur Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan beberapa asumsi:

- Alat penukar kalor bekerja dalam kondisi *steady*
- Tidak ada kebocoran kalor (*heat loss*) ke lingkungan
- Temperatur tiap fluida seragam pada setiap bidang perpotongan pada alat penukar kalor
- Kecepatan aliran fluida terdistribusi merata pada sisi masing-masing

III.4.1. Efektifitas

Efektivitas (ϵ) yang dimaksud adalah efektifitas termal suatu alat penukar kalor. Perpindahan kalor maksimal yang dapat dicapai adalah perpindahan kalor antara fluida terpanas dengan fluida terdingin. Fluida yang akan mendapatkan perbedaan temperatur (ΔT) tertinggi adalah fluida yang memiliki kapasitas panas terkecil.

III.4.2. Kalor yang Diterima Air

Kalor yang diterima air dapat dihitung dari massa air pada tangki penyimpanan dikalikan dengan massa jenis air dan perbedaan temperatur air awal & akhir. Kapasitas kalor air yang diambil adalah kapasitas kalor rata-rata temperatur masuk dan temperatur keluar air.

III.4.4. Kerja Kompresor

Kerja kompresor didapatkan dari perkalian arus listrik yang dikonsumsi dengan tegangan listrik PLN. Untuk pengujian di lab penukar kalor, tegangan listrik PLN hanya sebesar 198 V.

III.4.5. Unjuk Kerja ACWH

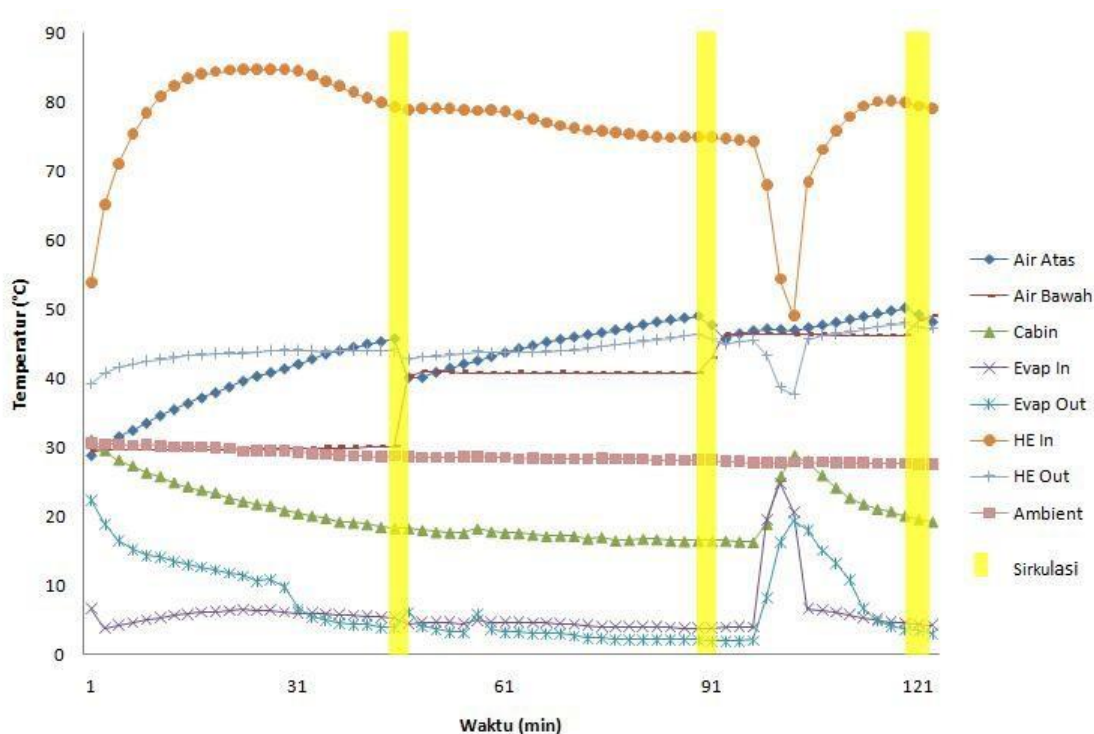
Coefficient of Performance (COP) menyatakan rasio antara manfaat yang dicapai dengan kerja/usaha yang dilakukan untuk mendapatkan manfaat tersebut. Manfaat yang didapatkan pada ACWH adalah efek pendinginan pada bagian indoor unit dan pemanasan air panas. Sedangkan usaha yang dilakukan adalah kerja kompresor yang memutar refrigeran. Tidak ada usaha tambahan yang dilakukan karena air yang digunakan sudah melalui pompa sebelumnya. Hal ini menggambarkan simulasi aplikasi ACWH dimana ACWH akan dipasang pada unit apartemen yang sudah memiliki instalasi pompa dan pemipaan air.

BAB IV ANALISA DATA PENELITIAN

Pengolahan data dilakukan dengan mengacu pada prosedur pengolahan data yang sudah dijelaskan pada bab III. Pengolahan data dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik sistem ACWH Helical Coil Water Storage yang diteliti. Data-data yang didapat diolah dan disajikan dalam bentuk grafik. Berikut ini adalah data-data dan analisa sistem ACWH Helical Coil Water Storage.

IV.1. Analisa Karakterisasi ACWH

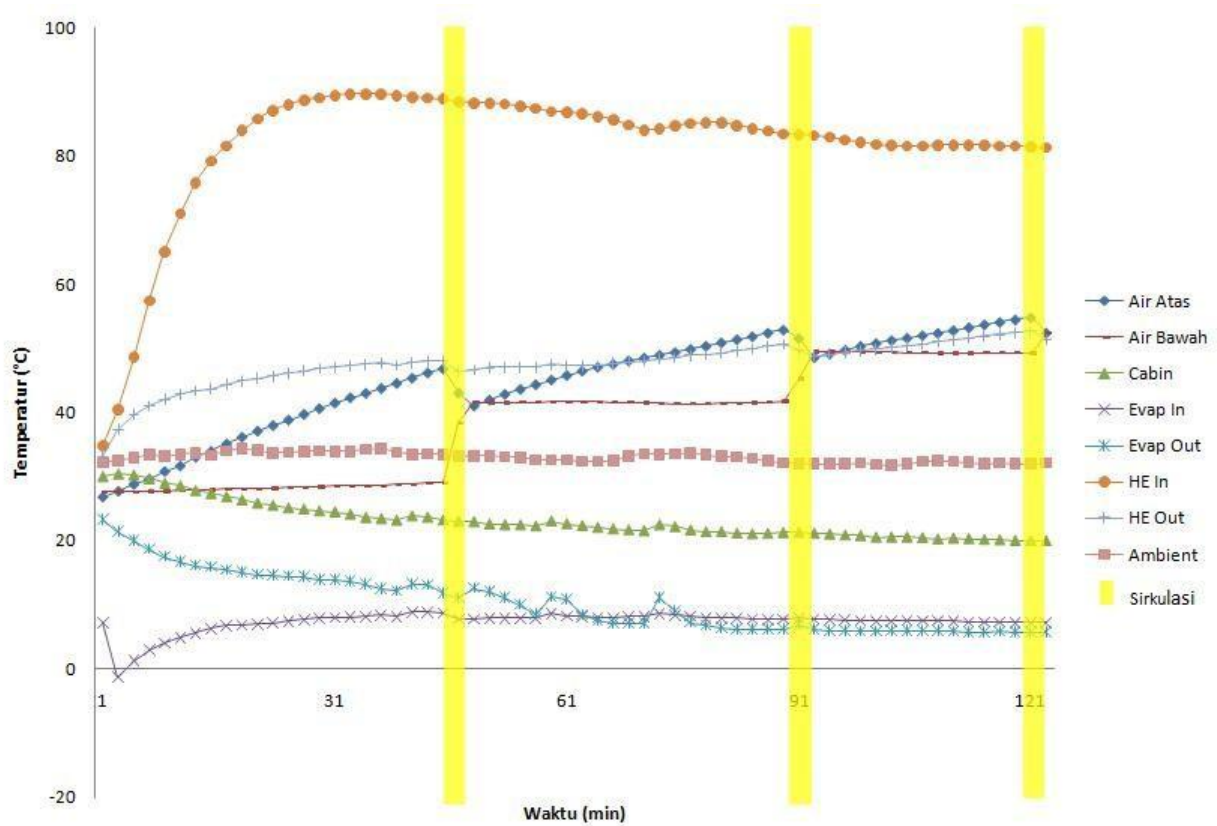
IV.1.1. ACWH 1 PK



Gambar IV-1 Grafik temperatur ACWH 1 PK dengan beban 1800 Watt

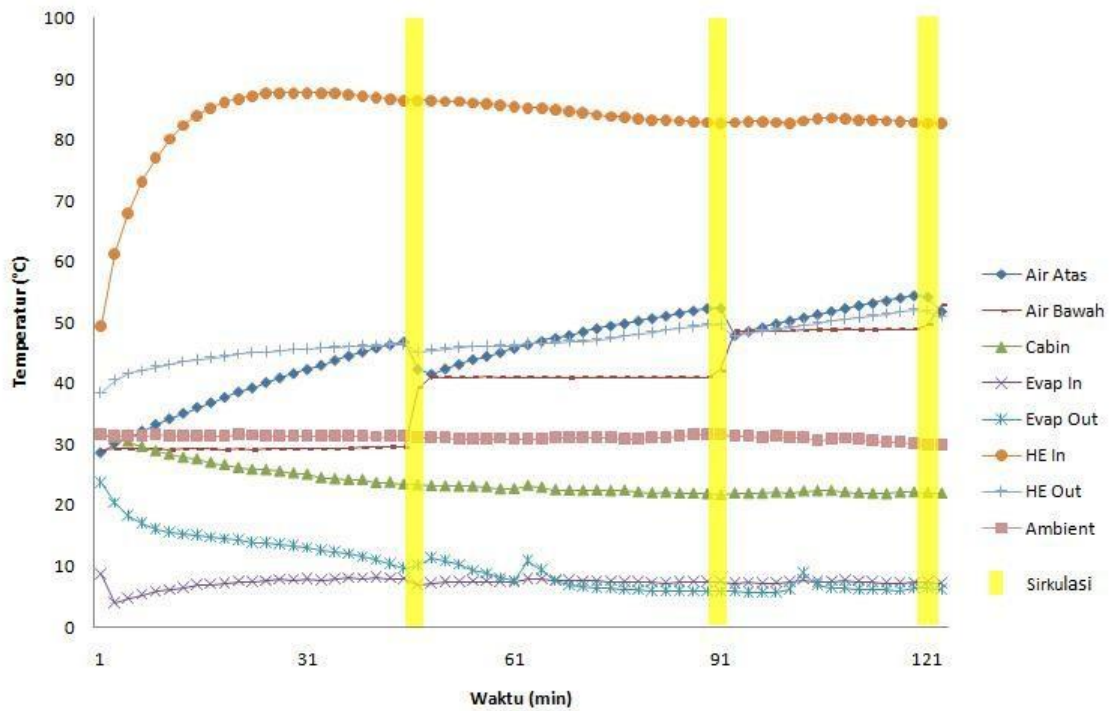
Pada pembebanan 1800 Watt, temperatur air akhir dapat mencapai 48,93°C. Sedangkan temperatur refrigeran maksimum tercapai pada 84,73°C. Pada menit ke-98 hingga menit ke-103 kompresor ac berhenti bekerja karena suhu kabin telah mencapai 16°C, sehingga thermostat ac secara otomatis menghentikan kerja kompresor agar suhu kabin sesuai dengan yang diinginkan. Karena pengujian dilakukan di ruangan terisolasi, untuk dapat menjalankan kerja kompresor kembali, penguji memberikan

tambahan kalor dari luar ruangan dengan cara membuka pintu kabin hingga kompresor bekerja kembali.



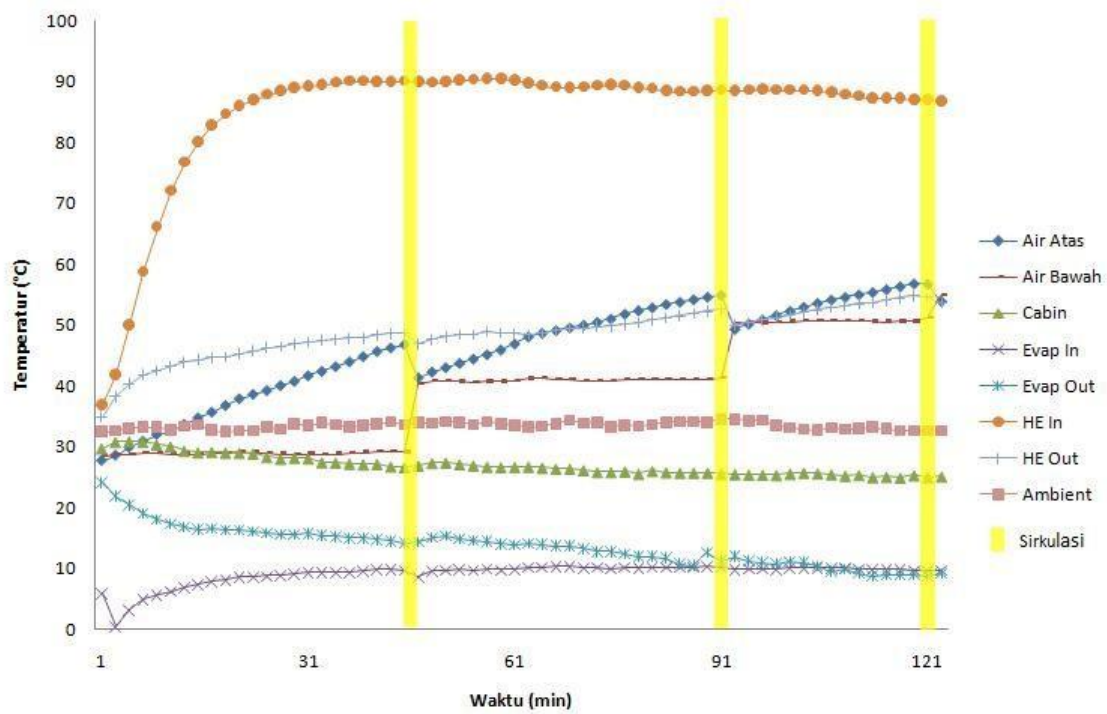
Gambar IV-2 Grafik temperatur ACWH 1 PK dengan beban 2000 Watt

Pada pembebanan 2000 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah 53,04°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada 89,74°C. Kondisi kabin akan stabil pada temperatur 20°C.



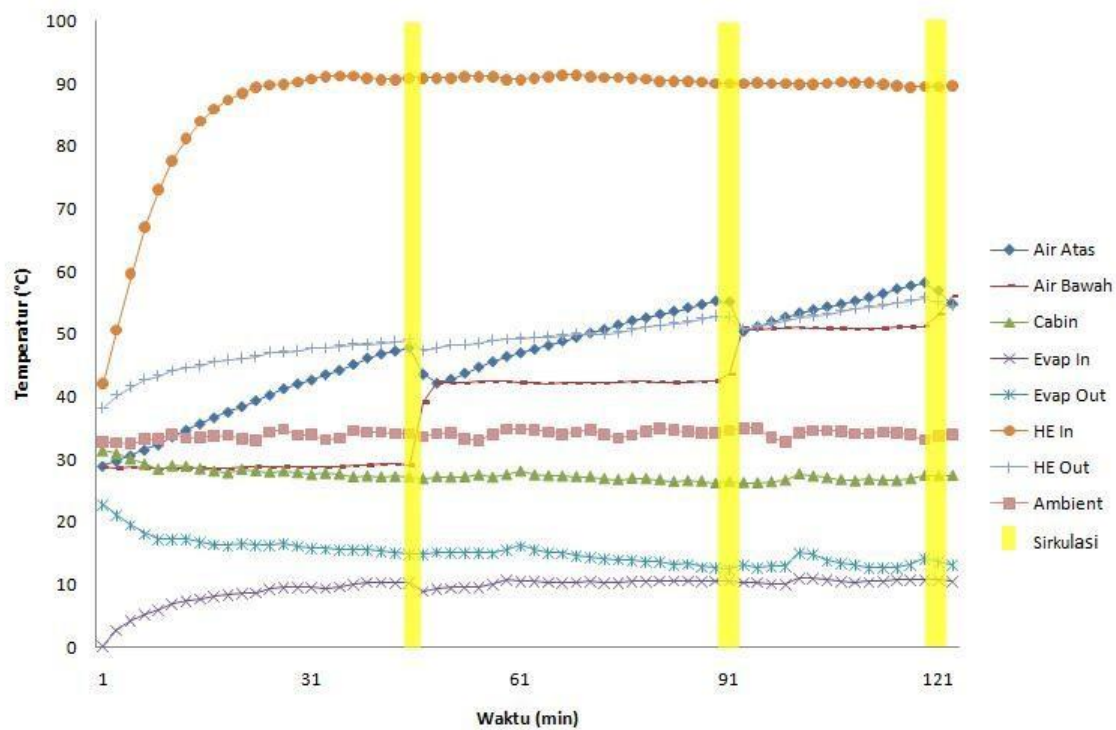
Gambar IV-3 Grafik temperatur ACWH 1 PK dengan beban 2200 Watt

Pada pembebanan 2200 Watt, temperatur air akhir mencapai 52,99°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran sebesar 87,75°C. Kabin berada pada temperatur 22°C.



Gambar IV-4 Grafik temperatur ACWH 1 PK dengan beban 2400 Watt

Pada pembebanan 2400 Watt temperatur air akhir 54,92°C. Temperatur maksimum refrigeran 90,55°C. Sedangkan temperatur kabin stabil pada suhu 25°C.

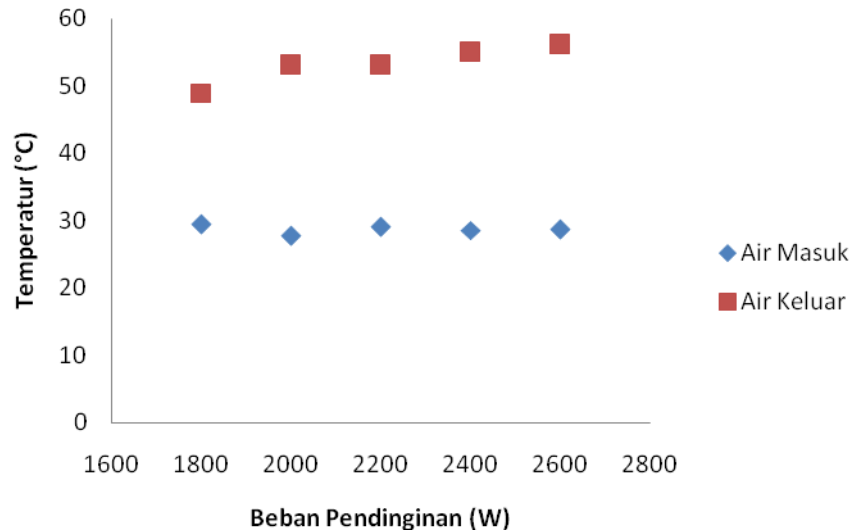


Gambar IV-5 Grafik temperatur ACWH 1 PK dengan beban 2600 Watt

Pada pembebanan 2000 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah 56,12°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada 91,36°C. Kabin akan stabil pada temperatur 27°C.

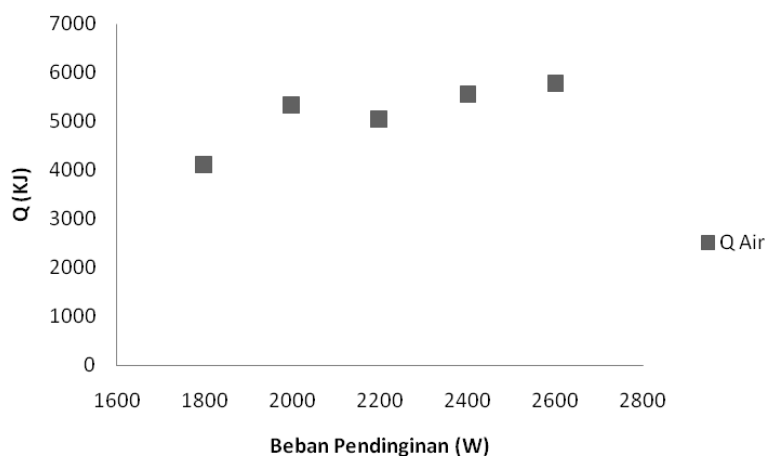
Penambahan beban pendinginan akan mempengaruhi temperatur air pada water storage. Dengan naiknya beban pendinginan maka kalor yang diserap refrigeran akan meningkat pula sehingga menaikkan temperatur refrigeran itu sendiri. Dengan naiknya temperature refrigeran maka kalor yang diserap air pun makin meningkat dan secara langsung menaikkan temperatur air tersebut.

Untuk pengujian ACWH dengan AC 1 PK menghasilkan temperatur yang berkisar antara 49°C hingga 56°C. Temperatur air yang dihasilkan lebih dari cukup untuk mandi menggunakan air panas. Sesuai gambar II.4 temperatur yang dibutuhkan untuk mandi sebesar 43°C. Oleh karena itu, dibutuhkan pencampuran kembali dengan air dingin untuk mendapatkan temperatur yang sesuai dan nyaman untuk mandi air panas.



Gambar IV-6 Grafik kenaikan air vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK

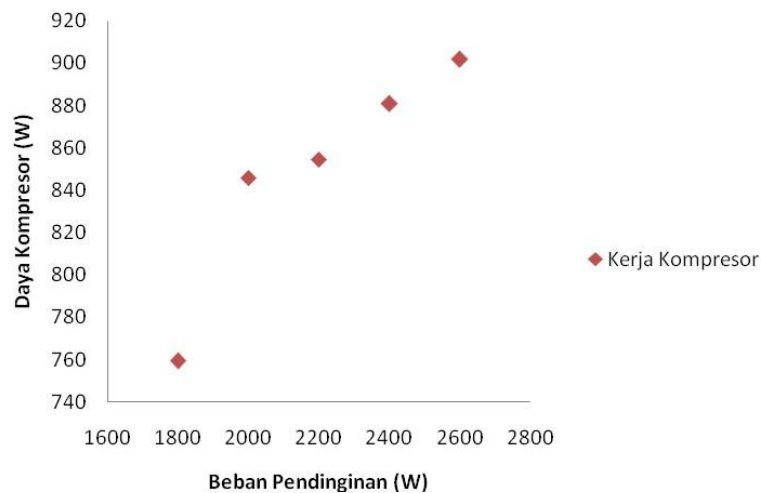
Terlihat dari grafik kenaikan air bahwa kenaikan air yang paling besar terjadi pada pembebanan terbesar pula yaitu pada 2600 Watt. Pada pembebanan 2000 Watt dan 2200 Watt terjadi perbedaan dengan percobaan yang lain. Kenaikan air lebih tinggi pada pembebanan 2000 Watt daripada 2200 Watt. Hal ini terjadi karena temperatur lingkungan yang berbeda. Saat pengujian pada pembebanan 2000 Watt temperatur lingkungan 34°C sedangkan suhu lingkungan hanya mencapai 31°C untuk pengujian dengan pembebanan 2200 Watt.



Gambar IV-7 Grafik Q air vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK

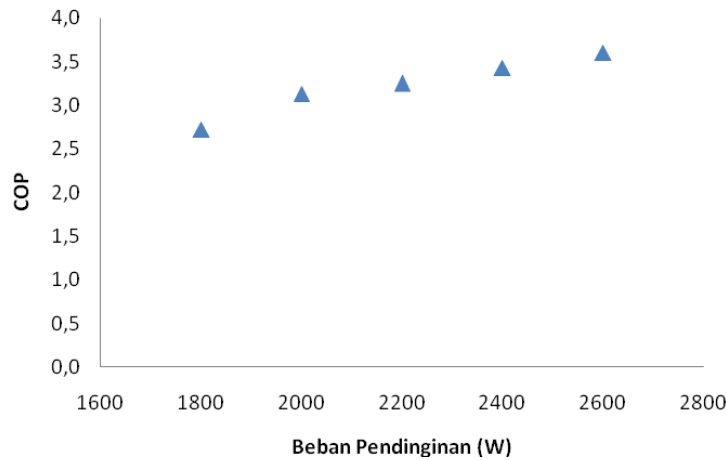
Penambahan beban pendinginan menambah banyaknya kalor yang diserap oleh air. Hal ini terjadi karena Q air didapat dari perubahan air pada water storage.

Semakin tinggi perbedaan air semakin tinggi Q air yang diperoleh. Sedangkan kenaikan air dipengaruhi oleh temperatur refrigeran yang terpengaruh pula oleh pembebanan dalam ruang kabin.



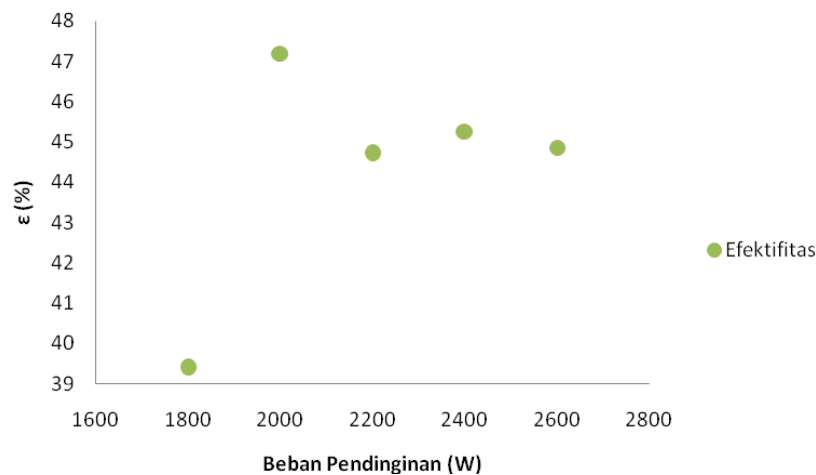
Gambar IV-8 Grafik kerja kompresor vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK

Kerja kompresor pada ACWH 1 PK sebesar 760-900 Watt. Semakin banyak kalor yang harus dipindahkan oleh refrigeran maka kerja kompresor pun bertambah berat. Untuk kerja kompresor rata-rata, kerja paling ringan terjadi pada pembebanan 1800 Watt. Hal ini terjadi karena ada kondisi kompresor berhenti bekerja karena suhu ruangan telah tercapai. Kerja maksimum kompresor sebesar 900 Watt yang berarti 100 Watt lebih besar daripada kerja kompresor yang tercantum pada spesifikasi AC normal yaitu sebesar 800 Watt.



Gambar IV-9 Grafik COP sistem vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK

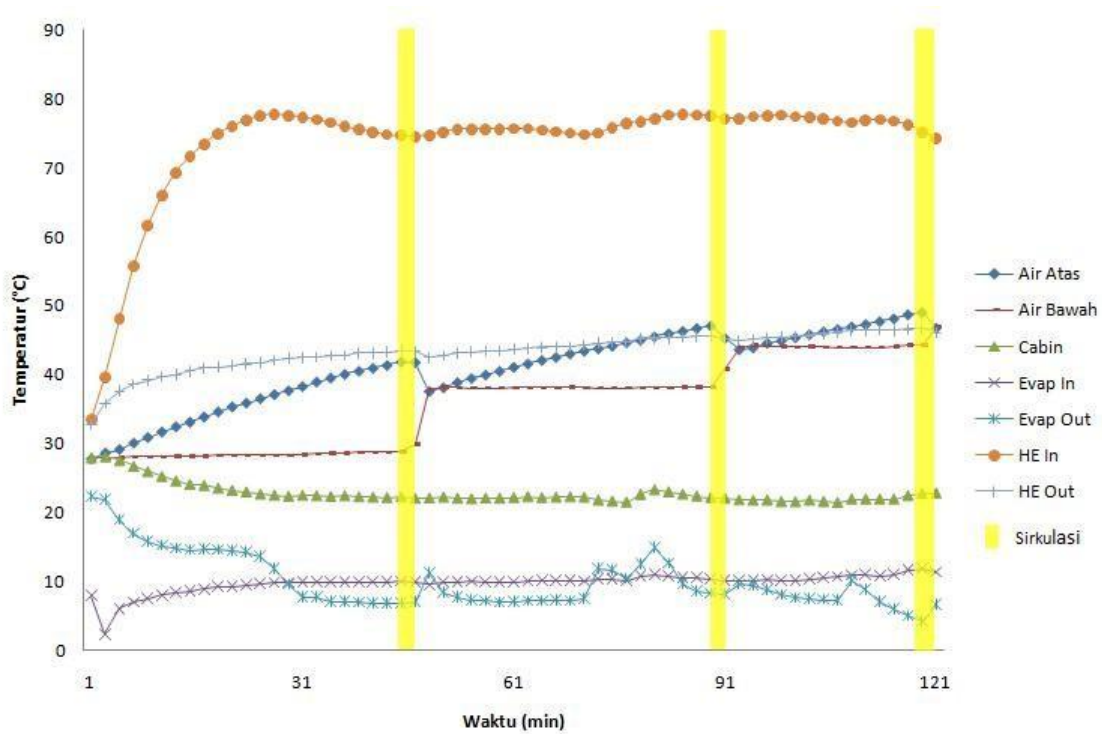
COP merupakan rasio antara manfaat yang didapatkan dengan kerja yang dilakukan. Dalam hal ini, ACWH 1 PK memiliki COP sistem dengan rentang 2,7-3,6 untuk pembebanan yang diberikan. COP dipengaruhi oleh kerja kompresor, Q air yang diterima, serta beban pendinginan yang ada.



Gambar IV. 10. Grafik efektifitas vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK

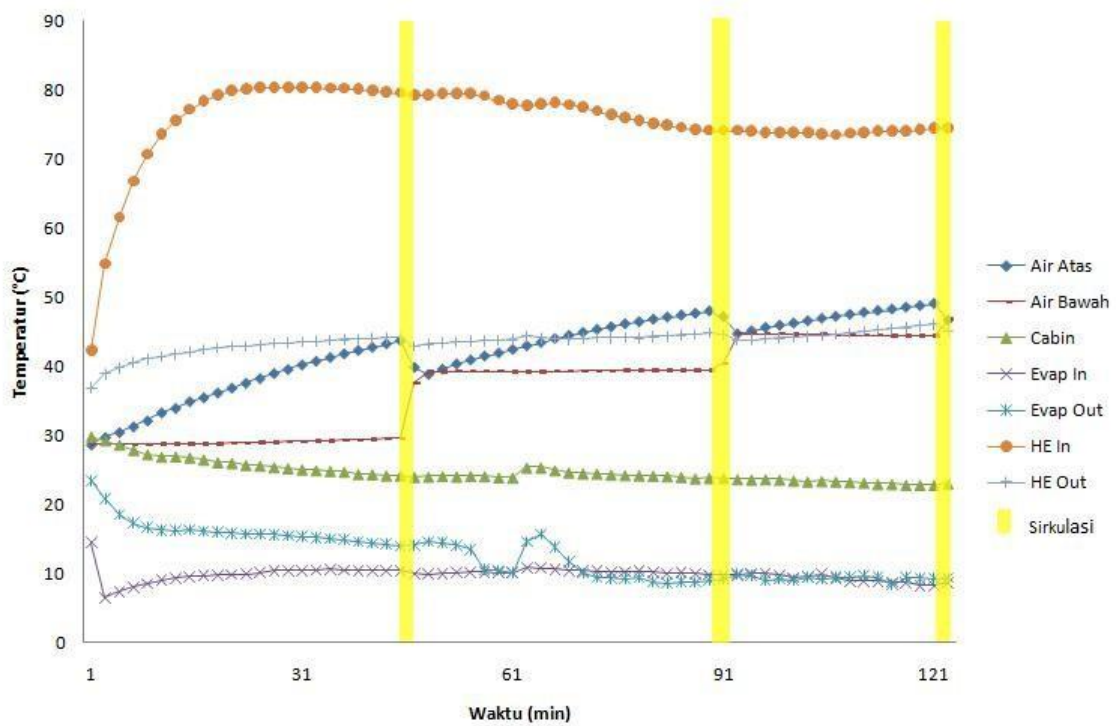
Efektifitas yang dimaksud adalah efektifitas temperatur. Efektifitas dipengaruhi oleh temperatur refrigeran dan air. Terlihat bahwa efektifitas ACWH 1 PK berada pada rentang 39%-47%.

IV.1.2. ACWH ¾ PK



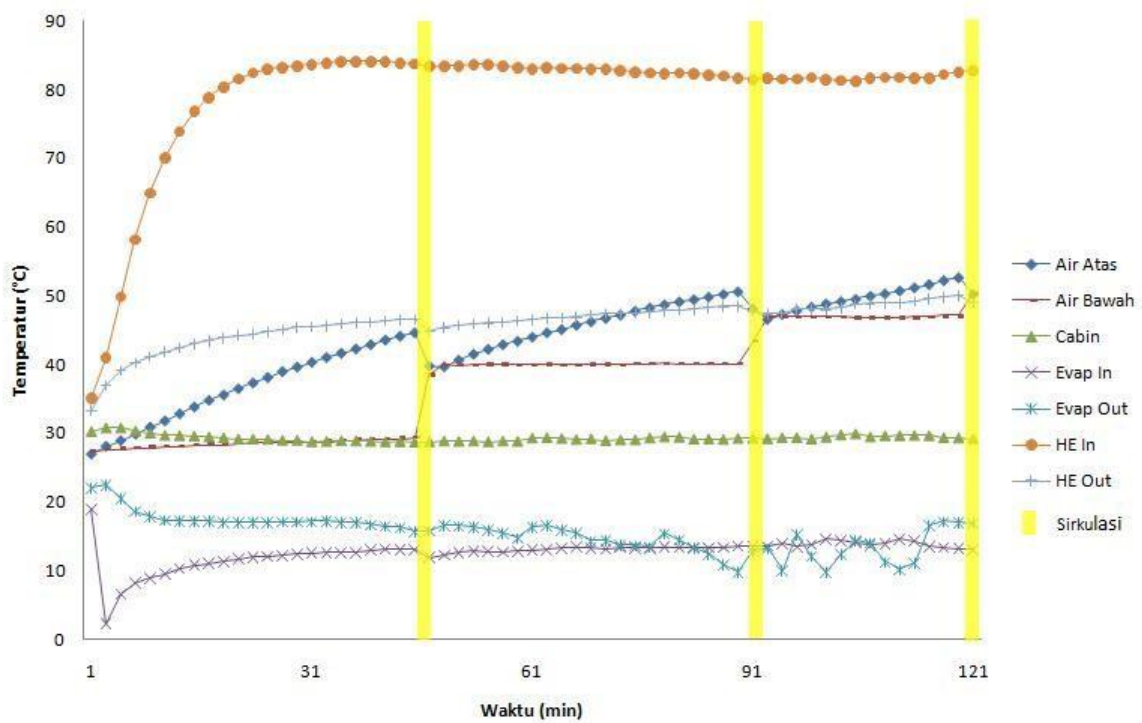
Gambar IV-10 Grafik temperatur ACWH ¾ PK dengan beban 1800 Watt

Pada pembebanan 1800 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah 47,1°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada 77,90°C. Kondisi kabin akan stabil pada temperatur 22°C.



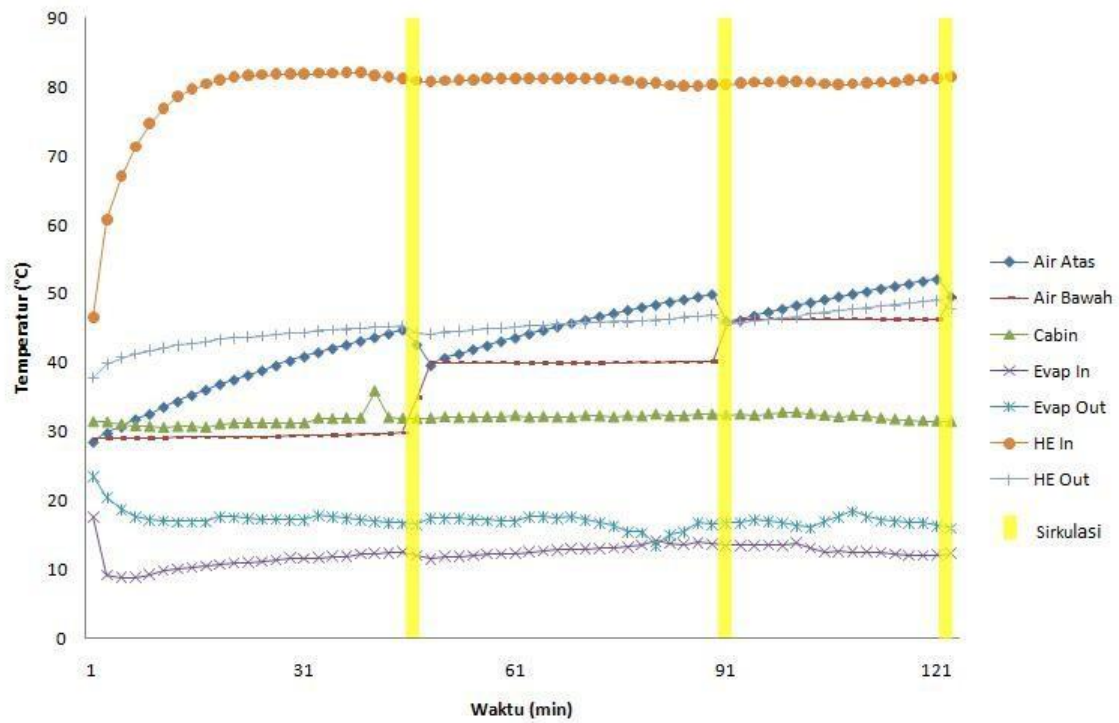
Gambar IV-11 Grafik temperatur ACWH ¼ PK dengan beban 2000 Watt

Pada pembebanan 2000 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah 46,73°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada 80,33°C. Kondisi kabin akan stabil pada temperatur 23°C.



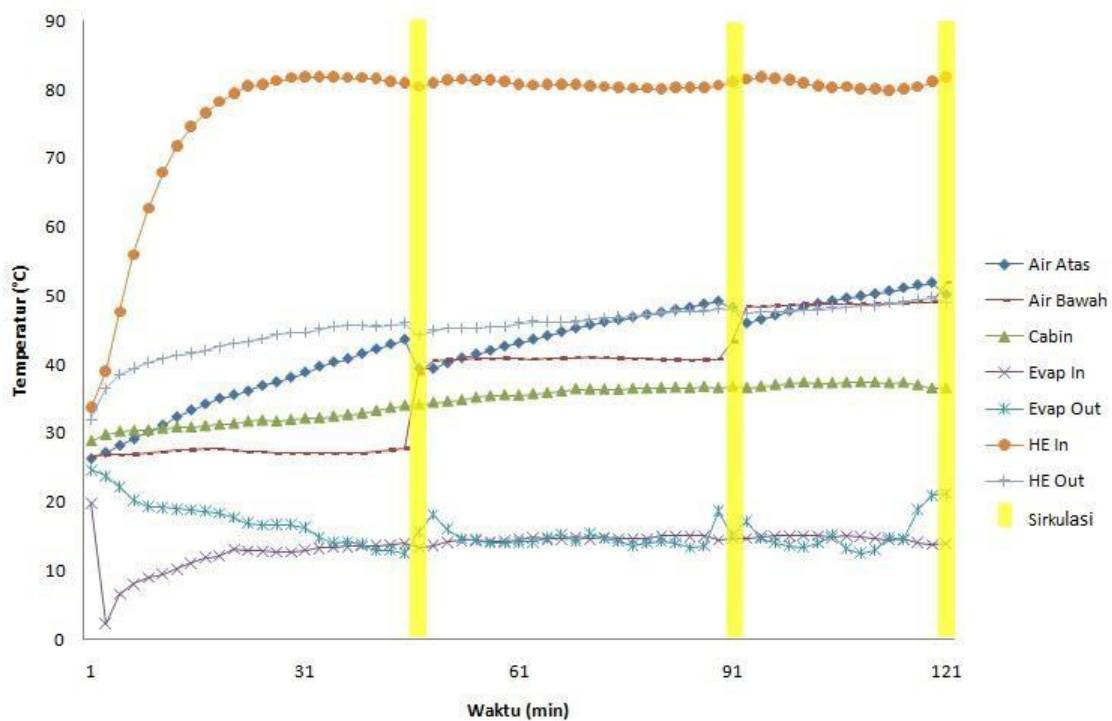
Gambar IV-12 Grafik temperatur ACWH $\frac{3}{4}$ PK dengan beban 2200 Watt

Pada pembebanan 2200 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah 50,39°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada 84,06°C. Kondisi kabin akan stabil pada temperatur 29°C



Gambar IV-13 Grafik temperatur ACWH ¼ PK dengan beban 2400 Watt

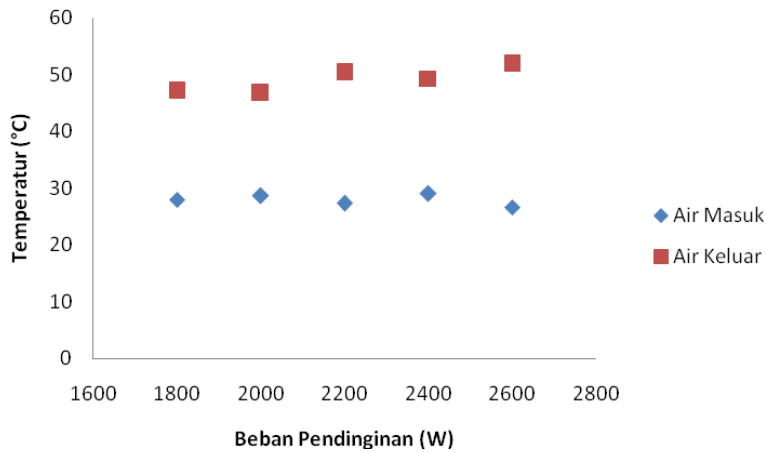
Pada pembebanan 2400 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah 49,03°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada 82,16°C. Kondisi kabin akan stabil pada temperatur 31°C



Gambar IV-14 Grafik temperatur ACWH $\frac{3}{4}$ PK dengan beban 2600 Watt

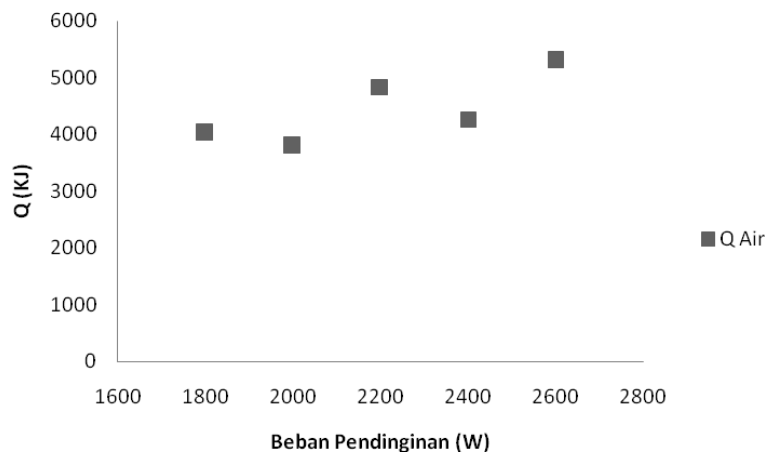
Pada pembebanan 2600 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah $51,86^{\circ}\text{C}$. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada $81,82^{\circ}\text{C}$. Kondisi kabin akan stabil pada temperatur 37°C

Untuk pengujian ACWH dengan AC $\frac{3}{4}$ PK menghasilkan temperatur yang berkisar antara 47°C hingga 52°C . Seperti ACWH 1 PK, temperatur air yang dihasilkan oleh ACWH $\frac{3}{4}$ PK juga lebih dari cukup untuk mandi menggunakan air panas. Oleh karena itu, tetap dibutuhkan pencampuran kembali dengan air dingin untuk mendapatkan temperatur yang sesuai dan nyaman untuk mandi air panas.



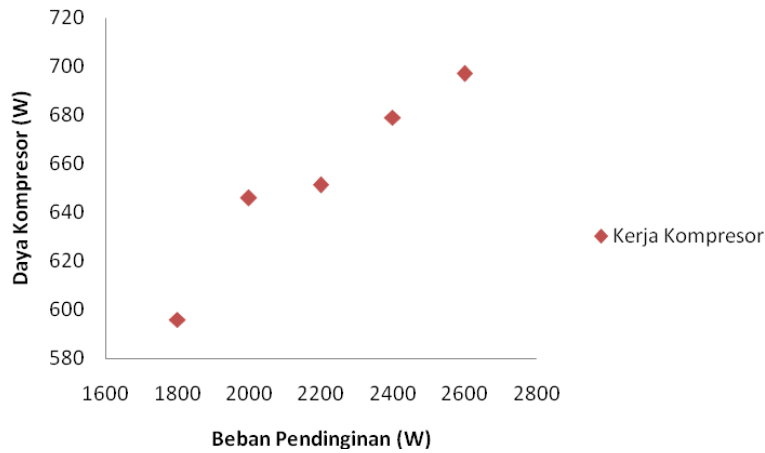
Gambar IV-15 Grafik kenaikan air vs beban pendinginan pada ACWH $\frac{3}{4}$ PK

Kenaikan air paling besar terjadi pada pembebanan terbesar pula yaitu pada 2600 Watt. Terlihat bahwa kenaikan air tidak seiring dengan penambahan beban. Hal ini terjadi karena perubahan temperatur lingkungan pada saat pengambilan data, sehingga temperatur refrigeran pun ikut berubah.



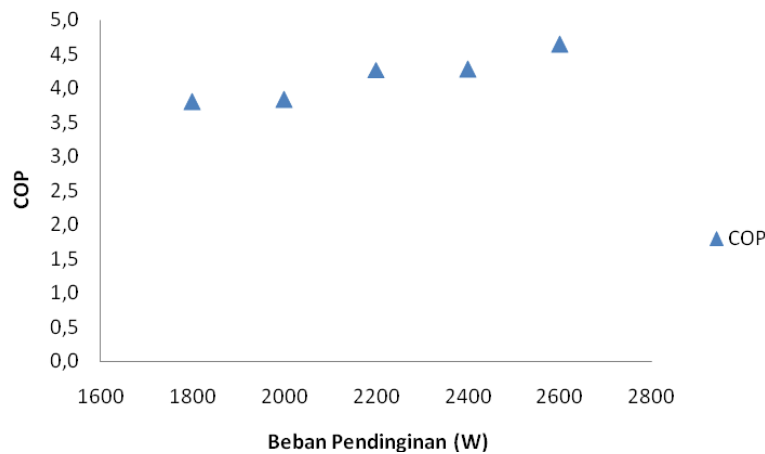
Gambar IV-16 Grafik Q air vs beban pendinginan pada ACWH $\frac{3}{4}$ PK

Penambahan beban pendinginan menambah banyaknya kalor yang diserap oleh air. Karena kenaikan air dipengaruhi oleh temperatur refrigeran yang dipengaruhi pula oleh suhu lingkungan, maka grafik Q air vs beban pendinginan tidak semulus yang diinginkan. Tetapi grafik tersebut tetap memperlihatkan trend yang ada bahwa banyaknya kalor yang diserap air akan bertambah apabila pembebanan dalam ruang kabin ditambah pula.



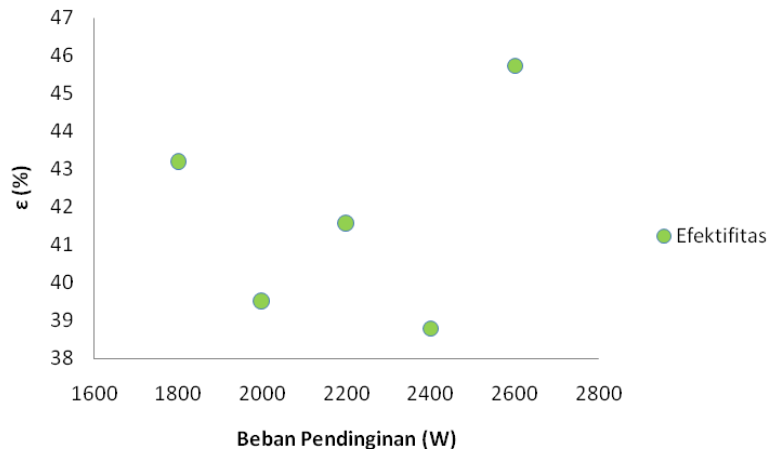
Gambar IV-17 Grafik kerja kompresor vs beban pendinginan pada ACWH $\frac{3}{4}$ PK

Kerja kompresor pada ACWH $\frac{3}{4}$ PK sebesar 596-697 Watt. Untuk kerja kompresor rata-rata, kerja paling ringan terjadi pada pembebanan 1800 Watt. Kerja maksimum kompresor sebesar 697 Watt pada pembebanan 2600 Watt yang berarti 127 Watt lebih besar daripada kerja kompresor yang tercantum pada spesifikasi AC normal yaitu sebesar 570 Watt



Gambar IV-18 COP pada ACWH $\frac{3}{4}$ PK

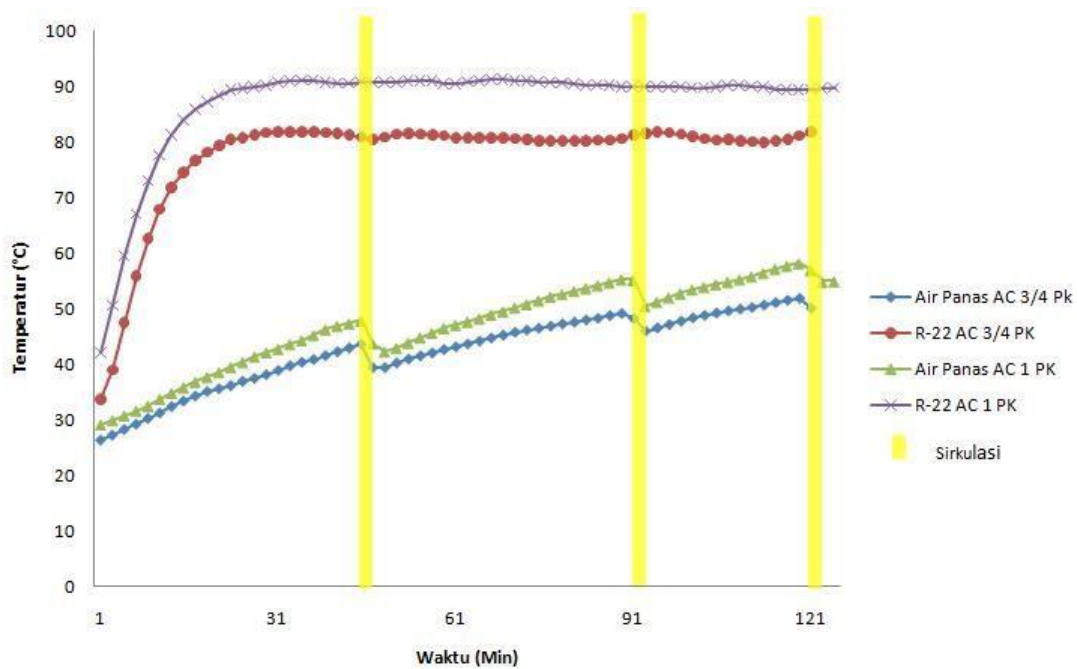
ACWH HCWS $\frac{3}{4}$ PK memiliki COP sistem dengan rentang 3,8-4,6 untuk pembebanan yang diberikan. COP dipengaruhi oleh kerja kompresor, Q air yang diterima, serta beban pendinginan yang ada.



Gambar IV-19 Grafik efektifitas vs beban pendinginan $\frac{3}{4}$ PK

Terlihat bahwa efektifitas ACWH $\frac{3}{4}$ PK berada pada rentang 43%-46%.

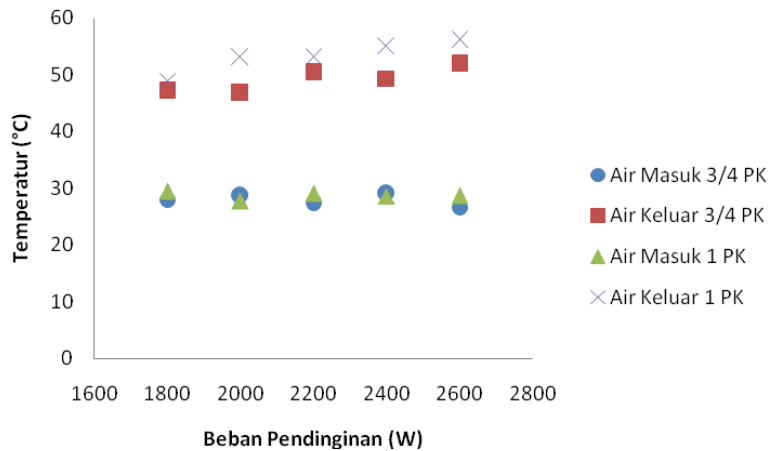
IV.2. Analisa Perbandingan ACWH 1 PK dan ¾ PK



Gambar IV-20 Grafik perbandingan temperatur ACWH 1 PK & ¾ PK pada beban 2600 Watt

Perbandingan temperatur fluida yang bekerja pada ACWH antara penggunaan AC 1 PK dan ¾ PK terlihat pada gambar IV.20. Untuk perbandingan, digunakan satu sampel dari tiap daya AC, yaitu dengan pembebanan terbesar, 2600 Watt.

Dari grafik terlihat, untuk semua titik-titik pengambilan temperatur fluida kerja (refrigeran dan air) penggunaan AC 1 PK memiliki temperatur di atas penggunaan AC ¾ PK. Hal ini terjadi karena kerja kompresor 1 PK lebih besar sehingga menghasilkan temperatur refrigeran yang lebih panas. Temperatur refrigeran juga akan mempengaruhi panas dari air yang ditampung pada tangki penyimpanan.

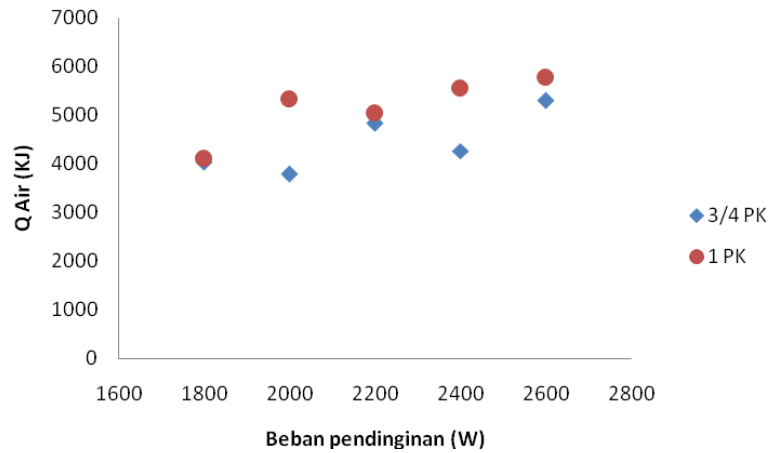


Gambar IV-21 Grafik kenaikan air vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK & ¾ PK

Pada grafik kenaikan air untuk penggunaan AC 1 PK dan ¾ PK, terlihat bahwa dengan temperatur air masuk yang hampir sama, kenaikan air lebih tinggi terjadi pada penggunaan AC 1 PK. Seperti dijelaskan sebelumnya, hal ini terjadi karena kerja kompresor yang lebih besar sehingga menghasilkan temperatur refrigeran keluar kompresor yang besar pula. Semakin besar temperatur refrigeran, semakin tinggi kenaikan air pada tangki penyimpanan.

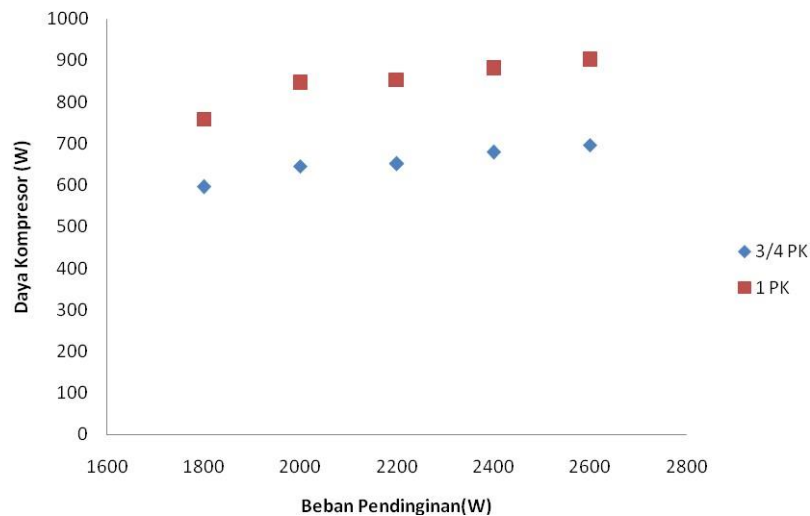
Terdapat perbedaan 1-5 derajat antara AC 1 PK dengan AC ¾ PK. Temperatur maksimum yang dapat dicapai AC 1 PK sebesar 56,12°C sedangkan untuk AC ¾ PK sebesar 51,86°C.

Pada AC ¾ PK terlihat grafik yang tidak mulus. Seharusnya penambahan beban akan menambah kenaikan temperatur air. Tetapi pada pembebanan 2000 Watt dan 2400 Watt hal tersebut tidak terlihat. Hal ini terjadi karena perubahan temperatur lingkungan. Pada saat percobaan dan pengujian dua pembebanan tersebut, temperatur lingkungan mendadak turun karena terjadi hujan. Untuk temperatur lingkungan normal sebesar 30-33°C, sedangkan saat hujan turun hingga 26°C. Hal ini mempengaruhi temperatur masuk kompresor dan keluar kompresor yang secara langsung ikut menurunkan temperatur refrigeran sehingga kalor yang diserap air tidak sebesar saat kondisi temperatur lingkungan normal



Gambar IV-22 Grafik Q air vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK & $\frac{3}{4}$ PK

Secara keseluruhan terlihat bahwa Q yang diserap oleh air lebih banyak pada penggunaan AC 1 PK daripada $\frac{3}{4}$ PK. Terlihat perbedaan data untuk pembebanan 2000 Watt dan 2400 Watt pada penggunaan AC $\frac{3}{4}$ PK. Hal ini dipengaruhi kenaikan temperatur air. Seperti dijelaskan sebelumnya, bahwa kenaikan air juga dipengaruhi oleh temperatur refrigeran yang ternyata sangat dipengaruhi oleh temperatur lingkungan.



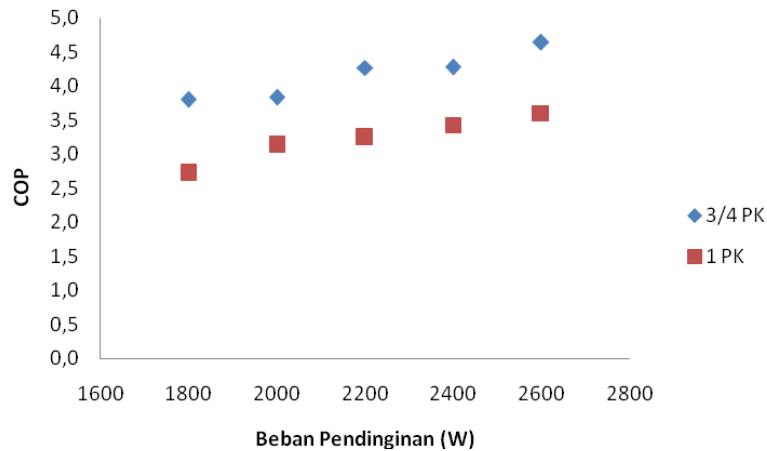
Gambar IV-23 Grafik kerja kompresor vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK & ¾ PK

Kerja kompresor yang terlihat menunjukkan bahwa AC 1 PK mengalami kerja yang lebih besar ketimbang ¾ PK. Hal ini jelas terjadi karena spesifikasi kedua kompresor tersebut berbeda.

Untuk penambahan beban pendinginan terlihat di kedua jenis AC akan meningkatkan kerja kompresor karena semakin banyak kalor yang harus diserap.

Untuk ACWH 1 PK menambah kerja kompresor dengan rentang 0-100 Watt jika dibandingkan dengan spesifikasi pabrik sebesar 800 Watt. Sedangkan ACWH ¾ PK menambah kerja kompresor sebesar 20-127 Watt dari spesifikasi pabrik yang sebesar 570 Watt. Penambahan ini terjadi karena penambahan beban pendinginan sehingga semakin banyak kalor yang harus diserap oleh refrigeran. Selain itu, penambahan helical coil pada sistem pendingin juga ikut menambah pressure drop. Pressure drop akan ikut menambah kinerja dari kompresor tersebut.

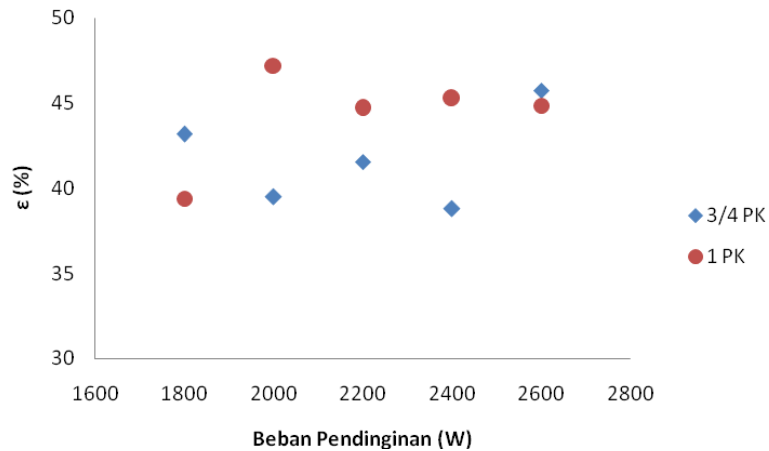
Pada pengujian 2 jenis AC ini, tekanan hisap kompresor diberikan sebesar 70 Psi. Semakin tinggi tekanan hisap maka semakin banyak refrigeran yang ada. Sebenarnya hal ini bagus untuk pendinginan, tetapi tidak diterapkan karena memiliki efek meningkatkan pula tekanan keluar kompresor yang berakibat memperpendek umur kompresor itu sendiri. Tekanan keluar maksimum ACWH 1 PK adalah 300 Psi dan ¾ PK sebesar 275 Psi.



Gambar IV-24 Grafik COP vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK & ¾ PK

Pada pengujian variasi beban pendinginan, COP akan semakin meningkat jika beban pendinginan ditambah karena beban pendinginan yang dipindahkan akan bertambah. Bertambahnya beban pendinginan masih dalam range kerja sistem. Hal ini terlihat dari temperatur refrigeran yang keluar dari evaporator masih memiliki temperatur yang rendah. Temperatur refrigeran ini dapat dijadikan gambaran temperatur di dalam kabin. Jika temperatur yang keluar evaporator tetap rendah, maka temperatur di dalam kabin tetap dingin, demikian sebaliknya.

COP penggunaan AC ¾ PK lebih besar daripada AC 1 PK. Hal ini terjadi karena perbandingan Q yang tidak terlalu besar antara kedua jenis AC tersebut. Untuk Q yang hampir sama ternyata dapat dilakukan dengan kerja kompresor yang lebih rendah pada AC ¾ PK sehingga nilai COP dari ACWH ¾ PK lebih besar daripada 1 PK.



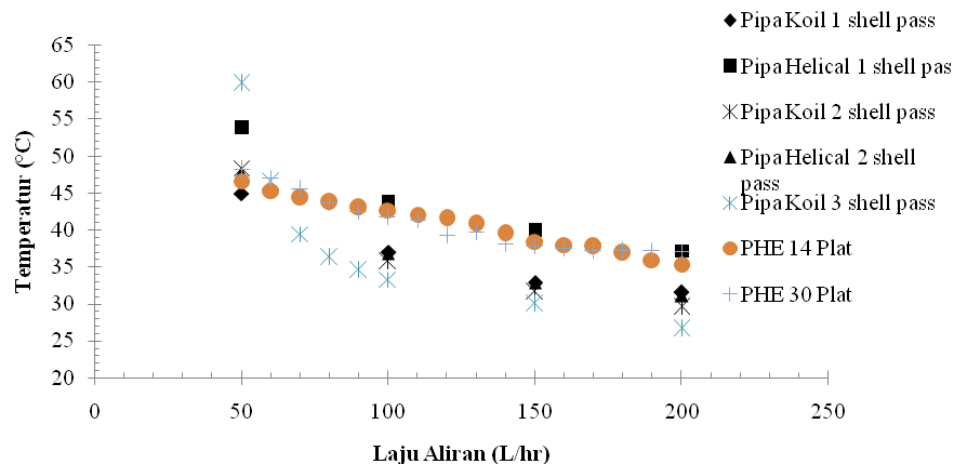
Gambar IV-25 Grafik efektifitas vs beban pendinginan pada ACWH 1 PK & ¾ PK

Efektifitas temperatur dipengaruhi oleh temperatur air dan refrigeran. Secara umum terlihat bahwa penggunaan AC 1 PK memiliki efektifitas lebih tinggi daripada AC ¾ PK. Tetapi perlu diingat bahwa temperatur refrigeran juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan sehingga perlu dilakukan percobaan pada temperatur lingkungan yang sama untuk mendapatkan hasil analisa yang optimal.

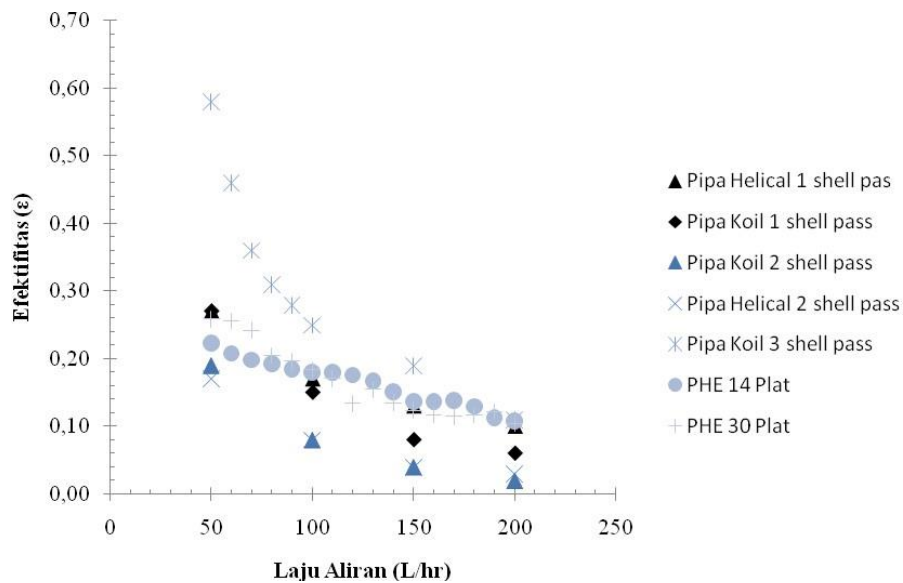
IV.1. Perbandingan ACWH menggunakan tangki penyimpanan dengan ACWH sebelumnya

Sebenarnya ACWH HCWS tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan ACWH-ACWH sebelumnya. Hal ini terjadi karena ACWH sebelumnya menggunakan laju aliran sebagai acuan dalam melakukan pengujian. Sedangkan ACWH HCWS lebih menitikberatkan perubahan yang terjadi terhadap waktu pemanasan.

Oleh karena itu, penulis berusaha membandingkan ACWH HCWS dengan ACWH sebelumnya dengan analisa dan sudut pandang dari penulis.



Gambar IV-26 Grafik kenaikan air vs laju aliran ACWH sebelumnya



Gambar IV-27 Grafik efektifitas vs laju aliran ACWH sebelumnya

IV.2.1. Perbandingan Thermal

ACWH dengan alat penukar kalor berupa pipa helical yang terintegrasi dalam tangki penyimpanan memiliki air panas keluran yang lebih besar dari ACWH-ACWH sebelumnya. Hal ini terjadi karena kalor yang diserap ditahan didalam tangki dan diberikan isolasi untuk mengurangi kalor yang keluar.

Terlihat dari grafik kenaikan air, bahwa kenaikan tertinggi terjadi pada ACWH dengan Pipa Koil 3 Shell Pass. Air keluar yang dihasilkan mencapai hingga 59,90°C pada laju aliran 50 L/h. Tetapi saat laju aliran disamakan dengan bukaan keran normal (sekitar 200 L/h) maka temperatur air keluar turun drastis hingga 26,63°C.

Jika laju aliran sebesar 50L/h diterapkan untuk kondisi nyata (apartemen atau perumahan) maka diperlukan 1 jam untuk bisa mendapatkan 50 L air. Karena tidak adanya tangki penyimpanan, saat proses 1 jam untuk mendapatkan 50 L air tersebut, akan terjadi penurunan suhu yang signifikan karena berhubungan langsung dengan temperatur lingkungan yang lebih rendah. Selain itu, untuk mendapatkan temperatur 59,90°C pada laju aliran 50 L/h secara instan perlu menunggu AC dalam kondisi stabil sehingga memiliki panas refrigeran maksimum. Kondisi AC stabil dapat dicapai dengan rentang waktu antara 30 menit hingga 1 jam.

Tabel IV-1 Perbandingan ACWH

ACWH	Hot Water	COP	Efektifitas
Koil 1 Shell	44,95	N/A	27
Helical 1 Shell	53,91	N/A	27
Koil 2 Shell	48,38	2,76	19
Helical 2 Shell	47,65	2,76	17
Helical 3 Shell	59,9	3,78	58
PHE 14 plat	46,59	3,98	22
PHE 30 plat	48,12	3,57	26
Helical+Tangki (1 PK)	56,12	4,64	47
Helical+Tangki (3/4 PK)	51,86	3,6	45

Dengan waktu yang sama (2 jam) ACWH HCWS lebih efektif untuk digunakan karena air yang keluar tetap pada kondisi panas (56,12°C) untuk kondisi bukaan keran seperti apapun. Kondisi air panas akan terus terjaga karena tangki ACWH HCWS terisolasi oleh polyuretane yang mencegah panas banyak terbuang ke lingkungan.

IV.2.1. Perbandingan Desain

ACWH dengan alat penukar kalor helical coil yang diintegrasikan pada tangki penyimpanan memiliki desain yang lebih rapi dan padat (compact). Dengan desain ini, penerapan peletakkan sistem ACWH baik di dalam ruang seperti gambar II.9 maupun untuk peletakkan di luar ruang lebih praktis dan tidak banyak menggunakan lahan.

Karena desainnya yang lebih minimalis, maka harga estimasi pembuatan dan produk pun lebih murah. ACWH dengan Helical Coil Water Storage memiliki harga dan pemakaian listrik lebih ekonomis dibandingkan dengan water heater jenis lain maupun ACWH dengan PHE.

BAB V KESIMPULAN & SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang didapatkan selama pengujian, dapat diambil beberapa kesimpulan:

- Dengan AC berdaya 1 PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur 49-56⁰C pada kapasitas 50 L.
- Dengan AC berdaya ¾ PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur 47-52⁰C pada kapasitas 50 L.
- Semakin tinggi beban pendinginan, temperatur air panas yang dihasilkan akan semakin tinggi.
- Sistem ACWH akan menghasilkan *performance* (COP) yang lebih besar ketimbang AC biasa karena adanya proses heat recovery..
- ACWH ¾ PK sudah memenuhi persyaratan untuk mendapatkan air panas untuk mandi. Sehingga untuk ruangan kecil, ACWH lebih cocok untuk diterapkan.
- Kelebihan ACWH dengan helical coil pada tangki penyimpanan
 - Lebih efektif dan optimal dalam mendapatkan temperatur air panas daripada ACWH sebelumnya.
 - Dapat menjaga temperatur air panas yang didapat karena memiliki tangki berisolasi.
 - Untuk bukaan keran normal, memiliki temperatur air panas yang jauh lebih tinggi dari ACWH sebelumnya.
 - Tidak memerlukan konsumsi listrik yang banyak daripada penggunaan water heater listrik.
 - Desainnya yang lebih rapi dan padat sehingga tidak memakan banyak tempat untuk peletakkannya.

- Kekurangan ACWH HCWS
 - Memerlukan waktu untuk pemanasan air yang cukup lama (1,5-2 jam)
 - Desain tangki horisontal dengan helical coil di tengah membuat air di bawah HE lama untuk mengalami pemanasan. Sehingga dibutuhkan sirkulasi air dalam tangki.

V.2. Saran

Dari serangkaian proses pengujian yang sudah dilakukan, ditemukan beberapa hambatan. Saran yang dapat penulis berikan:

1. Untuk hasil pengujian yang lebih optimal harus dilakukan pada kondisi temperatur lingkungan yang sama. Karena perbedaan temperatur lingkungan mempengaruhi temperatur refrigeran.
2. Untuk penerapan pada apartemen perlu dilakukan pengujian dengan ruangan dan beban pendinginan yang nyata.
3. Desain tangki penyimpanan perlu diperbaiki sehingga keberadaan pompa untuk sirkulasi air dapat dihilangkan.

DAFTAR ACUAN

- [1] Incropera, Frank P., et al, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd., Singapore, 2002
- [2] Nandy Putra et al, “Kinerja Alat Penukar Kalor pada Air Conditioner Water Heater”, in Seminar Nasional Efisiensi & Konversi Energi 2005, Semarang
- [3] Shah, R.K., “Fundamentals of Heat Exchanger Design”, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2003
- [4] Nandy Putra, Hidayat D. Amri, Nasruddin, “Karakterisasi Unjuk Kerja Penukar Kalor Double Shell Pass Pada Sistem Air Conditioner Water Heater” Prosiding Seminar Nasional Gabungan Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Material dan Proses ke-2 Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-12, UGM, Yogyakarta 2006.
- [5] Nandy Putra, Nasruddin, Agus L.M. Sinaga, Handi Chandra, “Sistem Air Conditioner Water Heater Dengan Tiga Alat Penukar Kalor Tipe Koil Disusun Seri”, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) – VI, Universitas Syiah Kuala, Nanggroe Aceh Darussalam 2007
- [6] Nandy Putra, Nasruddin, Handi, Agus LMS, “Kajian Eksperimental Pada Slip Air Conditioning Water Heater Dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat Untuk Penyediaan Air Panas Di Apartemen”, Jurnal Teknology (Journal of Technology) Edisi No.4, Tahun XXI , UI, Depok 2008
- [7] H.J. Laue, Regional report Europe: „heat pumps—status and trends“, International Journal of Refrigeration 25 (2002) 414–420
- [8] Ji Jei, Chow Tin-tai, Pei Gang, Dong Jun, He Wei. Domestic air-conditioner and integrated water heater for subtropical climate. Applied Thermal Engineering 2003

Hambatan Dinding

$$\begin{aligned} \text{Diameter luar (do)} &= 0,375 \text{ inch} = 0,009525 \text{ m} \\ \text{Diameter dalam (di)} &= 0,305 \text{ inch} = 0,007747 \text{ m} \\ \text{Jari-jari luar (ro)} &= 4,76 \times 10^{-3} \text{ m} \\ \text{Jari-jari dalam (ri)} &= 3,87 \times 10^{-3} \text{ m} \\ \text{Panjang pipa} &= L \\ k &= 52 \text{ W / m.K} \end{aligned} \quad \begin{aligned} R_w &= \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi L k} \\ &= \frac{\ln\left(\frac{4,76}{3,87}\right)}{2\pi L \times 52} \\ &= \frac{6,34 \times 10^{-4}}{L} \text{ W / K} \end{aligned}$$

Hambatan konveksi luar

$$\begin{aligned} V \text{ air} &= 0.05 \text{ m}^3 \\ \rho &= 1000 \text{ kg / m}^3 \\ c_p &= 4180 \text{ J/kg.K} \\ c_{p \text{ ref}} &= 3001 \text{ J/kg.K} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \mu &= 0,00668 \times 10^{-2} \text{ Ns/m}^2 \\ di &= 0,007747 \text{ m} \\ Pr &= 3,8 \\ k &= 53.1 \times 10^{-3} \text{ W / m.K} \end{aligned}$$

Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air dari suhu 25° C ke 55° C dalam waktu (estimasi) 30 menit:

$$Q \text{ air} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = \frac{\rho V}{t} c_p \Delta T = \frac{1000 \times 0.05}{1800} 4180 \times (55 - 25) = 3483,33 \text{ Ws}$$

$$Q \text{ air} = Q \text{ tube}$$

$$\begin{aligned} 3483,33 &= \dot{m} c_{p \text{ ref}} (T_{\text{in HE}} - T_{\text{out HE}}) \\ &= \dot{m} 3001 (87 - 46) \end{aligned}$$

$$\dot{m} = 0,028 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} Re &= \frac{4\dot{m}}{\pi di \mu} \\ &= \frac{4 \times 0,028}{\pi \times 0,007747 \times 0,00668 \times 10^{-2}} \\ &= 67674,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu &= 0,023 Re^{\frac{4}{5}} Pr^{0,3} \\ &= 0,023 (67674,6)^{\frac{4}{5}} (3,8)^{0,3} \\ &= 251,19 \end{aligned}$$

$$\text{Nu} = \frac{\bar{h}_i d_i}{k}$$

$$251,19 = \frac{\bar{h}_i 0,007747}{53,1 \times 10^{-3}}$$

$$\bar{h}_i = 1721,72 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

$$A \text{ pipa luar} = \pi d_i L$$

$$= 0,024L \text{ m}^2$$

$$\text{Ri} = \frac{1}{\bar{h}_i A}$$

$$= \frac{1}{1721,72 \times 0,024L} = \frac{0,024}{L} \text{ W/K}$$

Hambatan Total

$$\frac{1}{UA} = \text{Ri} + \text{Rw} + \text{Ro}$$

$$= \frac{1}{\bar{h}_i A_i} + \text{Rw} + \frac{1}{\bar{h}_o A_o}$$

$$= \frac{0,024}{L} + \frac{6,34 \times 10^{-4}}{L} + \frac{0,023}{L}$$

$$= 0,048/L$$

$$UA = L/0,048$$

$$\text{Volume air} = V = 50 \text{ L} = 0,05 \text{ m}^3$$

$$\rho = 1000 \text{ kg / m}^3$$

$$c_p = 4180 \text{ J/kg.K}$$

Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air dari suhu 25° C ke 55° C dalam waktu (estimasi) 30 menit:

$$Q_{\text{air}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T = \frac{\rho V}{t} c_p \Delta T = \frac{1000 \times 0,05}{1800} 4180 \times (55 - 25) = 3483,33 \text{ Ws}$$

Kalor yg dibutuhkan air = Kalor yang dilepas oleh Coiled tubes

$$\begin{aligned} Q_{\text{air}} &= Q_{\text{tube}} \\ 3483,33 &= UA \Delta T \\ &= L/0,048 (87-55) \end{aligned}$$

$$L = 5,22 \text{ m}$$

Panjang yang dibutuhkan tangki penyimpanan untuk memanaskan 50L air hingga memiliki temperatur 55°C selama 30 menit dengan temperatur refrigeran sebesar 87°C sepanjang 5,22 m.