



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA  
ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE PADA SPLIT  
AIR CONDITIONING WATER HEATER**

**SKRIPSI**

**ICHWAN NURHALIM  
04 05 02 0359**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
GENAP 2010/2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA  
ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE PADA SPLIT  
AIR CONDITIONING WATER HEATER**

**SKRIPSI**

**ICHWAN NURHALIM  
04 05 02 0359**

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

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
GENAP 2010/2011**

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

Nama : Ichwan Nurhalim

NPM : 0405020359

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Juni 2010



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Ichwan Nurhalim  
NPM : 0405020359  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul skripsi : Rancang Bangun dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine Pada Split Air Conditioning Water Heater

**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 : Prof Dr-Ing. Ir. Nandy Putra

Penguji : Agus Pamitran S.T, M.Eng., Ph.D.

Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim M.Eng

Penguji : Ardiansyah S.T, M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan banyak nikmat dan karunianya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul :

### **RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE PADA SPLIT AIR CONDITIONING WATER HEATER**

Atas kerja sama yang baik dari semua pihak, penulis telah berhasil dengan baik menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Skripsi ini ditulis guna memenuhi salah satu persyaratan pendidikan Sarjana Reguler pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada

- 1) **Ayah dan Ibu** serta **keluarga** saya yang telah memberikan dukungan moril dan materiil hingga selesainya makalah ini;
- 2) **Prof 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) **Bpk. Dedi S**, atas bantuan dan bimbingan mengenai perancangan dan perakitan sistem penyejuk udara;
- 5) **Agung Nugroho S.T, Andreas Pasaribu S.T dan Dimas Rananda S.T** yang banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
- 6) **Fatimah Nurhayati** yang memberikan dukungan semangat dan dorongan psikologis pada saat pembuatan penelitian ini;
- 7) **Seluruh karyawan DTM FTUI** atas penyediaan sarana-prasarana pengujian dan bantuannya selama perakitan alat pengujian;

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Ichwan Nurhalim  
NPM : 0405020359  
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 :

**Rancang Bangun dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine Pada Split Air Conditioning Water Heater**

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 : 21 Juni 2010

Yang menyatakan



(Ichwan Nurhalim)

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA ALAT PENUKAR  
KALOR TIPE SERPENTINE PADA SPLIT AIR CONDITIONER WATER  
HEATER**

**ABSTRAK**

Krisis ekonomi dan keuangan pada akhir tahun 2008 membuat konsumsi energi global merosot pada tahun 2009. Perekonomian yang pulih kembali menyadarkan bahwa dunia kembali menghadapi masalah mendasar mengenai kebutuhan akan energi dimasa yang akan datang. Krisis membuat permintaan energi merosot 2 persen per tahun selama tahun 2007-2010. Namun, kebutuhan energi naik lagi 2,5 persen per tahun selama tahun 2010-2015 seiring pulihnya ekonomi.

Lebih dari tiga per empat kebutuhan energi dunia masih dipenuhi bahan bakar fosil. Penggunaan energi fosil pada industri-industri besar akan menghasilkan banyak gas buang yang menjadikan pemanasan global semakin bertambah buruk. 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 Split Air Conditioner Water Heater (S-ACWH). Sistem ACWH terdahulu mengalami masalah akan desain yang rumit dan air panas yang dihasilkan tidak terlalu tinggi.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang tipe alat penukar kalor tipe serpentine untuk digunakan pada sistem S-ACWH dan kemudian dilakukan pengujian unjuk kerja S-ACWH tersebut. Alat penukar kalor tipe serpentine dibuat dari pipa tembaga 1/4 inch dengan panjang 8 m. Dengan menggunakan pipa serpentine dan tangki penyimpanan didapatkan air panas dengan temperatur sebesar 60°C untuk waktu pemanasan selama 2 jam pada beban pendinginan 2600 W untuk 50l air

**Kata kunci :** Energi, Alat Penukar Kalor, Pipa Serpentine, Tangki Penyimpanan, Beban Pendinginan

**DESIGN AND TESTING OF SERPENTINE TUBE HEAT EXCHANGER  
PERFORMANCE IN SPLIT AIR CONDITIONING WATER HEATER**

**ABSTRACT**

Economic and financial crisis in late 2008 make the global energy consumption declined in the year 2009. The recovered economy realize that the world faces a fundamental problem regarding the need for energy in the future. Crisis makes energy demand declined 2 percent per year during 2007-2010. However, energy demand rose again 2.5 percent per annum during the years 2010-2015 as the economic recovery.

More than three-quarters of the world's energy needs are still filled with fossil fuel energy. Utilization on large industries will generate a lot of exhaust gases that make global warming getting worse. The main consumption of fossil fuels goes 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 waste heat from air conditioning to produce hot water, we can hold down the electricity consumption. This system is known as Split-Air Conditioner Water Heater (ACWH). The problems of previous ACWH are not having compact design and low temperature of hot water.

The purpose of this study is designing serpentine tube heat exchanger that will be used in S-ACWH system and doing performance test for S-ACWH system. Serpentine tube heat exchanger made from a 1/4 inch diameter and 8 meters length of copper pipe. With the serpentine tube and the water storage, we can achieve hot water with a temperature of 60 ° C for 2 hours warm-up time at 2600 W cooling load for 50 litre of water.

**Keywords :** Energy, Heat Exchanger, Serpentine Tube, Water Storage, Cooling Load

# DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	3
I.3. Tujuan Penelitian.....	4
I.4. Pembatasan Masalah .....	4
I.5. Metodologi Penelitian .....	4
I.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TEORI PENUNJANG .....	6
II.1. Jenis-jenis Water Heater .....	6
II.1.1. Pemanas Air Listrik (Electric Water Heater) .....	6
II.1.2. Pemanas Air Berbahan Bakar Gas (Gas Water Heater).....	7
II.1.3. Pemanas Air Tenaga Surya (Solar Water Heater).....	8
II.1.4. Air Conditioner Water Heater .....	9
II.2 Penelitian ACWH Sebelumnya.....	12
II.2.1. ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass.....	12
II.2.2. ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass .....	13
II.2.3. ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass [5].....	13
II.2.4. ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass [5] .....	13
II.2.5. ACWH dengan Pipa Helical 3 Lалан [6].....	14
II.2.6. ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat 14 Lembar .....	16
II.2.7. ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat 30 Lembar .....	16
II.2.8. ACWH dengan Helical Coil Water Storage.....	17
II.3. Survey Denah Ruang Apartemen.....	19
II.4 Dasar Teori Perhitungan Alat Penukar Kalor .....	20
BAB III ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE PADA S-ACWH .....	22
III.1. Desain Alat Penukar Kalor .....	22
III.2. Instalasi Alat Pengujian .....	23

III.2. Komponen Alat Pengujian.....	25
III.2.1. Sistem Air Conditioner .....	25
III.2.2. Alat Penukar Kalor .....	26
III.2.3. Data Akusisi.....	26
III.2.4. Termokopel Tipe K.....	28
III.2.5. <i>Pressure Gauge</i> .....	28
III.2.6. Beban Pendinginan .....	30
III.2.7. <i>Clamp Meter</i> .....	30
III.2.8. Tangki Penyimpanan .....	30
III.3. Prosedur Pengambilan Data.....	31
III.4. Prosedur Pengolahan Data.....	34
BAB IV ANALISA DATA PENELITIAN.....	37
IV.1. Analisa Karakterisasi ACWH.....	37
IV.2. Perbandingan ACWH menggunakan tangki penyimpanan dengan ACWH sebelumnya .....	45
IV.2.1. Perbandingan ACWH Serpentine Tube dengan ACWH Helical Coil.....	46
IV.2.1. Perbandingan Termal.....	49
BAB V KESIMPULAN & SARAN .....	51
V.1. Kesimpulan .....	51
V.2. Saran .....	52
DAFTAR REFERENSI.....	53
LAMPIRAN.....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1.	Pemanas Air Listrik .....	6
Gambar II. 2.	Pemanas Air Berbahan Bakar Gas .....	7
Gambar II. 3.	Prinsip Kerja Pemanas Air Tenaga Surya.....	8
Gambar II. 4.	Pemanas Air Tenaga Surya .....	9
Gambar II. 5.	Siklus ACWH .....	9
Gambar II. 6.	Temperatur Penggunaan Air Di Rumah Tangga[10].....	11
Gambar II. 7.	Skema ACWH Dengan Pipa Koil 1 Shell Pass .....	12
Gambar II. 8.	Skema ACWH Dengan Pipa Koil 2 Shell Pass[7].....	13
Gambar II. 9.	Skema ACWH Dengan Pipa Helical 3 Haluan[8] .....	14
Gambar II. 10.	Skema Pengujian ACWH 14 Plat .....	16
Gambar II. 11.	Skema Dan Alat ACWH Dengan PHE 14 Plat.....	16
Gambar II. 12.	Skema Pengujian ACWH HCWS[16] .....	18
Gambar II. 13.	Skema Dan Alat ACWH Dengan HCWS[16] .....	18
Gambar II. 14.	Denah Ruang Apartemen .....	19
Gambar III. 1.	Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine .....	22
Gambar III. 2a.	Desain Water Storage .....	23
Gambar III. 2b.	Gambar Perpotongan Desain Water Storage .....	23
Gambar III. 3.	Alat Pengujian.....	23
Gambar III. 4.	Skema Alat Pengujian.....	24
Gambar III. 5.	Desain Letak Alat Pengujian .....	24
Gambar III. 6.	Air Conditioning .....	25
Gambar III. 7.	Alat Penukar Kalor Tipe Pipa Serpentine.....	26
Gambar III. 8.	Pipa Serpentine Di Dalam Water Storage.....	26
Gambar III. 9.	User Interface Dari Lab View Versi 8.5 .....	27
Gambar III. 10.	NI cDAQ 9172 .....	27
Gambar III. 11a.	Modul NI DAQ 9211 .....	28
Gambar III. 11b.	Susunan Channel Modul 9211 .....	28
Gambar III. 12a.	Pressure Gauge Jenis Low Pressure.....	29
Gambar III. 12b.	Pressure Gauge Jenis Hi Pressure .....	29
Gambar III. 13.	Beban Pendinginan Berupa Lampu Pijar .....	29
Gambar III. 14.	Clamp Meter .....	30
Gambar III. 15.	Tangki Penyimpanan .....	30
Gambar III. 16.	Skema Pengambilan Data .....	32
Gambar III. 17a.	Pressure Gauge Pada Evaporator In dan Out.....	32
Gambar III. 17b.	Pressure Gauge Pada Alat Penukar Kalor In dan Out.....	32
Gambar III. 18a.	Posisi Termokopel Pada Tangki Air Penyimpanan .....	33
Gambar III. 18b.	Posisi Termokopel Pada Kabin .....	33
Gambar III. 19a.	Posisi Termokopel Pada Evaporator In dan Out.....	33
Gambar III. 19b.	Posisi Termokopel Pada Alat Penukar Kalor In dan Out .....	33
Gambar III. 20.	Posisi Termokopel Untuk Pengukuran Temperatur Lingkungan .....	34

Gambar IV. 1.	Grafik Temperatur 1800 Watt 1 PK.....	37
Gambar IV. 2.	Grafik Temperatur 2000 Watt 1 PK.....	38
Gambar IV. 3.	Grafik Temperatur 2200 Watt 1 PK.....	39
Gambar IV. 4.	Grafik Temperatur 2400 Watt 1 PK.....	40
Gambar IV. 5.	Grafik Temperatur 2600 Watt 1 PK.....	41
Gambar IV. 6.	Grafik Kenaikan Air vs Beban Pendinginan 1 PK.....	42
Gambar IV. 7.	Grafik Q Air vs Beban Pendinginan 1 PK .....	42
Gambar IV. 8.	Grafik Kerja Kompresor vs Beban Pendinginan 1 PK.....	43
Gambar IV. 9.	Grafik COP Sistem vs Beban Pendinginan 1 PK.....	43
Gambar IV. 10.	Grafik Efektifitas vs Beban Pendinginan 1 PK.....	44
Gambar IV. 11.	Grafik Tekanan Rata-rata Kompresor vs Beban Pendinginan ..	44
Gambar IV. 12.	Grafik Kenaikan Air vs Laju Aliran ACWH Sebelumnya.....	45
Gambar IV. 13.	Grafik Efektifitas vs Laju Aliran ACWH Sebelumnya.....	46
Gambar IV. 14.	Grafik Perbandingan Temperatur vs Beban Pendinginan .....	46
Gambar IV. 15.	Grafik Perbandingan Efektivitas vs Beban Pendinginan .....	47
Gambar IV. 16.	Grafik Perbandingan Nilai COP vs Beban Pendinginan .....	47
Gambar IV.17.	Grafik Perbandingan Daya Kompresor Rata-rata vs Beban Pendinginan.....	48

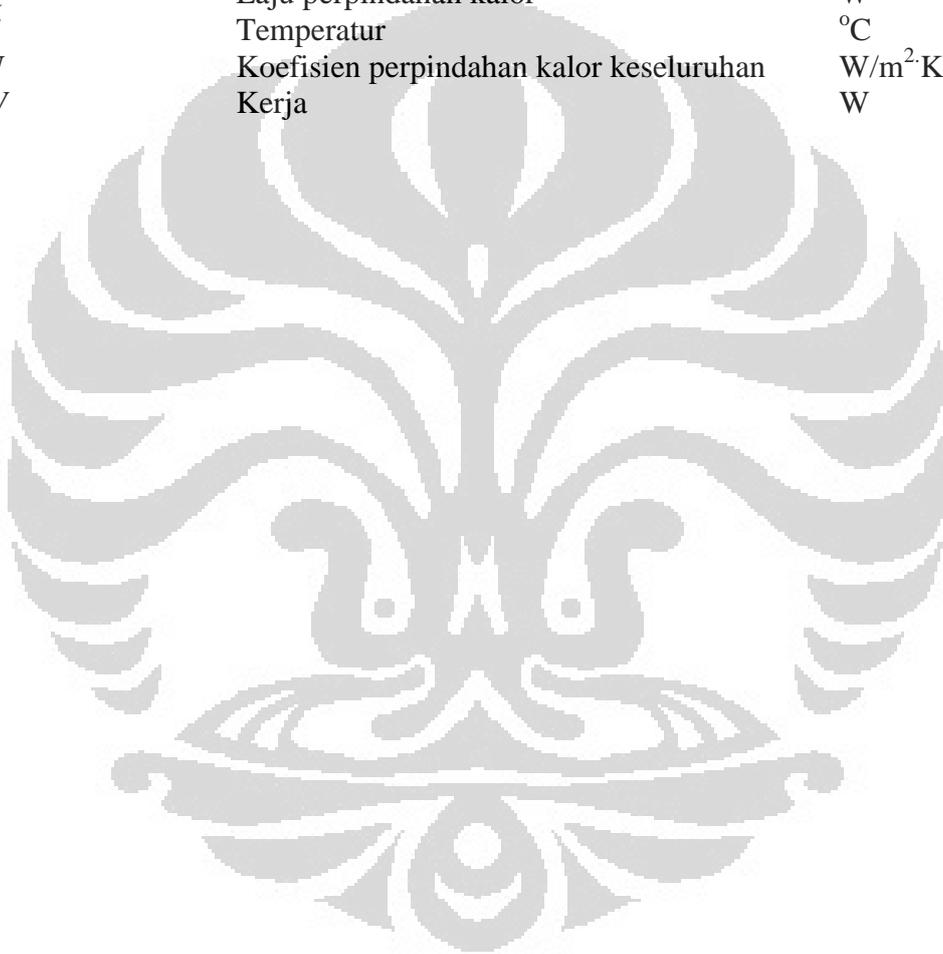
## DAFTAR TABEL

Tabel II. 1.	Spesifikasi PHE CB26-14H.....	15
Tabel II. 2.	Spesifikasi PHE CB26-30H.....	17
Tabel IV. 1.	Perbandingan ACWH .....	49



## DAFTAR SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Arti</b>	<b>Satuan</b>
$c_p$	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 <sup>2</sup> .K
$W$	Kerja	W



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

Dua dari sekian banyak permasalahan global yang saat ini sedang hangat diperbincangkan oleh masyarakat Internasional dan khususnya masyarakat Indonesia adalah krisis ekonomi dan pemanasan global. Krisis ekonomi dan keuangan pada akhir tahun 2008 membuat konsumsi energi global merosot pada tahun 2009. Perekonomian yang pulih kembali menyadarkan bahwa dunia kembali menghadapi masalah mendasar mengenai kebutuhan akan energi dimasa yang akan datang. Badan Energi Internasional (IEA) memproyeksikan, kebutuhan energi dunia meningkat rata-rata 1,5 persen per tahun, dari 12.000 juta ton setara minyak (million tonnes of oil equivalent, MTOE) tahun 2007 menjadi 16.800 MTOE tahun 2030. Krisis membuat permintaan energi merosot 2 persen per tahun selama tahun 2007-2010. Namun, kebutuhan energi naik lagi 2,5 persen per tahun selama tahun 2010-2015 seiring pulihnya ekonomi.

Lebih dari tiga per empat kebutuhan energi dunia masih dipenuhi bahan bakar fosil. Minyak tetap menjadi tulang punggung, dengan konsumsi sebanyak 85 juta barrel minyak per hari pada tahun 2008. Jumlahnya diprediksi naik 1 persen per tahun. Tahun 2030 dunia akan membutuhkan 105 juta barrel minyak per hari. Jumlah penduduk dunia terus meningkat setiap tahunnya, sehingga peningkatan kebutuhan energi pun tak dapat dielakkan. [1]

Seperti kata peribahasa “lebih besar pasak daripada tiang”, hal ini lah yang menyebabkan terjadinya krisis energi. Krisis energi merupakan salah satu masalah dari sekian masalah yang timbul sebagai akibat dari penggunaan energi berbahan bakar fosil. Kemudahan dalam memanfaatkan energi fosil, menyebabkan ketergantungan masyarakat dunia pada umumnya, dan khususnya masyarakat Indonesia akan energi fosil tersebut. Tidak sampai disitu saja, penggunaan bahan bakar fosil, menghasilkan gas CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> dan zat-zat kimia lainnya yang menyebabkan terjadinya pencemaran terhadap lingkungan dan pemanasan global.

Pemanasan global (*global warming*) pada dasarnya merupakan fenomena peningkatan temperatur global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca (*greenhouse effect*) yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas-gas seperti karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dinitrooksida (N<sub>2</sub>O) dan CFC sehingga energi matahari terperangkap dalam atmosfer bumi.[2]

Sejak persepakatan Kyoto tahun 1997 tentang pemanasan global, perubahan iklim justru menunjukkan gejala memburuk dan makin cepat - melebihi perkiraan terburuk ditahun 1997. Ketika dunia selama belasan tahun bicara tentang pemanasan global, lautan Artik yang tadinya beku kini mencair menjadi jalur-jalur baru perkapalan. Di Greenland dan Antartika, lapisan es telah berkurang triliunan ton. Gletser di pegunungan Eropa, Amerika Selatan, Asia, dan Afrika menciut sangat cepat. Bersama itu pula, menjelang konferensi tingkat tinggi iklim di Kopenhagen bulan depan, fakta-fakta perubahan iklim lainnya terus berlangsung, antara lain :

- Seluruh samudera di dunia telah meninggi 1.5 inchi
- Musim panas dan kebakaran hutan semakin parah di seluruh dunia, dari Amerika bagian barat hingga Australia, kemudian Gurun Sahel di Afrika utara.
- Banyak spesies yang terancam karena perubahan iklim, seperti beruang kutub yang kepayahan bermigrasi, kemudian juga pada kupu-kupu yang menjadi sangat rapuh, berbagai spesies kodok, dan juga pada hutan-hutan pinus di Amerika utara.
- Temperatur selama 12 tahun terakhir lebih panas 0.4 derajat dibandingkan dengan 12 tahun sebelum 1997. [3]

Kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat seiring dengan keberhasilan pembangunan yang dilaksanakan. Hal ini juga berarti kebutuhan akan daya listrik juga meningkat. Hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya rumah dan apartemen yang menggunakan AC sekaligus pemanas air elektrik maupun pemanas air dengan tenaga surya. Namun panas yang dihasilkan pada sistem pendinginan tersebut dibuang begitu saja ke lingkungan. Padahal energi kalor yang terbangun dari sistem pendinginan dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air.

Salah satu aplikasi konservasi energi yang nyata pada daerah residensial adalah dengan *Air Conditioner Water Heater* (ACWH). ACWH memang bukan merupakan suatu sistem yang baru, sistem ini telah dikembangkan lebih dari 50 tahun sebelumnya. ACWH bekerja dengan cara memanfaatkan panas buang dari sistem AC untuk memanaskan air. Cara ini dapat berlangsung dengan suatu alat penukar kalor yang tidak membutuhkan tenaga tambahan, tetapi memanfaatkan sebesarnya energi yang ada dalam sistem. Dengan sistem ini, kita dapat dua keuntungan sekaligus, efek pendinginan ruangan dan efek pemanasan air yang hemat energi.

Penulis ingin meningkatkan pemakaian S-ACWH di masyarakat sebagai *water heater* dibandingkan dengan jenis lain, karena biaya yang diperlukan sangat kecil dan dapat mengurangi konsumsi listrik yang berdampak pada penghematan energi dan pengurangan efek dari pemanasan global.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Jenis pemanas air yang umumnya digunakan oleh masyarakat saat ini adalah pemanas air listrik dan gas. Walaupun efektif, tipe ini memerlukan daya listrik yang besar yang berdampak kepada semakin besarnya biaya listrik yang harus dibayar, sementara untuk penggunaan pemanas air dengan gas sering terjadi kecelakaan. Pengetahuan masyarakat akan sistem dan perbandingan kalkulasi biaya S-ACWH dengan *water heater* jenis lainnya masih sangat sedikit, sehingga pemakaian S-ACWH di masyarakat masih sangat minim. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap efektifitas daya ACWH dibandingkan dengan *water heater* jenis lainnya.

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang tipe alat penukar kalor tipe serpentine untuk digunakan pada sistem S-ACWH dan kemudian dilakukan pengujian unjuk kerja S-ACWH tersebut. Selain daripada itu, dalam penelitian ini akan dibandingkan pula unjuk kerja S-ACWH dengan alat penukar kalor tipe serpentine dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

### **I.4. Pembatasan Masalah**

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Unit *Air Conditioning* yang digunakan memiliki daya 1PK
2. Beban pendinginan menggunakan lampu pijar dengan variasi beban dari 1800 – 2600 Watt untuk mensimulasikan beban pendinginan pada tempat tinggal yang besarnya bervariasi.
3. Pengukuran yang terdapat pada pengujian meliputi pengukuran temperatur air, refrigeran dan ruangan. Serta pengukuran tekanan refrigeran di dalam sistem *Air Conditioning*.

### **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 S-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 S-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 S-ACWH. Dari grafik tersebut akan dilakukan analisa yang menggambarkan karakteristik unjuk kerja sistem S-ACWH. Dari analisa dapat ditarik kesimpulan dari proses pengujian yang dilakukan, unjuk kerja S-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. DASAR TEORI**

Bab ini berisi penjelasan mengenai jenis *water heater* yang ada di pasaran, prinsip kerja ACWH, penelitian mengenai ACWH sebelumnya serta dasar teori perhitungan alat penukar kalor. Dasar teori ini diambil dari beberapa buku, jurnal, dan situs-situs di internet.

#### **BAB III. ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE PADA S-ACWH**

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

#### **BAB IV. ANALISA DATA PENELITIAN**

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

#### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari pengujian yang sudah dilakukan dan saran.

## BAB II TEORI PENUNJANG

### II.1. Jenis-jenis Pemanas Air di Pasaran

#### II.1.1 Pemanas Air Listrik

Tipe ini merupakan tipe pemanas air yang paling umum digunakan. Prinsip kerja pemanas air listrik adalah dengan cara mengalirkan air dalam sebuah tangki berisolasi 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. Kekurangannya adalah dibutuhkan energi listrik yang besar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

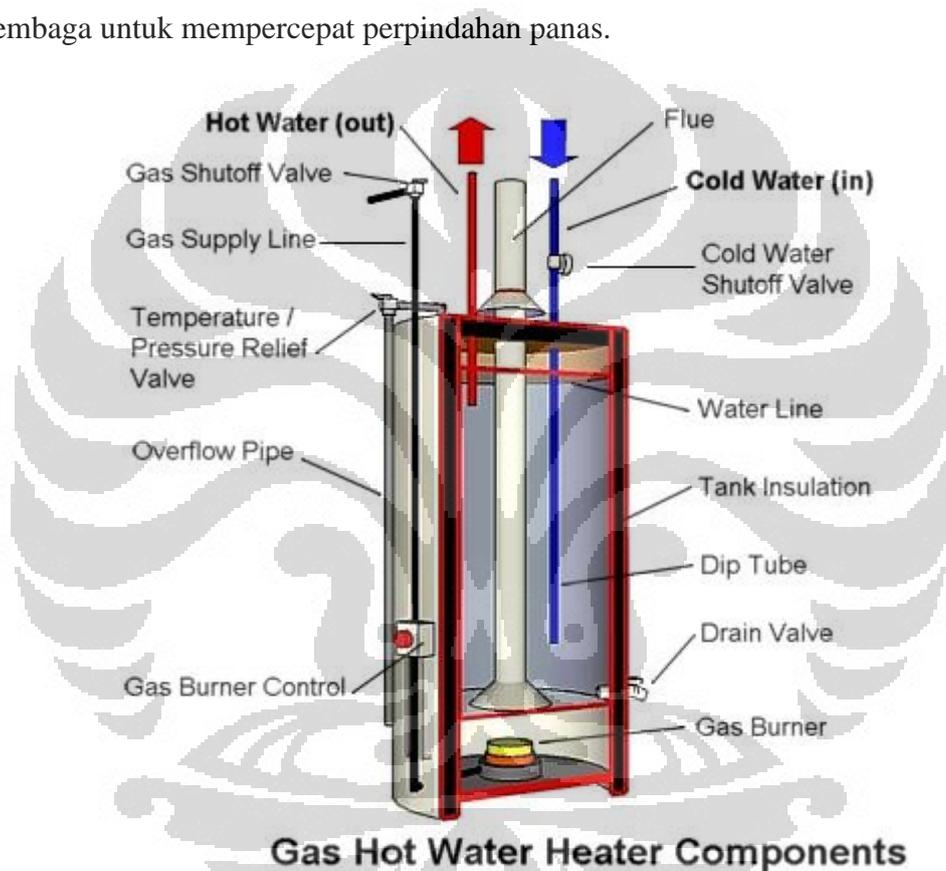


GambarII-1 Pemanas Air Listrik

Sumber: <http://www.diyanswerguy.com/tools/appliances/electric-water-heater.jpg>

### II.1.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

Prinsip kerjanya adalah dengan melewati air melalui pipa-pipa kedalam sebuah tangki yang diisolasi sekelilingnya, kemudian pada bagian bawah tangki tersebut dibakar dengan menggunakan gas, untuk menghasilkan air panas. Untuk memperluas bidang perpindahan panas biasanya ditambahkan sirip-sirip. Perluasan bidang perpindahan panas diperlukan agar input energi lebih besar sehingga temperatur yang diperoleh lebih tinggi. Selain itu digunakan pula pipa-pipa tembaga untuk mempercepat perpindahan panas.

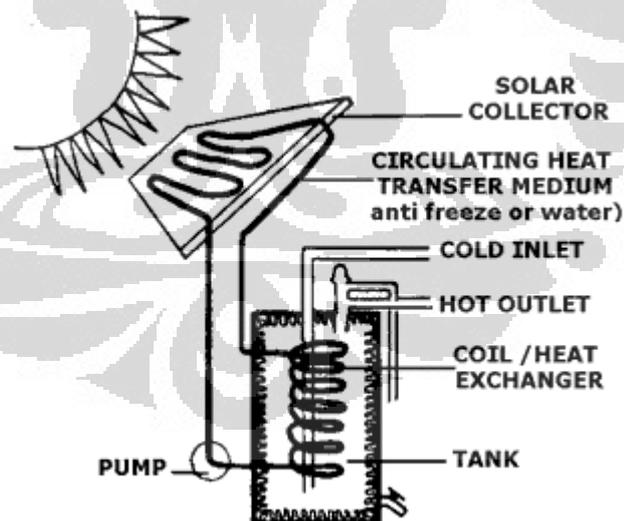


Gambar II-2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

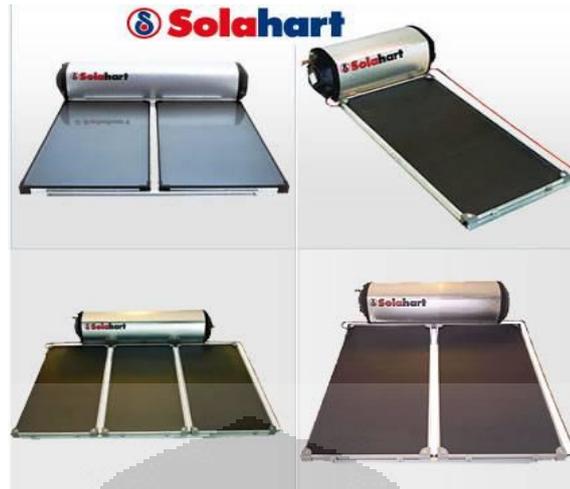
Sumber : [http://www.colonyplumbing.net/wtr\\_htr\\_gas\\_noted\\_leaders.jpg](http://www.colonyplumbing.net/wtr_htr_gas_noted_leaders.jpg)

### II.1.3 Pemanas Air Tenaga Surya

Tipe ini merupakan tipe yang ramah lingkungan karena menggunakan radiasi panas matahari sebagai sumber energinya, tetapi untuk harga alat ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan tipe lainnya. Prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan energi 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*). Kekurangannya adalah pemasangan yang lebih rumit (diletakkan di atas atap rumah) dan panas yang dihasilkan akan tergantung dari panas matahari yang ada. Apabila panas matahari yang dibutuhkan tidak cukup untuk memanaskan air yang ada, maka pemanas listrik yang ada bekerja untuk memanaskan air. Jadi dibutuhkan energi listrik tambahan lagi.



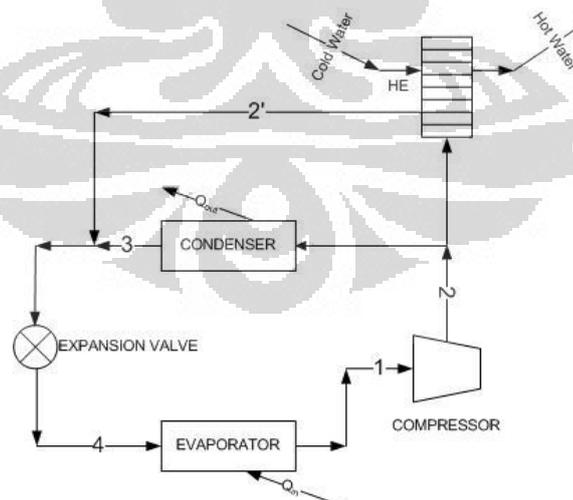
Gambar II-3 Prinsip Kerja Pemanas Air Tenaga Surya



Gambar II-4 Pemanas Air Tenaga Surya

#### II.1.4. Air Conditioner Water Heater

ACWH adalah sistem yang memanfaatkan 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.



Gambar II-5 Siklus ACWH

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

40-45<sup>0</sup>C. 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
8	Pembilasan mesin cuci	70-80
	Cuci pakaian	
	Macam-macam pakaian	60
	Bahan sutra dan wol	33-49
9	Bahan linen dan katun	49-60
	Kolam renang	21-27
10	Cuci mobil (bengkel)	24-30

Gambar II-6 Temperatur Penggunaan air di rumah tangga[10]

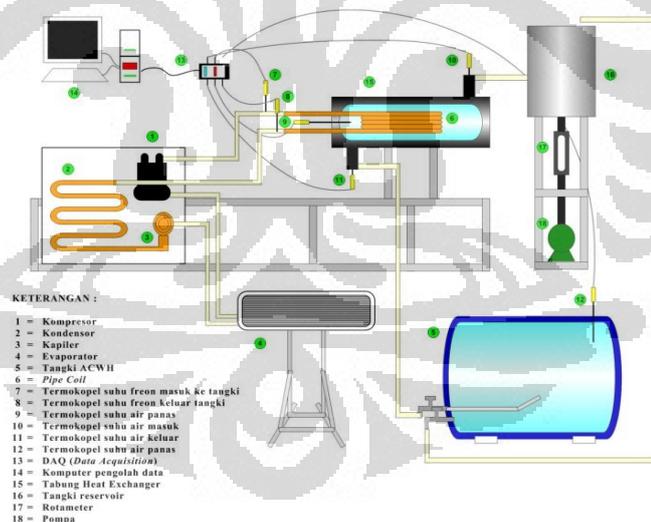
## II.2 Penelitian ACWH Sebelumnya

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

### II.2.1 ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass

Air Conditioning Water Heater dengan Pipa Koil 1 Shell Pass menggunakan pipa tembaga berukuran 3/8 inci sepanjang 5 meter sebagai alat penukar kalornya.

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



Gambar II-7 Skema ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass

### II.2.2 ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass

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

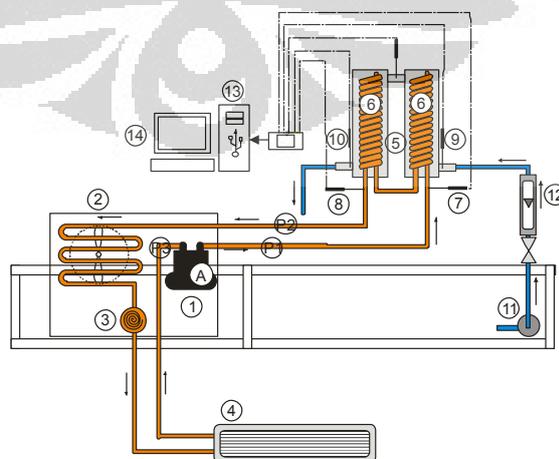
Air Conditioning Water Heater dengan Pipa Helical 1 Shell Pass menghasilkan air panas pada temperatur  $53,91^{\circ}\text{C}$  pada laju aliran 50 L/hr dan  $37,17^{\circ}\text{C}$  pada laju aliran 200 L/hr. Permasalahan akan penggunaan ruang yang besar masih sama terjadi pada penelitian ini.

### II.2.3 ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass

Penelitian selanjutnya dilakukan pengembangan dengan Pipa Koil dengan 2 Shell Pass. Pada penelitian kali ini, air panas yang dihasilkan sebesar  $48,38^{\circ}\text{C}$  pada laju aliran 50 L/hr dan  $29,60^{\circ}\text{C}$  pada laju aliran 200 L/hr. Karena menggunakan 2 tabung *heat exchanger*, maka besar ruangan yang diperlukan lebih besar daripada Pipa Koil 1 Shell Pass.

### II.2.4 ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass

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-8 Skema ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass[7]

## II.2.5 ACWH dengan Pipa Helical 3 Laluan

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-9 Skema ACWH dengan Pipa Helical 3 Laluan[8]

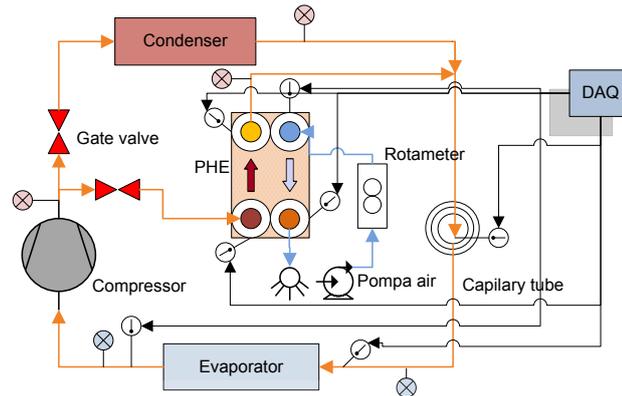
## II.2.6 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 14 Lembar

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 2.1

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 Rp 2.500.000,00.

**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 <sup>3</sup> /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)+1,2 Kg
Sambungan ulir standar	1 Inch
Material plate	AISI 316



**Gambar II-10 Skema Pengujian ACWH 14 Plat**



**Gambar II-11 Skema dan alat ACWH dengan PHE 14 Plat**

### **II.2.7 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 30 Lembar**

Air Conditioner Water Heater yang menggunakan PHE juga mengalami pengembangan. Penelitian ini menggunakan PHE 30 Plat dengan tipe CD26-30H yang spesifikasinya lengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.2

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.

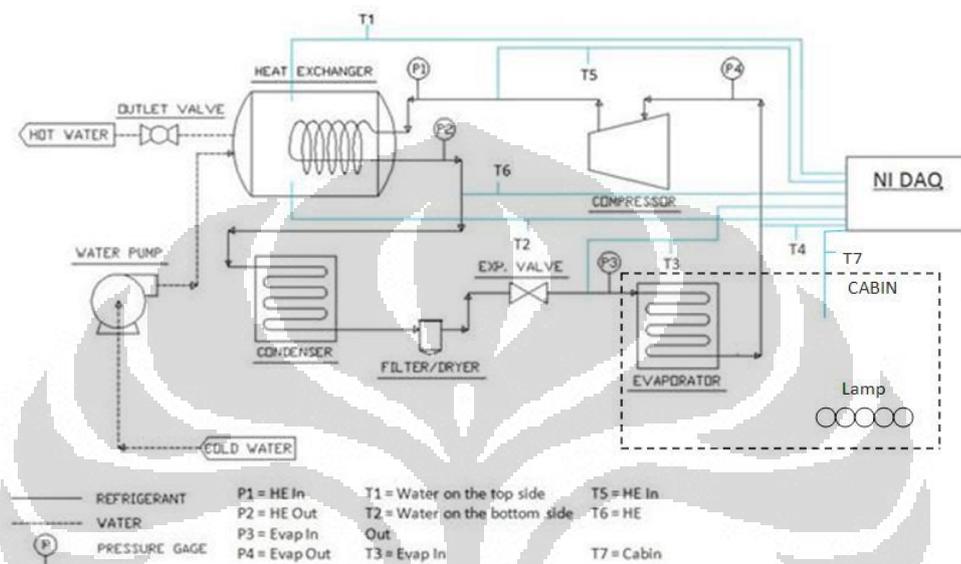
Tabel II.2 Spesifikasi PHE CB26-30H

Data & Dimensi	CB26-30H
Temperatur kerja max/min	225/-160 °C
Tekanan kerja max S3-S4/S1-S2	30/30 bar
Volume per kanal	0,059 L
<i>Flowrate</i> max	8,1 m <sup>3</sup> /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)+2,4 kg
Sambungan ulir standar	1 inch
Material <i>plate</i>	AISI 316
Material sambungan	AISI 316
Material <i>brazing</i>	Tembaga

### II.2.8 ACWH dengan Helical Coil Water Storage

Pada penelitian ini, digunakan alat penukar kalor dengan tipe *helical coil* yang diletakkan di dalam tangki penyimpanan air. Sehingga, panas buang yang dihasilkan oleh penyejuk udara, dapat digunakan secara langsung untuk memanaskan air, dengan prinsip konveksi bebas. Spesifikasi dari alat yang digunakan adalah, pipa tembaga yang memiliki panjang 5 meter dengan diameter sebesar 1/4 *inch*, serta tangki air yang memiliki volume sebesar 50 dm<sup>3</sup>.

Pengujian yang dilakukan, dengan AC berdaya 1 PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur 49-56<sup>0</sup>C. Kemudian, dengan AC berdaya 3/4 PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur 47-52<sup>0</sup>C.



Gambar II-12 Skema Pengujian ACWH HCWS[16]



Gambar II-13 Skema dan alat ACWH dengan Helical Coil Water Storage[16]

### II.3. Survei 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 kerugian kalor dan penurunan tekanan yang berlebihan serta kemudahan dalam instalasi. Pada gambar II-14 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 sistem S-ACWH pada apartemen diperkirakan memiliki pangsa pasar yang luar biasa besarnya.



Gambar II-14 Denah Ruang Apartemen

## II.4. Dasar Teori Perhitungan Alat Penukar Kalor

Untuk menentukan besarnya kalor yang dilepas oleh pipa, dapat digunakan persamaan-persamaan untuk silinder horisontal panjang dengan konveksi bebas

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

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

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

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

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

$$\alpha = \frac{\nu}{\text{Pr}}$$

$$\text{Ra} = \frac{g \beta (\text{Tri} - \text{Tw}) D^3}{\alpha \nu} \quad (\text{II.4})$$

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

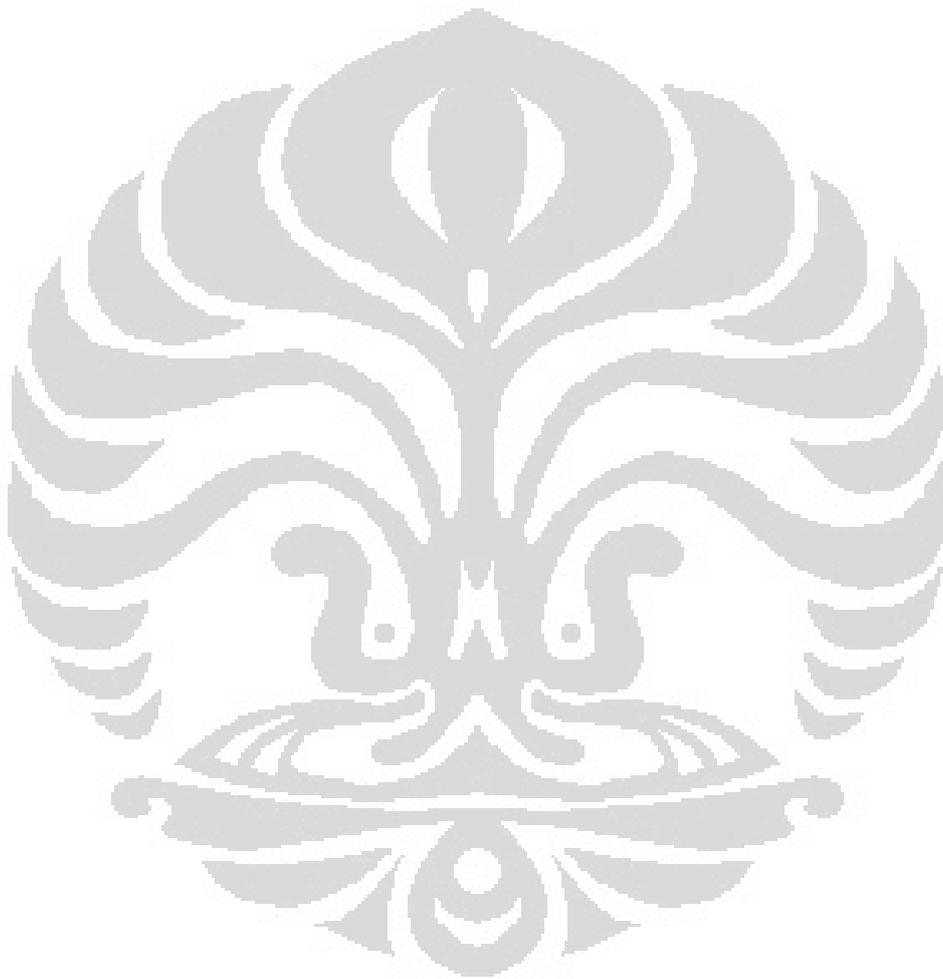
$\beta$  = Koefisien ekspansi termal ( $K^{-1}$ )

$g$  = gravitasi ( $m/s^2$ )

$\alpha$  = Difusifitas termal ( $m^2/s$ )

$\nu$  = Viskositas kinetik ( $m^2/s$ )

$T_{ri}$  = Suhu refrigerant masuk ( $^{\circ}C$ ),  $T_{wi}$  = Suhu air masuk ( $^{\circ}C$ )



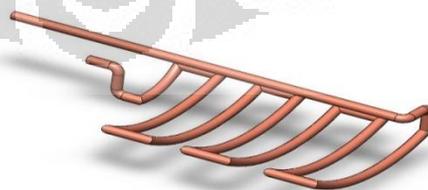
## BAB III ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE PADA S-ACWH

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

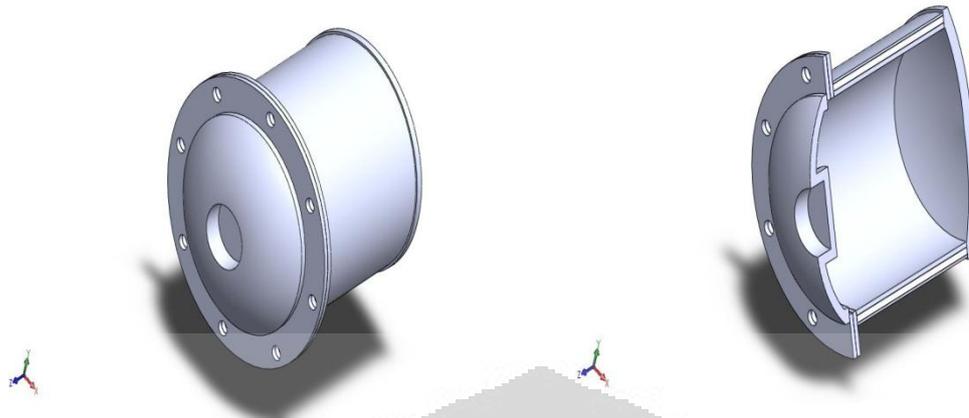
Pada sistem S-ACWH, terjadi perpindahan kalor dari refrigeran dengan suhu tinggi setelah keluar dari kompresor dengan air yang memiliki suhu rendah dalam water storage. Dengan adanya perpindahan kalor ini, maka diharapkan suhu refrigeran turun dan sebaliknya terjadi peningkatan suhu pada air yang berada di dalam tangki penyimpanan.

### III.1. Desain Alat Penukar Kalor

Pada penelitian S-ACWH kali ini, digunakan desain pipa *serpentine* seperti yang terdapat pada gambar III-1, dengan menggunakan pipa tembaga berdiameter 1/4 inch, dengan 14 laluan dan panjang 8.1229 meter yang didapat dari hasil perhitungan desain alat penukar kalor yang terdapat di lampiran. Kemudian, alat penukar kalor tersebut diletakkan di dalam tangki air, yang memiliki volume sebesar 50 dm<sup>3</sup> yang nantinya akan digunakan untuk memanaskan air.



Gambar III-1. Alat penukar kalor tipe serpentine



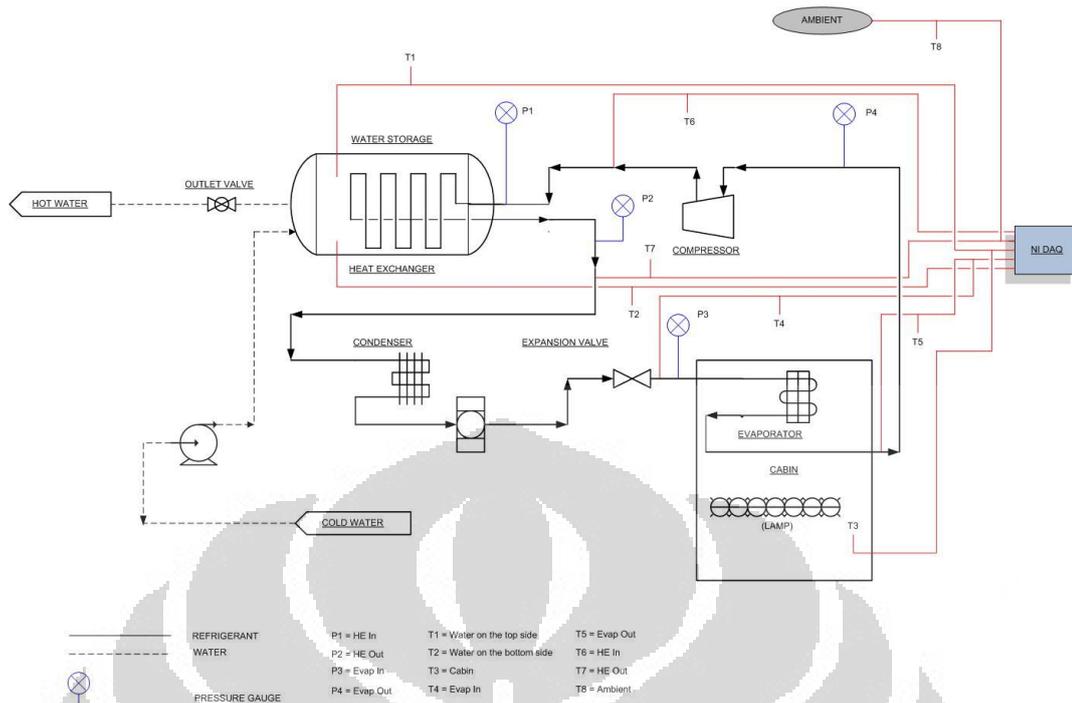
**Gambar III-2. (a) Desain water storage, (b) Gambar perpotongan desain water storage**

### **III.2. Instalasi Alat Pengujian**

Alat pengujian terdiri dari sistem AC dengan aliran refrigeran dihubungkan dengan penukar kalor tipe serpentine yang berada dalam water storage. 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 water storage akan terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dan air karena adanya perbedaan suhu antara keduanya.



**Gambar III-3. Alat pengujian**



Gambar III-4. Skema alat pengujian



Gambar III-5. 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. Arus listrik yang masuk kompresor diukur menggunakan *clamp meter*. Untuk perancangan dan pengujian sistem kerja dari Air Conditioner Water Heater ini

## 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. 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)



Gambar III-6. Air Conditioning

### III.2.2. Alat Penukar Kalor

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



Gambar III-7. Alat Penukar kalor tipe pipa serpentine

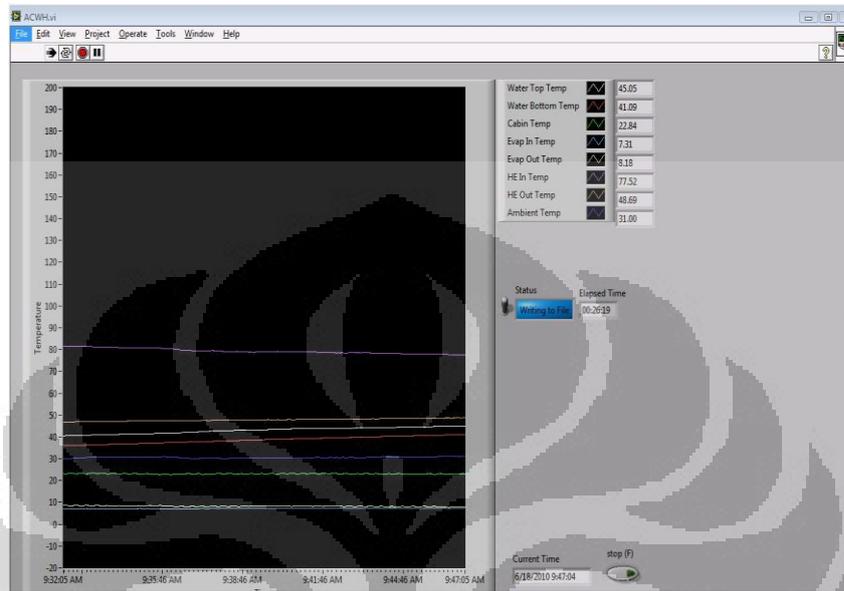


Gambar III-8. Pipa serpentine di dalam water storage

### III.2.3. Data Akusisi

Data akusisi (DAQ) digunakan untuk pembacaan tegangan keluaran termokopel tipe K. 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.

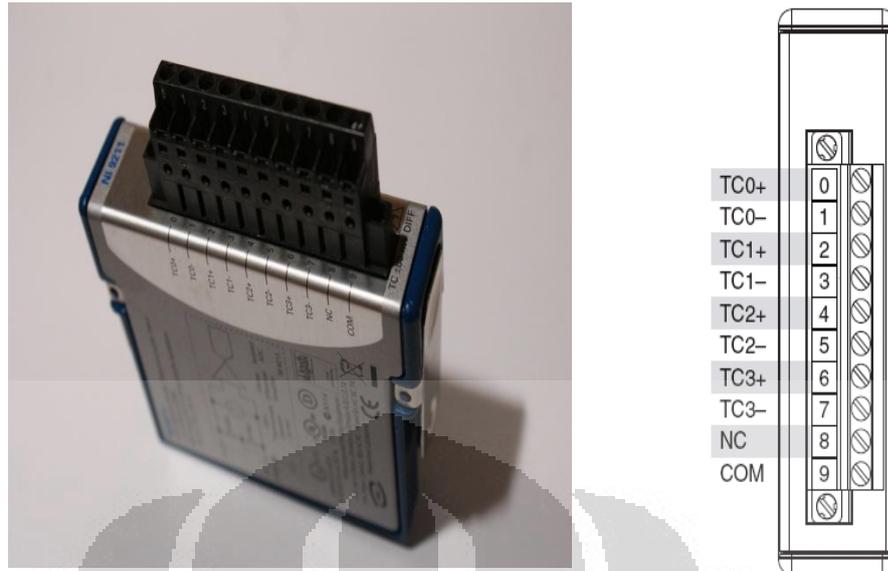


**Gambar III-9. User Interface dari Lab View versi 8.5**

DAQ yang digunakan pada penelitian ini adalah NI cDAQ 9172 dengan 8 port. Dalam penggunaannya digunakan 2 modul NI DAQ 9211 yang berguna untuk mengukur 8 titik pengukuran temperatur, jadi hanya digunakan 2 dari 8 port yang ada saja. DAQ ini merupakan data akusisi yang dapat menerima masukan secara digital.



**Gambar III-10. NI cDAQ 9172**



Gambar III-11. (a). Modul NI DAQ 9211, (b) susunan *channel* modul NI 9211

### 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 suhu 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-12. (a). *Pressure gauge* jenis *low pressure*,  
(b) *Pressure gauge* jenis *hi pressure*

### III.2.6. Beban Pendinginan



Gambar III-13. Beban pendinginan berupa lampu pijar

Untuk mengetahui seberapa besar kapasitas pendingin ataupun pemanasan, harus diketahui kondisi di dalam dan luar ruangan. Beban pendinginan dari suatu 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*).

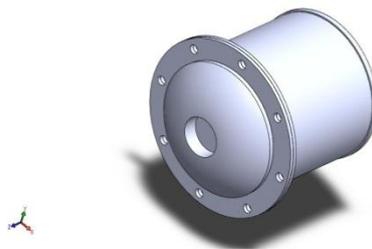


**Gambar III-14. Clamp Meter**

Sumber : [http://salestores.com/stores/images/images\\_747/38389.jpg](http://salestores.com/stores/images/images_747/38389.jpg)

### 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.



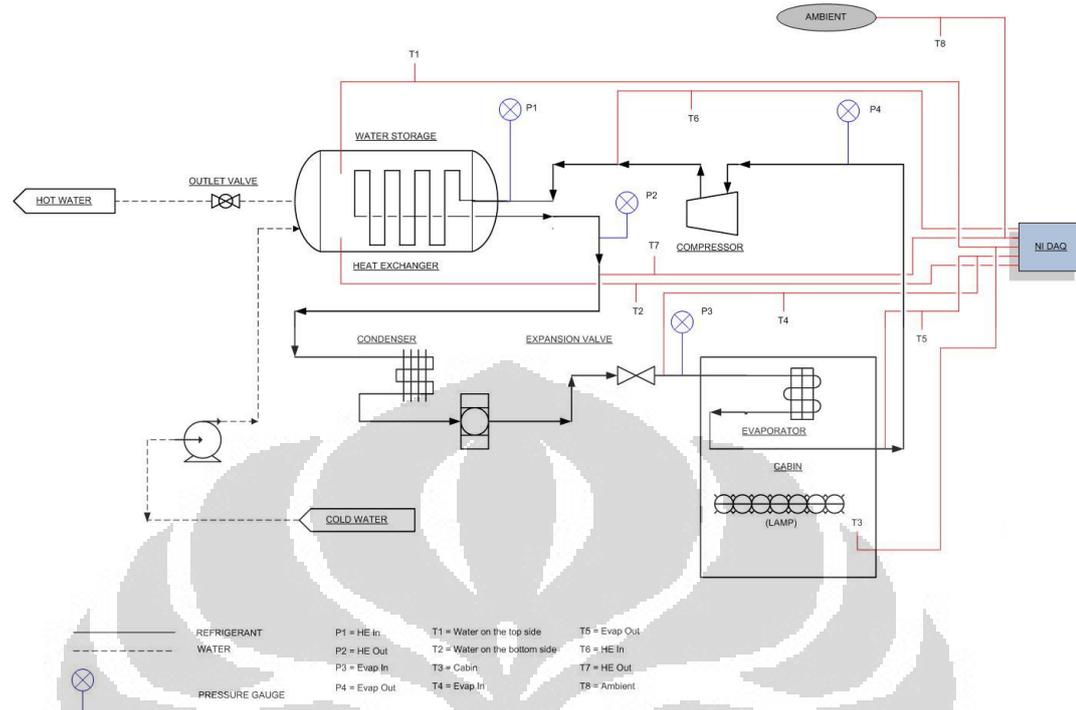
**Gambar III-15 Tangki Penyimpanan**

### III.3. Prosedur Pengambilan Data

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

1. Mengisi water storage dengan air yang memiliki suhu normal hingga penuh.
2. Menyalakan dan menghubungkan DAQ dengan komputer melalui kabel USB.
3. Menjalankan program DAQ untuk mengetahui suhu awal di tiap titik pengambilan data (Evaporator in & out, HE in & out, Water top & bottom dan Ambient). Proses pengecekan ini penting dilakukan agar tiap pengambilan data semua komponen berada pada suhu awal.
4. Menyalakan AC dan mengatur setting suhu evaporator AC pada 16°C
5. Menyalakan lampu sebagai beban pendinginan (1800, 2000, 2200, 2400, dan 2600 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 nilai tekanan pada evaporator dan HE yang dapat dilihat di pressure gauge setiap menit.
8. Mencatat secara manual harga arus yang dibutuhkan kompresor dengan melihat di clamp meter setiap menit.
9. Mematikan AC setelah 2 jam percobaan dan menunggu selama beberapa waktu, hingga tekanan dan suhu AC kembali ke kondisi awal untuk percobaan berikutnya (variasi beban pendinginan).

Adapun skema pengambilannya, seperti terlihat pada gambar III-16



**Gambar III-16. Skema Pengambilan Data**

Dimana, variabel P1 dan P2 merupakan pengukuran tekanan masuk dan keluar pada alat penukar kalor. Kemudian variabel P3 dan P4 adalah pengukuran tekanan masuk dan keluar pada evaporator.



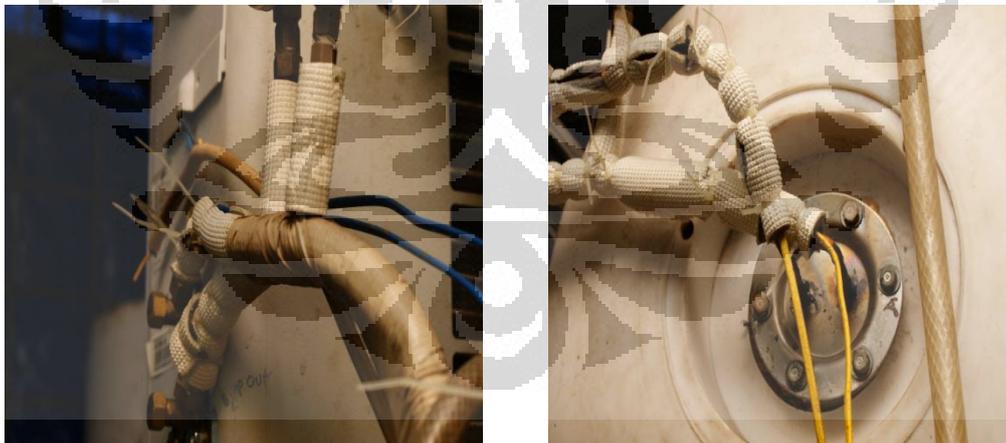
**Gambar III-17. (a). Pressure gauge pada evaporator in dan out,  
(b) Pressure gauge pada alat penukar kalor in dan out**

Lalu variabel T1 dan T2 menunjukkan pengukuran termokopel pada posisi bagian dalam atas dan bawah pada tangki penyimpanan, untuk mengukur temperatur air di dalam tangki. Variabel T3 menunjukkan pengukuran termokopel pada bagian dalam kabin, berguna untuk mengukur temperatur ruangan.



**Gambar III-18. (a) Posisi termokopel pada tangki air penyimpanan, (b) Posisi termokopel pada kabin**

Variabel T4, T5, T6 dan T7 secara berturut-turut menunjukkan pengukuran termokopel pada bagian *evaporator in*, *evaporator out* dan *HE in*, *HE out*.



**Gambar III-19. (a) Posisi termokopel pada *evaporator in* dan *out*, (b) Posisi termokopel pada alat penukar kalor *in* dan *out***

Dan variabel T8 menunjukkan posisi termokopel untuk pengukuran suhu lingkungan



Gambar III-20. Posisi termokopel untuk pengukuran temperatur lingkungan

#### III.4. Prosedur Pengolahan Data Dalam Penelitian

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

Nilai-nilai yang didapat dalam pengolahan data kali ini adalah :

- 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.

- Efektivitas ( $\varepsilon$ ) 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 ( $\Delta T$ ) tertinggi adalah fluida yang memiliki kapasitas panas terkecil. Nilai efektifitas didapatkan dengan menggunakan perhitungan, sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{T1 - T2_{awal}}{T6 - T2_{awal}} \quad (III.1)$$

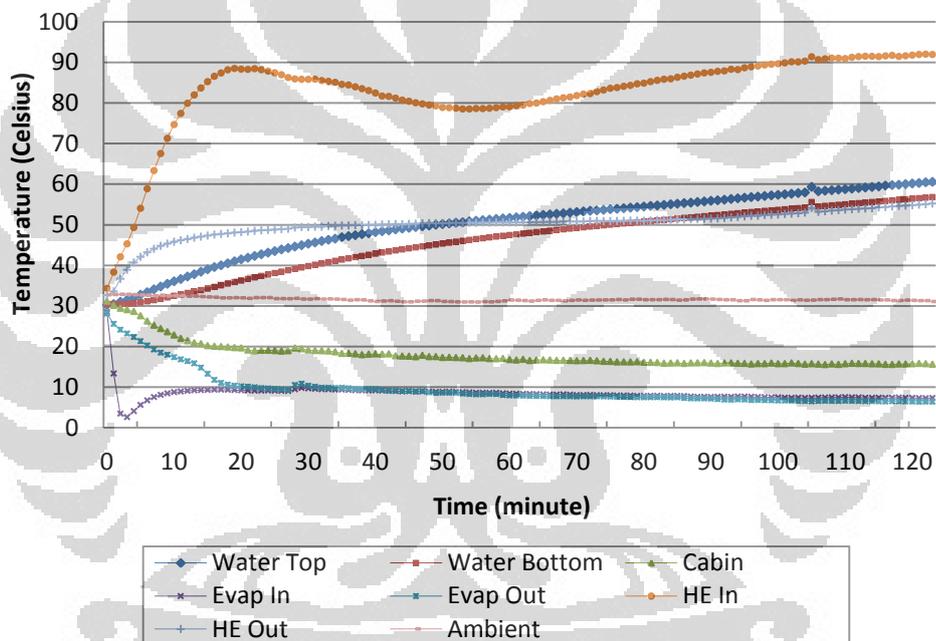
- Kerja kompresor didapatkan dari perkalian arus listrik yang dikonsumsi dengan tegangan listrik PLN. Untuk pengujian di lab penukar kalor, tegangan listrik PLN hanya sebesar 198 V.
- *Coefficient of Performance* (COP) menyatakan rasio antara manfaat yang dicapai dengan kerja/usaha yang dilakukan untuk 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. Nilai COP didapatkan dengan menggunakan rumus :

$$COP = \frac{Q_{water} + Cooling Load}{Compressor Work} \quad (III.2)$$

## BAB IV ANALISA DATA PENELITIAN

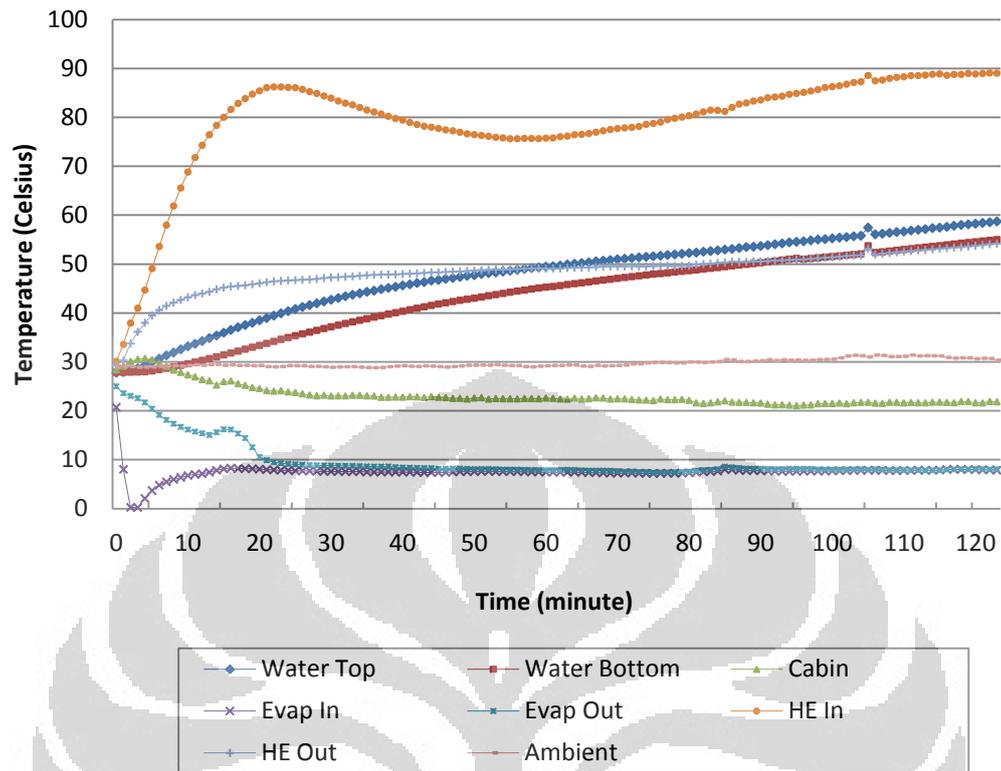
Pengolahan data dilakukan sesuai dengan prosedur pengolahan data yang sudah dijelaskan pada bab III. Pengolahan data dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik sistem S-ACWH yang diteliti. Data-data yang didapat diolah dan disajikan dalam bentuk grafik. Berikut ini adalah data-data dan analisa dari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

### IV.1. Analisa Karakterisasi S-ACWH



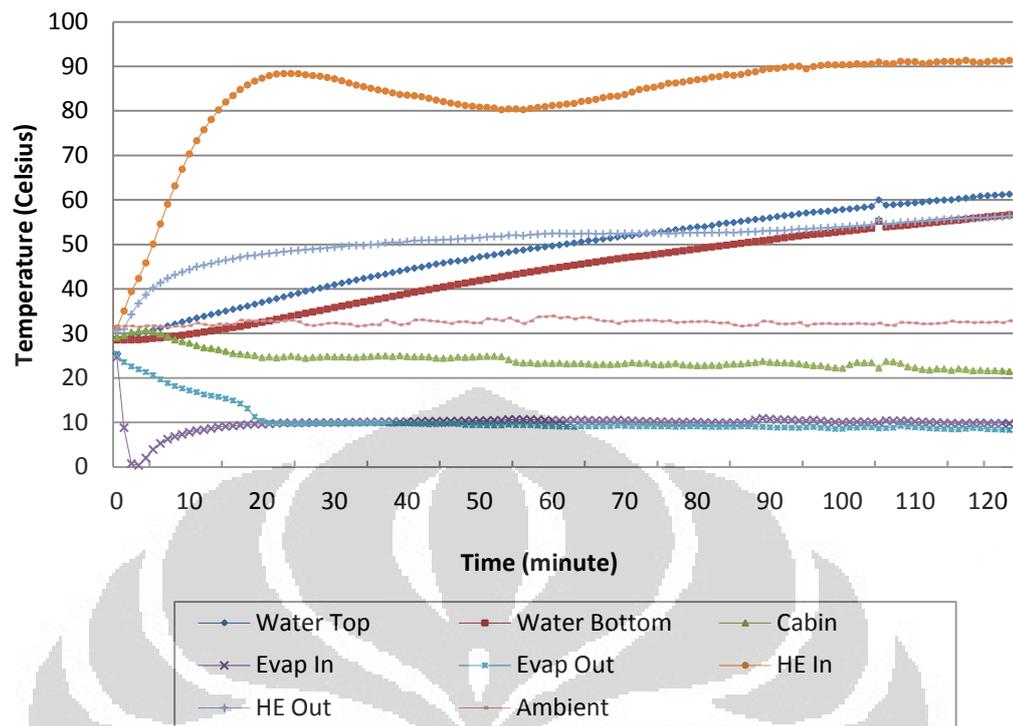
Gambar IV-1. Grafik temperatur 1800 Watt 1 PK

Pada pembebanan 1800 Watt, temperatur air maksimum dapat mencapai 60,55°C. Sedangkan temperatur refrigeran maksimum tercapai pada 91.94°C.



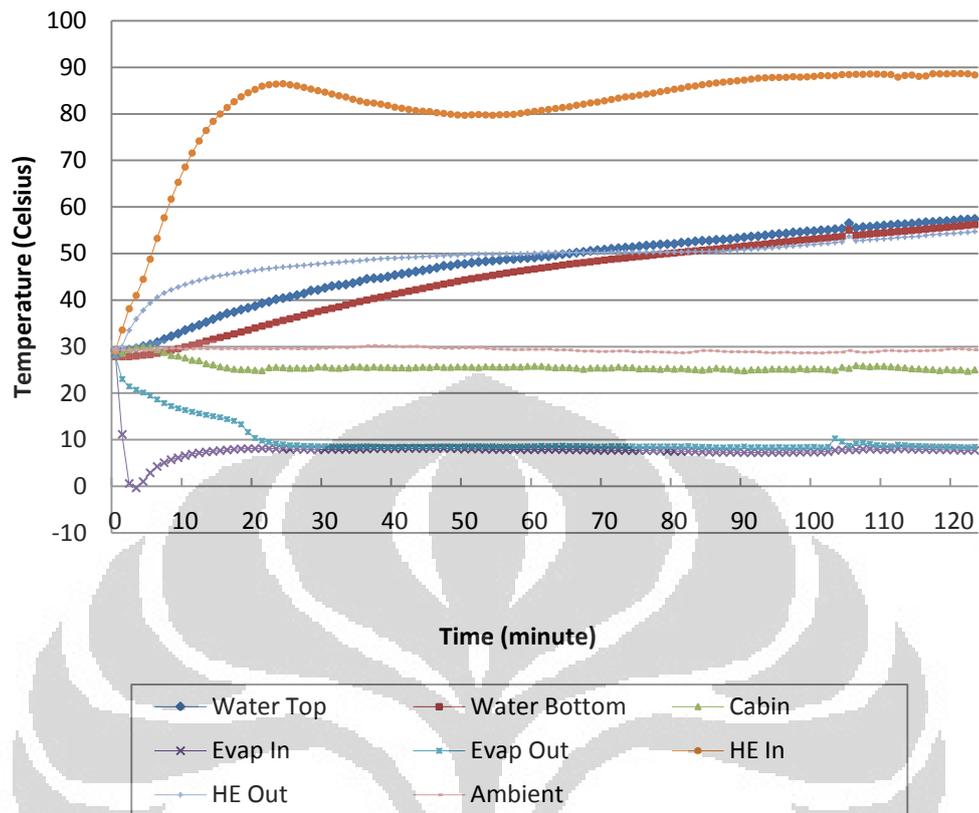
**Gambar IV-2. Grafik temperatur 2000 Watt 1 PK**

Pada pembebanan 2000 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah 58.72°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada 89,01°C. Kondisi kabin akan stabil pada temperatur 21°C.



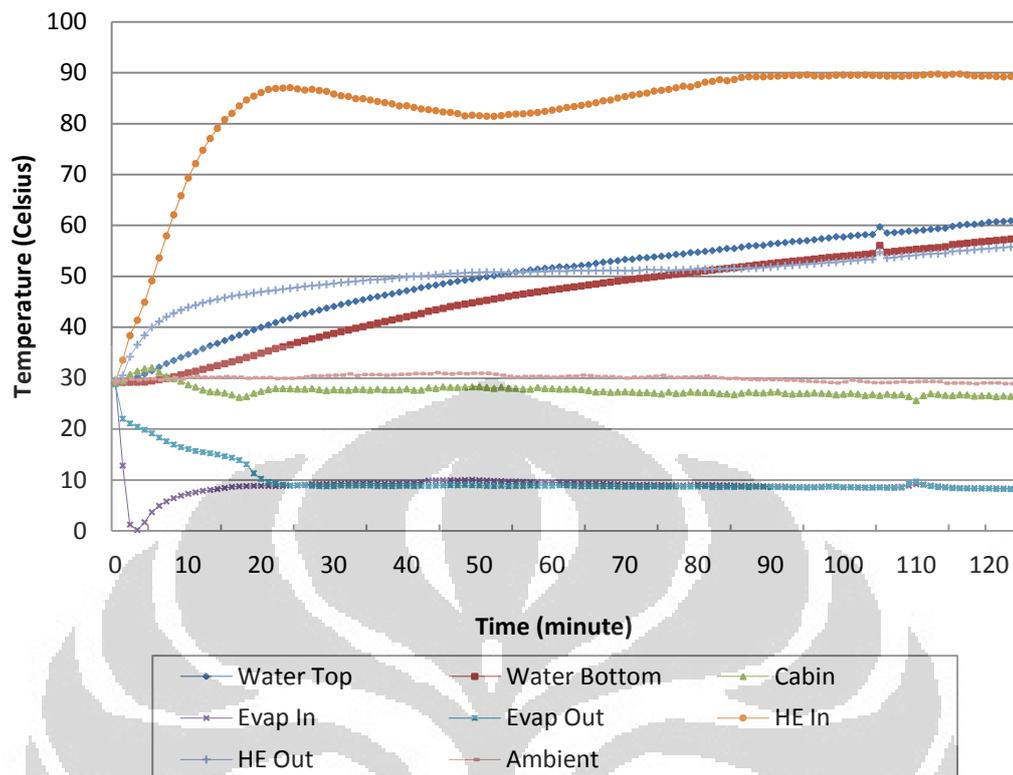
Gambar IV-3. Grafik temperatur 2200 Watt 1 PK

Pada pembebanan 2200 Watt, temperatur air akhir mencapai 61,28°C. Sedangkan temperatur maksimum refrigeran sebesar 91,33°C. Kabin berada pada temperatur 22°C.



**Gambar IV-4. Grafik temperatur 2400 Watt 1 PK**

Pada pembebanan 2400 Watt temperatur air akhir 57,42°C. Temperatur maksimum refrigeran 88,64°C. Sedangkan temperatur kabin stabil pada suhu 25°C.

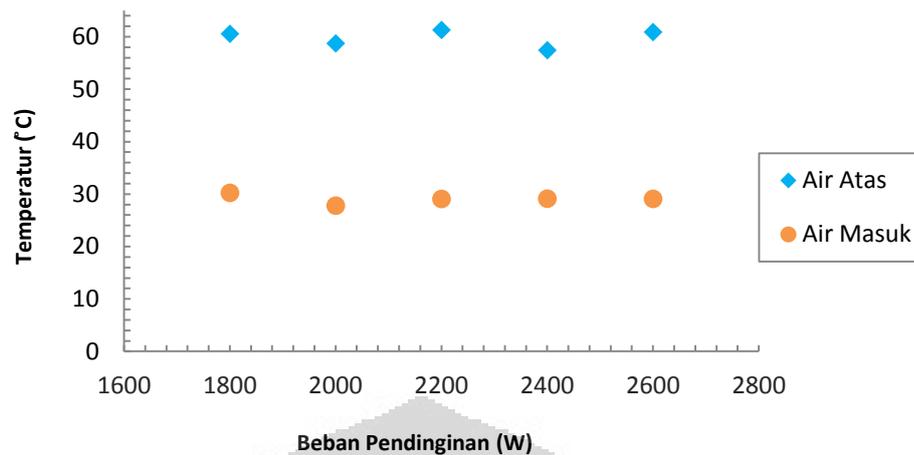


Gambar IV-5. Grafik temperatur 2600 Watt 1 PK

Pada pembebanan 2600 Watt, temperatur air akhir yang didapat adalah  $60,89^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan temperatur maksimum refrigeran dicapai pada  $89,74^{\circ}\text{C}$ . Kabin akan stabil pada temperatur  $26^{\circ}\text{C}$ .

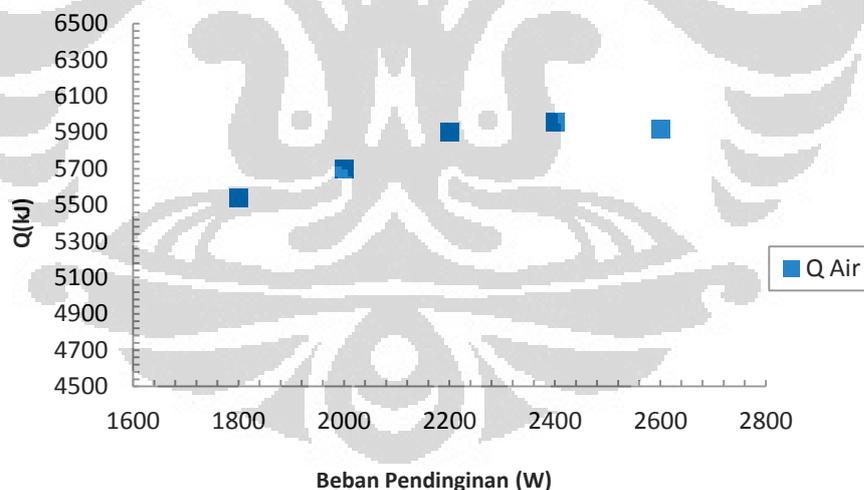
Penambahan beban pendinginan akan mempengaruhi temperatur air pada water storage. Dengan naiknya beban pendinginan maka kalor yang diserap refrigeran akan meningkat pula sehingga menaikkan temperatur refrigeran itu sendiri. Dengan naiknya temperatur refrigeran maka kalor yang diserap air pun makin meningkat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

Untuk pengujian ACWH dengan AC 1 PK menghasilkan temperatur yang berkisar antara  $55^{\circ}\text{C}$  hingga  $61^{\circ}\text{C}$ . Temperatur air yang dihasilkan lebih dari cukup untuk digunakan mandi air panas. Sesuai gambar temperatur yang dibutuhkan untuk mandi sebesar  $43^{\circ}\text{C}$ . Oleh karena itu, dibutuhkan pencampuran kembali dengan air dingin untuk mendapatkan temperatur yang sesuai dan nyaman untuk mandi air panas.



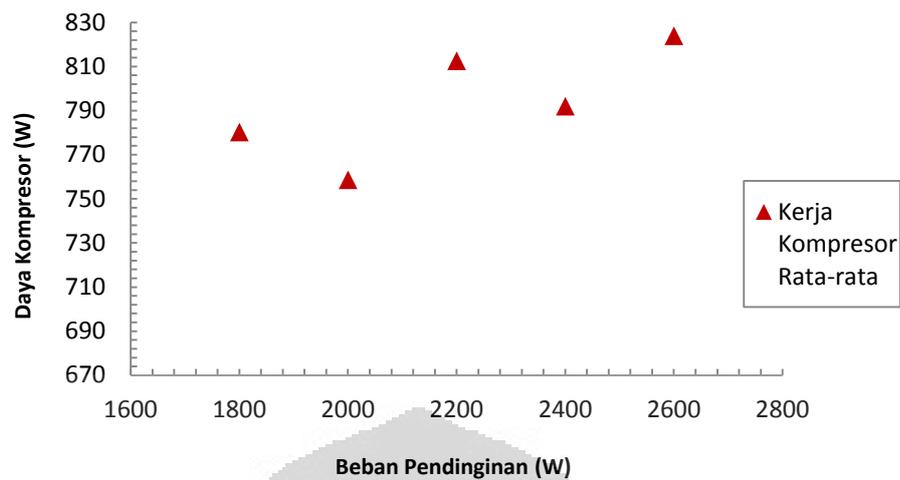
**Gambar IV-6. Grafik kenaikan air vs beban pendinginan 1 PK**

Terlihat dari grafik kenaikan air bahwa kenaikan air yang paling besar terjadi pada pembebanan 2200 Watt. Pada pembebanan 2000 Watt dan 2400 Watt terjadi perbedaan dengan percobaan yang lain. Kenaikan air lebih tinggi pada pembebanan 1800, 2200 dan 2600 Watt. Hal ini terjadi karena temperatur lingkungan yang berbeda. Saat pengujian pada pembebanan 2000 Watt temperatur lingkungan  $29^{\circ}\text{C}$  sedangkan suhu lingkungan berkisar antara  $28\text{-}29^{\circ}\text{C}$  untuk pengujian dengan pembebanan 2400 Watt.



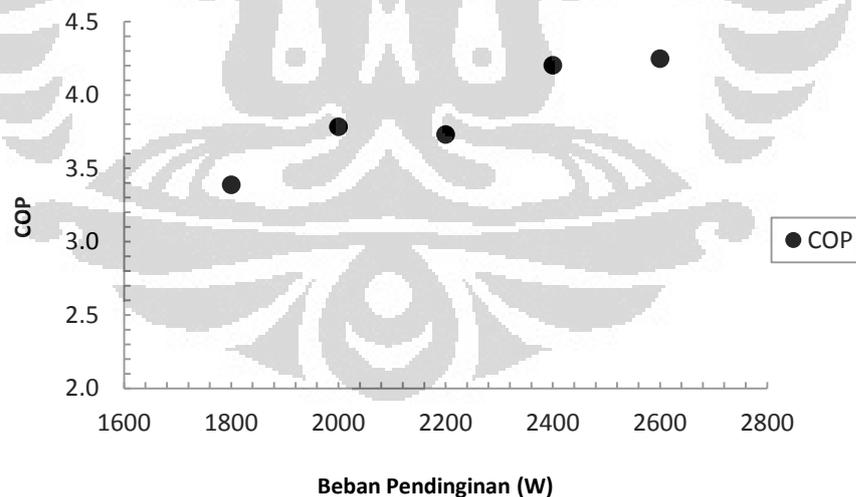
**Gambar IV-7. Grafik Q air vs beban pendinginan 1 PK**

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.



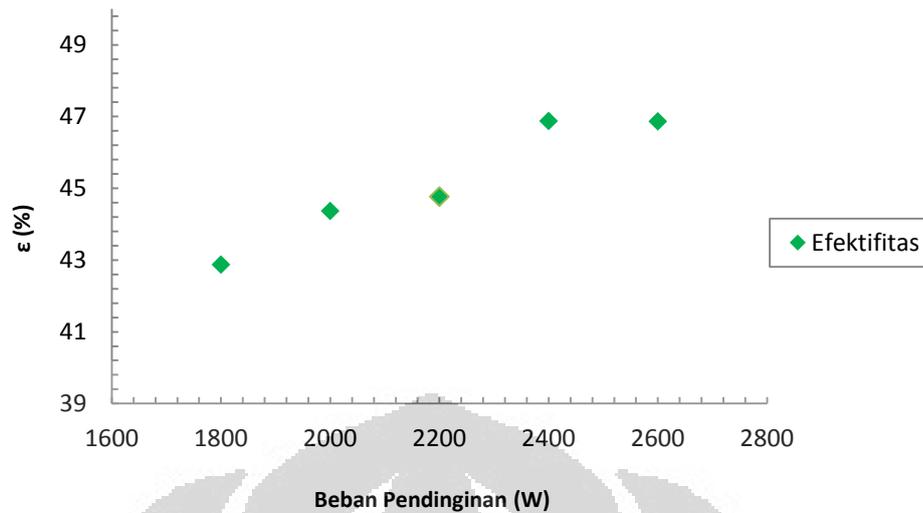
**Gambar IV-8. Grafik kerja kompresor vs beban pendinginan 1 PK**

Kerja kompresor pada ACWH dengan daya 1 PK sebesar 750-850 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 2000 Watt dan 2400 Watt. Hal ini terjadi karena pengaruh suhu lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan ketiga variabel lainnya. Kerja maksimum kompresor sebesar 851.4 Watt yang berarti 50 Watt lebih besar daripada kerja kompresor yang tercantum pada spesifikasi AC normal yaitu sebesar 800 Watt.



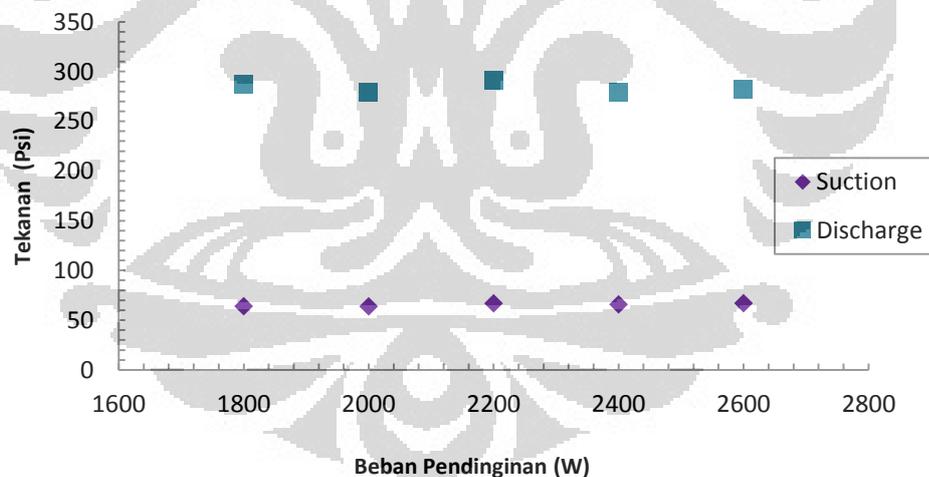
**Gambar IV-9. Grafik COP sistem vs beban pendinginan 1 PK**

COP merupakan rasio antara manfaat yang didapatkan dengan kerja yang dilakukan. Dalam hal ini, ACWH 1 PK memiliki COP sistem dengan rentang 3.2-4.2 untuk setiap pembebanan yang diberikan. Besarnya nilai COP dipengaruhi oleh kerja kompresor,  $Q$  air yang diterima, serta beban pendinginan yang ada.



**Gambar IV-10. Grafik efektifitas vs beban pendinginan 1 PK**

Efektifitas yang dimaksud adalah efektifitas temperatur. Efektifitas dipengaruhi oleh temperatur refrigeran dan air. Terlihat bahwa efektifitas ACWH HCWS 1 PK berada pada rentang 42%-46%.



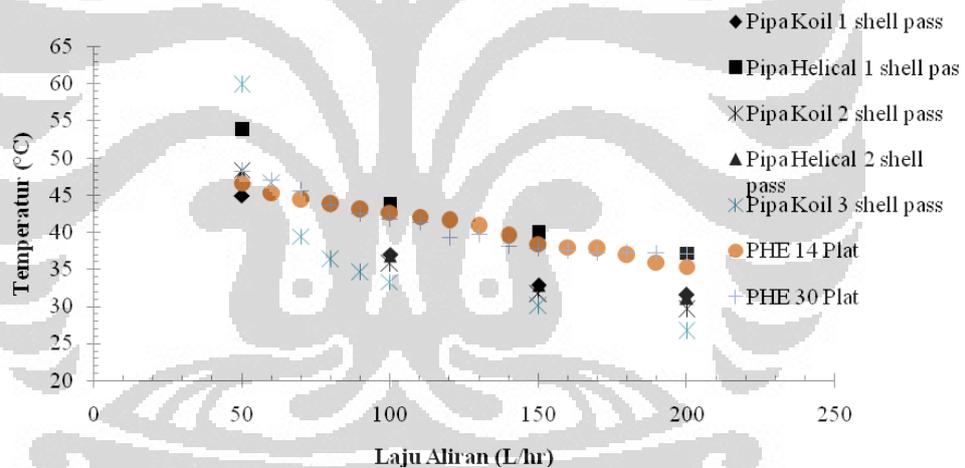
**Gambar IV-11. Grafik tekanan rata-rata kompresor vs beban pendinginan 1 PK**

Dapat dilihat grafik tekanan rata-rata kompresor dari tiap beban pendinginan. Tekanan *suction* rata-rata yang ditunjukkan pada sistem S-ACWH ini berkisar antara 64 – 67 Psi. Sementara tekanan *discharge* rata-rata kompresor berkisar antara 279 – 291 Psi.

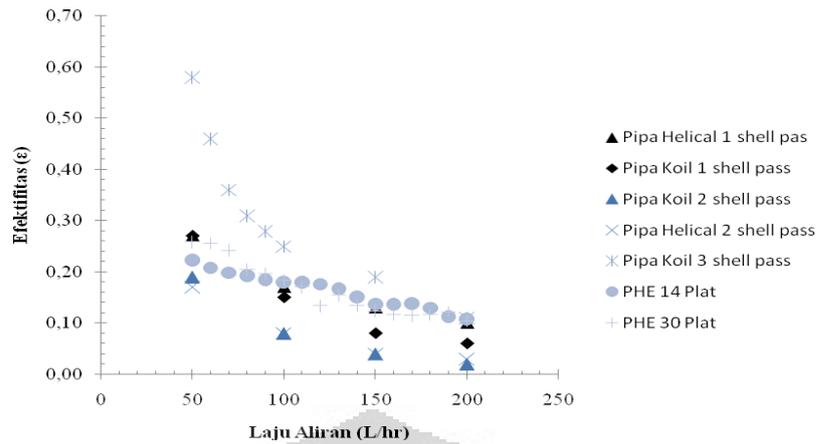
## IV.2. Perbandingan ACWH menggunakan tangki penyimpanan dengan ACWH sebelumnya

Sebenarnya ACWH yang menggunakan tangki penyimpanan 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 lebih menitikberatkan perubahan yang terjadi terhadap waktu pemanasan.

Oleh karena itu, penulis berusaha membandingkan ACWH yang menggunakan tangki penyimpanan dengan ACWH sebelumnya dengan analisa dan sudut pandang dari penulis.

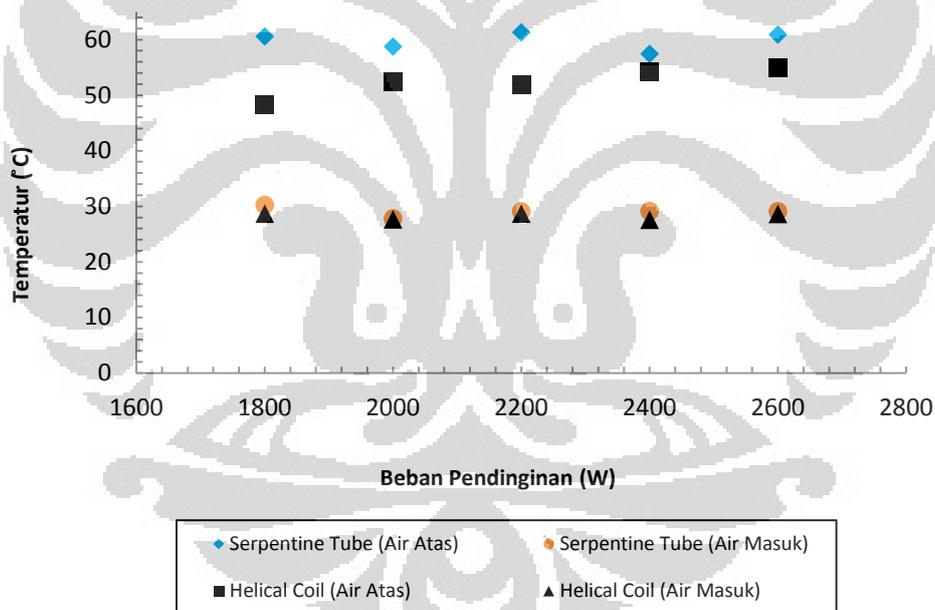


Gambar IV-12 Grafik kenaikan air vs laju aliran ACWH sebelumnya



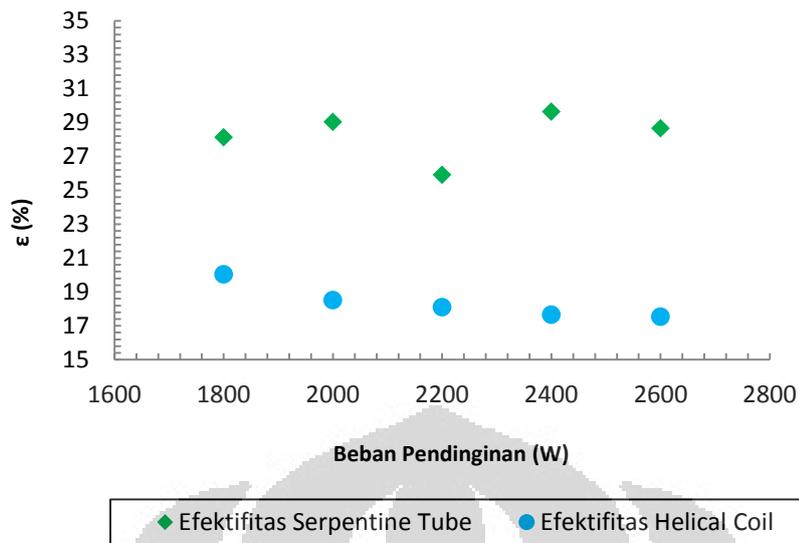
Gambar IV-13 Grafik efektifitas vs laju aliran ACWH sebelumnya

#### IV.2.1. Perbandingan ACWH Serpentine Tube dengan ACWH Helical Coil



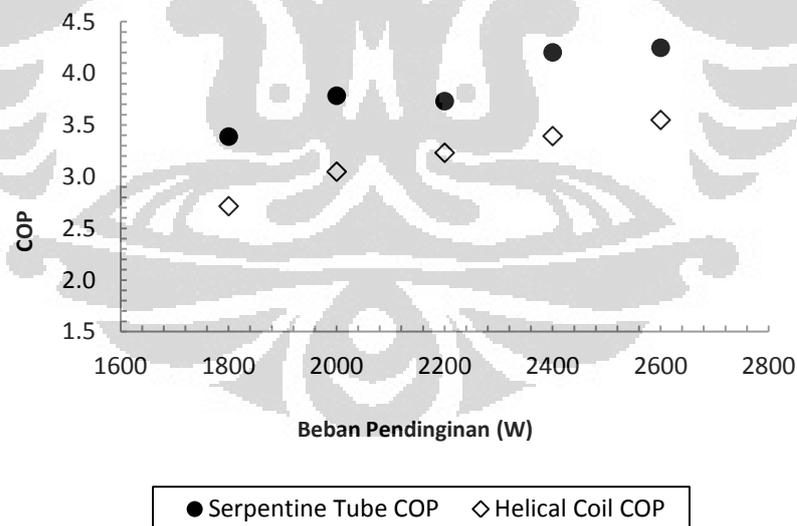
Gambar IV-14 Grafik perbandingan temperatur vs beban pendinginan

Terlihat dari grafik baha temperatur air pada bagian atas pada ACWH dengan *Helical Coil* memiliki rentang antara 48-54<sup>0</sup> C, dengan temperatur air masuk antara 27-28<sup>0</sup> C. Sementara, ACWH dengan *Serpentine Tube* memiliki rentang antara 57-61<sup>0</sup> C, dengan temperatur air masuk antara 27-30<sup>0</sup> C.



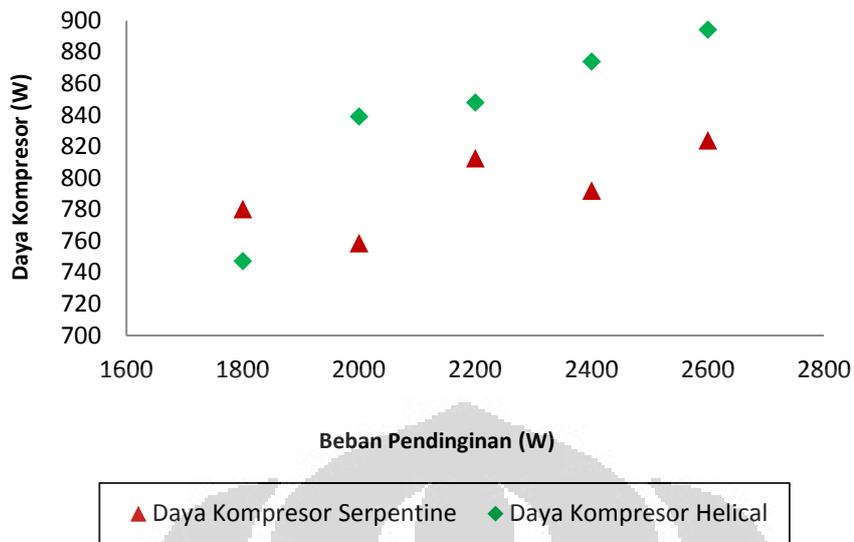
**Gambar IV-15 Grafik perbandingan efektifitas vs beban pendinginan**

Dari grafik dapat dilihat efektifitas ACWH dengan *Helical Coil* berkisar antara 17-20%. Sementara, ACWH dengan *Serpentine Tube* memiliki nilai efektifitas yang berkisar antara 25-29%.



**Gambar IV-16 Grafik perbandingan nilai COP vs beban pendinginan**

Dari grafik dapat dilihat besar nilai COP pada ACWH dengan *Helical Coil* berkisar antara 2.7-3.5. Sementara, ACWH dengan *Serpentine Tube* memiliki nilai COP yang berkisar antara 3.3-4.2.



**Gambar IV-17 Grafik perbandingan daya kompresor rata-rata vs beban pendinginan**

Terlihat dari grafik bahwa daya kompresor pada ACWH dengan *Helical Coil* memiliki daya berkisar antara 747 – 895 Watt. Sementara, ACWH dengan *Serpentine Tube* memiliki daya berkisar antara 758 – 823 Watt.

#### IV.2.2. Perbandingan Termal

ACWH dengan alat penukar kalor berupa pipa serpentine 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.

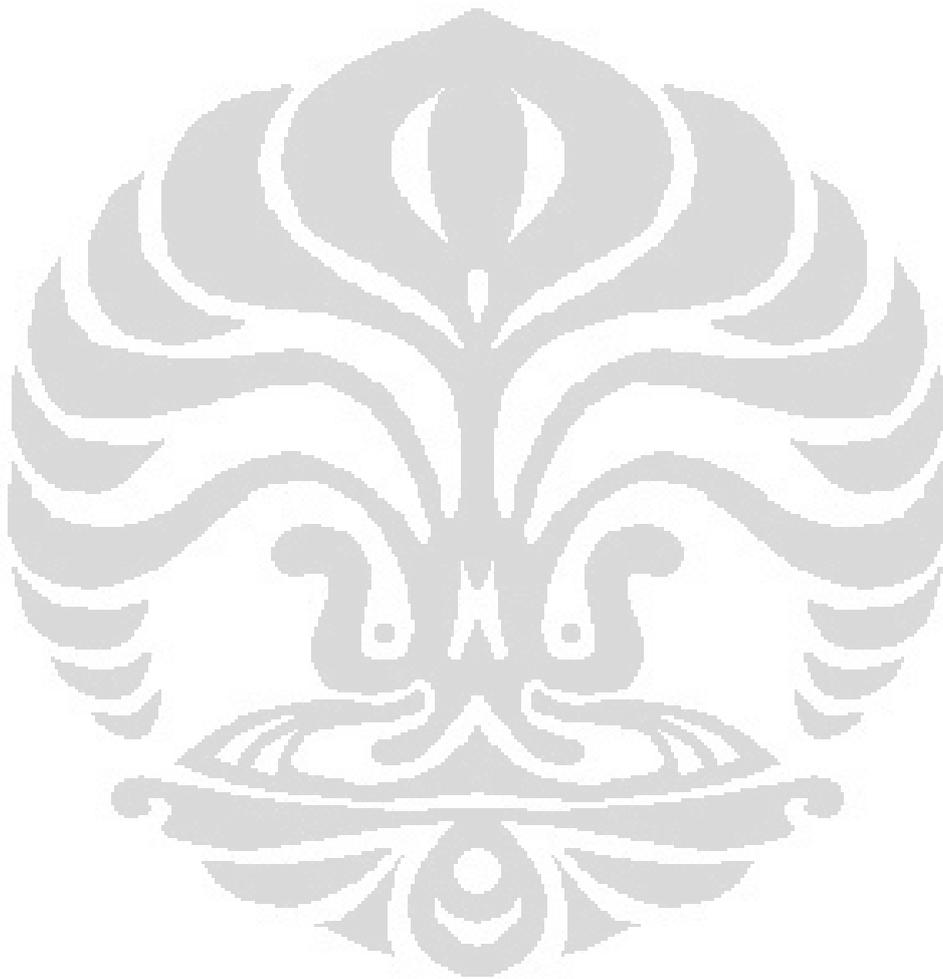
Jika laju aliran sebesar 50L/h diterapkan untuk kondisi nyata (apartement atau perumahan) maka diperlukan 1 jam untuk bisa mendapatkan 50 L air. Karena tidak adanya tangki penyimpanan, saat proses 1 jam untuk mendapatkan 50 L air tersebut, akan terjadi penurunan suhu yang signifikan karena berhubungan 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
Serpentine+Tangki (1 PK)	60,89	4,2	46

Dengan waktu yang sama ( 2 jam) S-ACWH STWS lebih efektif untuk digunakan karena air yang keluar tetap pada kondisi panas ( $60,89^{\circ}\text{C}$ ) untuk kondisi bukaan keran seperti apapun. Kondisi air panas akan terus terjaga karena tangki penyimpanan air terisolasi oleh polyuretane yang mencegah panas banyak terbuang ke lingkungan.



## 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 55-61<sup>0</sup>C 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.
- Keuntungan ACWH dengan *serpentine tube* 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.
  - Desainnya yang lebih rapi dan padat sehingga tidak memakan banyak tempat untuk peletakkannya.
  - Temperatur air panas di dalam tangki penyimpanan lebih merata jika dibandingkan dengan ACWH pada penelitian sebelumnya.
  - Tidak memerlukan sirkulasi air lagi pada tangki penyimpanan.
- Kekurangan ACWH STWS
  - Memerlukan waktu untuk pemanasan air yang cukup lama (1,5-2 jam)
  - Desain dari alat penukar kalor, akan menyulitkan jika akan dilakukan kegiatan perawatan terhadap alat penukar kalor tersebut.

## 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 stabil untuk setiap variabel pembebanan. Karena perbedaan temperatur lingkungan mempengaruhi sangat mempengaruhi temperatur refrigeran.
2. Untuk penerapan pada apartemen perlu dilakukan pengujian dengan ruangan dan beban pendinginan yang nyata.



## DAFTAR REFERENSI

- [1] Saat Ada 1,5 Miliar Kendaraan. (2010, Juni 08). *Kompas.com*  
<http://nasional.kompas.com/read/2010/06/08/04122410/saat.ada.15.miliar.kendaraan>
- [2] Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada (2007, Oktober 02). *Pemanasan Global*  
<http://geo.ugm.ac.id/archives/28>
- [3] Pemanasan Global Lebih Buruk dari Perkiraan. (2009, November 24). *Kompas.com*  
<http://sains.kompas.com/read/2009/11/24/0826156/pemanasan.global.lebih.buruk.dari.perkiraan>
- [4] Incropera, Frank P, et al., “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd., Singapore, 2002
- [5] Nandy Putra, et al., “Kinerja Alat Penukar Kalor pada Air Conditioner Water Heater”, in Seminar Nasional Efisiensi & Konversi Energi 2005, Semarang
- [6] Shah, R.K., “Fundamentals of Heat Exchanger Design”, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2003
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] 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 Teknologi (Journal of Technology) Edisi No.4, Tahun XXI, UI, Depok 2008
- [10] H.J. Laue, Regional report Europe: “heat pumps—status and trends”, *International Journal of Refrigeration* 25 (2002) 414–420
- [11] 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

- [12]Mardiana Dian, “Perbandingan Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Pipa Koil dan Pipa Helical pada Air Conditioner Water Heater” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2005.
- [13]Amri Dwi Hidayat, “Karakteristik Unjuk Kerja Air Conditioner Water Heater dengan Menggunakan Penukar Kalor Double Shell Pass” Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2006
- [14]Chandra Handi, “Karakteristik Alat Penukar Kalor Tipe Koil Tiga Lualan Pada Sistem Air Conditioner Water Heater” Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2007
- [15]Christian Luky, “Pengujian Sistem Air Conditioning Water Heater dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat” Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2008
- [16]Nugroho Agung, “Pemanfaatan Panas Buang Penyejuk Udara Pada Apartemen Untuk Penyediaan Air Panas : Tinjauan Termal” Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2009

## LAMPIRAN

### Perhitungan Desain

Kalor yang dilepaskan oleh tube = Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air  
( $Q_{\text{tube}} = Q_{\text{water}}$ )

$$T_{\text{ref in}} = 90^{\circ}\text{C} = 363 \text{ K}$$

$$T_{\text{water in}} = 25^{\circ}\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$T_{\text{water out}} = 55^{\circ}\text{C} = 328 \text{ K}$$

Diketahui :

Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air dari suhu  $25^{\circ}\text{C}$  menjadi  $55^{\circ}\text{C}$

$$V_{\text{water}} = 50 \text{ dm}^3 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

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

$$C_p = 4180 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$Q_{\text{water}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = \frac{\rho \cdot V}{t} \cdot C_p \cdot \Delta T = \frac{(1000 \times 0.05)}{1800} \times 4180 \times (55 - 25) = 3483.33$$

*Joule*

Hambatan Termal :

$$R_t = R_h + R_w + R_c + R_f$$

$$\frac{1}{U_c} = R_h + R_w + R_c + R_f$$

$R_h$  = Hambatan konveksi refrigeran

$R_w$  = Hambatan termal dinding pipa

$R_c$  = Hambatan konveksi air

$R_f$  = Hambatan termal fouling

•  **$R_f$  (Hambatan fouling) =**

$R_{f,o}$  = Well Water fouling resistance

$$= 3.522 \times 10^{-4} m^2 \cdot K / W \quad (\text{TEMA, 8}^{\text{th}} \text{ Edition})$$

$R_{f,i}$  = Refrigerant

$$= 1.716 \times 10^{-4} m^2 \cdot K / W \quad (\text{TEMA, 8}^{\text{th}} \text{ Edition})$$

•  **$R_c$  (Hambatan konveksi air) =**

$$T_{\text{water in}} = 25^\circ C = 298 K$$

$$T_{\text{water out}} = 55^\circ C = 328 K$$

$$T_{\text{ref in}} = 90^\circ C = 363 K$$

$$d_{o \text{ pipe}} = 1/4 \text{ inch} = 0.009525 m$$

Properties (Water at 330.5 K) :

$$T_{\text{water bulk}} = 57.5^\circ C = 330.5 K$$

$$k = 0.64645 W / m.K$$

$$Pr = 3.29$$

$$\beta = 4.7558 \times 10^{-4} K^{-1}$$

$$\nu = 5.1574 \times 10^{-7} m^2 / s$$

Equation 9.34 (Horizontal Cylinder, Natural Convection) Incopera fifth edition hal 554

$$\alpha = \frac{\nu}{\text{Pr}} = \frac{5.1574 \times 10^{-7}}{3.29} = 1.5675 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s Ra}_D = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) D^3}{\alpha \nu}$$

$$= \frac{9.8 \times 4.7558 \times 10^{-4} (90 - 25) (0.009525)^3}{1.5675 \times 10^{-7} \times 5.1574 \times 10^{-7}} \frac{9.8 \times 4.7558 \times 10^{-4} (90 - 25) (0.009525)^3}{1.5675 \times 10^{-7} \times 5.1574 \times 10^{-7}}$$

$$= \frac{2.6179 \times 10^{-7}}{8.0842 \times 10^{-14}} = 3.2382 \times 10^6$$

$$\overline{Nu}_D = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 \text{ Ra}_D^{1/6}}{\left[ 1 + (0.559 / \text{Pr})^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 (3.2382 \times 10^6)^{1/6}}{\left[ 1 + (0.559 / 3.29)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= 0.6 + \left( \frac{4.7072}{1.0975225} \right)^2 = 18.99502$$

$$\overline{h}_{water} = \frac{\overline{Nu}_D k}{D} = \frac{144.438 \times 0.64645}{0.009525} = 1289.1689 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

$$A_{outerpipe} = \pi d_o L$$

$$= [(\pi \times 0.009525) \cdot L] \text{ m}^2$$

$$= 0.02992 \text{ L}$$

$$R_c = \frac{1}{h_o A}$$

$$= \frac{1}{1289.1689 \times 0.02992 \times L} = \frac{0.025925}{L} \text{ K / W}$$

- **$R_w$  (Hambatan termal dinding pipa)=**

- $d_o = 0,375 \text{ inch} = 0,009525 \text{ m}$
- $d_i = 0,305 \text{ inch} = 0,007747 \text{ m}$
- $r_o = 4,76 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $r_i = 3,87 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $k = 401 \text{ W/m.K (Cu Pure)}$

$$R_w = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi L K}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{4,76 \times 10^{-3}}{3,87 \times 10^{-3}}\right)}{2\pi L \times 401}$$

$$= \frac{8,2154 \times 10^{-5}}{L} \text{ K/W}$$

- **$R_h$  (Hambatan konveksi refrigeran)**

- $d_o = 0,375 \text{ inch} = 0,009525 \text{ m}$
- $d_i = 0,305 \text{ inch} = 0,007747 \text{ m}$
- $r_o = 4,76 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $r_i = 3,87 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $t = 30 \text{ menit} = 1800 \text{ s}$
- $Pr = 3,38$
- $\mu_b = 1,136 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2 \text{ (T}_{\text{bulk}} = 70^\circ \text{C)}$
- $\mu_b = 6,31 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$
- $\left(\frac{x}{d_i}\right) = 30, \quad \left(\frac{R}{a}\right) = 0,8334$  (Sadic Kakac, Second Edition hal 146)

Kalor yang dilepaskan oleh tube = Kalor yang diterima oleh air ( $Q_{\text{tube}} = Q_{\text{water}}$ )

Estimasi waktu yang dibutuhkan = 30 menit = 1800 s

$$Q_{\text{water}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = \frac{\rho \cdot V}{t} \cdot C_p \cdot \Delta T = \frac{(1000 \times 0.05)}{1800} \times 4180 \times (55 - 25) = 3483.33$$

*Joule*

$$Q_{\text{tube}} = \dot{m} \cdot C_{p \text{ref}} \cdot \Delta T = \dot{m} \times 3001 \times (90 - 50) = 120040 \dot{m} \text{ Joule}$$

$$\dot{m} = \frac{3483.33}{120040} = 0.029018 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{4\dot{m}}{\pi d_i \mu} \\ &= \frac{4 \times 0.029018}{\pi \times 0.007747 \times 1.136 \times 10^{-4}} \\ &= \frac{0.116072}{2.764787 \times 10^{-6}} \\ &= 41.982 \times 10^3 \end{aligned}$$

Equation (3.54) Kakac Liu second edition hal 121 (Heat Transfer in 90° Bends)

$$\begin{aligned} Nu_x &= 0.0336 \text{Re}^{0.81} \text{Pr}^{0.4} \left(\frac{R}{a}\right)^{-0.06} \left(\frac{x}{d_i}\right)^{-0.06} \\ &= 0.0336 (41.982 \times 10^3)^{0.81} (3.38)^{0.4} (0.8334)^{-0.06} (30)^{-0.06} \\ &= 0.0336 (5554.962) (1.627) (1.0109) (0.8154) \\ &= 250.3395 \end{aligned}$$

$$\bar{h}_{\text{ref}} = \frac{\bar{Nu}_D k}{D} = \frac{250.3395 \times 53.1 \times 10^{-3}}{0.007747} = 1715.8935 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{innerpipe}} &= \pi d_i L \\ &= [(\pi \times 0.007747) \cdot L] \text{ m}^2 \\ &= 0.024337 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_h &= \frac{1}{h_i A} \\
 &= \frac{1}{1715.8935 \times 0.024337 \times L} = \frac{2.394 \times 10^{-2}}{L} \text{ K/W}
 \end{aligned}$$

Hambatan Total :

$$R_o = R_h + R_w + R_c$$

(Equation 5.2 Kakac Liu second edition hal 160)

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{U_f A} &= \frac{1}{U_c A} + \frac{R_{fi}}{A} + \frac{R_{fo}}{A} \\
 \frac{1}{U_c A} &= R_h + R_w + R_c \\
 &= \frac{2.394 \times 10^{-2}}{L} + \frac{6.3353 \times 10^{-4}}{L} + \frac{2.5925 \times 10^{-2}}{L} \\
 &= \frac{0.0505}{L}
 \end{aligned}$$

$$\frac{R_{fi}}{A} = \frac{R_{fi}}{\pi d_i L} = \frac{1.716 \times 10^{-4}}{\pi d_i L} = \frac{7.0507 \times 10^{-3}}{L}$$

$$\frac{R_{fo}}{A} = \frac{R_{fo}}{\pi d_o L} = \frac{3.522 \times 10^{-4}}{\pi d_o L} = \frac{11.7699 \times 10^{-3}}{L}$$

$$\frac{1}{U_f A} = \frac{0.0505}{L} + \frac{7.0507 \times 10^{-3}}{L} + \frac{11.7699 \times 10^{-3}}{L}$$

$$UA = L / 0.06932$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{lm} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = \frac{(90 - 55) - (50 - 25)}{\ln(35/25)} = \frac{35 - 25}{0.3364} \\
 &= 29.7265
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{water}} &= Q_{\text{tube}} \\ 3483,33 &= UA \Delta T_{\text{lm}} \\ &= L/0.06932 (29.7265) \\ L &= 8.1229 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang pipa tembaga yang dibutuhkan tangki untuk memanaskan 50L (50kg) air hingga memiliki temperatur  $55^{\circ}\text{C}$  dengan estimasi 30 menit (1800 s), serta temperatur refrigeran sebesar  $90^{\circ}\text{C}$  sepanjang 8.1229 m.

