



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

**ANDREAS
04 05 02 0111**

**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 : Andreas

NPM : 0405020111

Tanda Tangan :

Tanggal : Desember 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Andreas
NPM : 0405020111
Program Studi : Teknik Mesin
Judul skripsi : Pemanfaatan Panas Buang Penyejuk Udara Pada Apartemen Untuk Penyediaan Air Panas: Tinjauan Aspek Ekonomi

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 : Desember 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) **Orang tua dan keluarga** saya yang telah memberikan dukungan moril dan materiil;
- 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) **Bpk. Dedi S.** atas semangat dan pengetahuan tentang AC yang diberikan kepada saya;
- 5) **Seluruh karyawan DTM FTUI** atas penyediaan sarana-prasarana pengujian dan bantuannya selama perakitan alat pengujian; dan
- 6) **Sahabat dan teman di Teknik Mesin 2005** yang banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Desember 2009

Penulis

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

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

Nama : Andreas
NPM : 0405020111
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 Aspek Ekonomi

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 : Desember 2009

Yang menyatakan

(Andreas)

Pemanfaatan Panas Buang Penyejuk Udara Pada Apartemen Untuk Penyediaan Air Panas: Tinjauan Aspek Ekonomi

ABSTRAK

Krisis ekonomi yang melanda hampir seluruh bagian dunia membuat setiap orang harus berpikir ulang dalam pengaturan ekonomi masing-masing. Salah satu hal yang bisa dipertimbangkan adalah pemakaian air panas. Bukan dengan cara dihilangkan, namun dengan cara mencari alternatif lain dalam menghasilkan air panas.

Sistem penghasil panas yang banyak digunakan oleh masyarakat adalah *electric water heater*. Di satu sisi, sistem ini bekerja efektif karena dapat menghasilkan air panas dengan suhu maksimal sebesar 75⁰C. Namun di sisi lain sistem ini tidak ekonomis, karena biaya listriknya sangat besar.

Alternatif yang dapat diberikan adalah dengan pemakaian *Air Conditioning Water Heater*. Dibandingkan dengan pemakaian *water heater* tipe lainnya, air panas yang dihasilkan oleh ACWH bisa dikatakan sebagai “air panas gratis” karena dihasilkan dengan memanfaatkan panas buang AC dan tidak membutuhkan biaya listrik tambahan.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan jenis *water heater* yang paling ekonomis. Penelitian meliputi variasi harga water heater yang ada di pasaran dan biaya listrik yang dibayar. Dari hasil penelitian, didapatkan tipe water heater yang paling ekonomis adalah ACWH $\frac{3}{4}$ PK dengan biaya akumulasi listrik sebesar Rp 5.010.300,- pada tahun pertama hingga Rp 15.003.008,- pada tahun ke-10.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi krisis ekonomi yang melanda hampir seluruh dunia. Selain itu sistem ACWH juga ramah lingkungan dan dapat mengurangi pemanasan global karena tidak mengkonsumsi energi dan memanfaatkan panas buang sebagai sumber energinya.

Kata kunci : Krisis ekonomi, ACWH, Ekonomis, *Water Heater*, Biaya Listrik

Andreas NPM 0405020111 Mechanical Engineering Department	Supervisor Dr-Ing. Ir. Nandy Putra
THE USAGE OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN APARTMENT TO PROVIDE HOT WATER: ECONOMIC ASPECT	
<p>ABSTRACT</p> <p>The global crisis has spread all over the world. People have to fasten their belt. In order to reduce the annual cost, people have to re-think the need of the hot water. People have to find alternative way of producing hot water, instead of using electric heat water.</p> <p>Electric water heater has been is the most favorite. It produces 75⁰C hot water. But in the other hand, it consumes big amount of electricity which makes it expensive.</p> <p>But there is another more economical way of producing hot water, by using ACWH. It does not need more electricity because it uses waste heat from AC to produces hot water, so it gives people “free hot water”.</p> <p>The objective is to determine the most economical water heater. The research varies prices of water heaters and the electrical cost of them. The result shows that the most economical water heater goes to ACWH ¾ PK, having 5.010.300 idr for electrical cost in first year up to 15.003.008 idr in the 10th year.</p> <p>Hopefully, the research can provide the one solution to face the global economic crisis. One more important thing is that ACWH is environment friendly for bot consuming more electricity.</p>	
<p>Keywords : Global Crisis, ACWH, More economical, Types of water heater, Electrical cost</p>	

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR SIMBOL	xi
<u>BAB I</u> PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan Penelitian	2
I.4. Pembatasan Masalah.....	2
I.5. Metodologi Penelitian.....	3
I.6. Sistematika Penulisan	4
<u>BAB II</u> DASAR TEORI.....	5
II.1. Alat Penukar Kalor Jenis Helical Coil.....	5
II.2. Penelitian ACWH Sebelumnya	6
II.2.1. ACWH Dengan Pipa Koil 1 Shell Pass	6
II.2.2. ACWH Dengan Pipa Helical 1 Shell Pass	7
II.2.3. ACWH Dengan Pipa Koil 2 Shell Pass	7
II.2.4. ACWH Dengan Pipa Helical 2 Shell Pass	8
II.2.5. ACWH Dengan Pipa Helical 3 Luan	8
II.2.6. ACWH Dengan Alat Penukar Kalor Plat 14 Lembar	9
II.2.7. ACWH Dengan Alat Penukar Kalor Plat 30 Lembar	10
II.3. Jenis-jenis Water Heater di Pasaran	11
II.3.1. Pemanas Air Listrik	11
II.3.2. Pemanas Air Berbahan Bakar Gas	12
II.3.3. Pemanas Air Tenaga Surya	13
II.3.4. Air Conditioning Water Heater.....	14

II.4. Survei Denah Ruang Apartemen.....	16
<u>BAB III RANCANG BANGUN ALAT PENGUJIAN</u>	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. Water Storage	20
III.2.4. Data Akusisi	20
III.2.5. Termokopel Tipe K	22
III.2.6. <i>Pressure Gauge</i>	22
III.2.7. <i>Clamp Meter</i>	23
III.3. Prosedur Pengambilan Data	23
III.4. Prosedur Pengolahan Data	24
III.4.1. <i>Number of Transfer Unit</i> (NTU)	24
III.4.2. Efektifitas.....	25
III.4.3. Kalor yang Diterima Air.....	25
III.4.4. Kerja Kompresor	25
III.4.5. Unjuk Kerja ACWH	25
<u>BAB IV DESAIN DAN ANALISA BIAYA</u>	26
IV.1. <i>Design, Requirement and Objective</i>	27
IV.2. Process Selection.....	31
IV.3. Analisa Biaya Listrik Pada Tiap jenis Water Heater	32
<u>BAB IV KESIMPULAN & SARAN</u>	37
V.1. Kesimpulan.....	37
V.2. Saran	37
DAFTAR REFERENSI	38

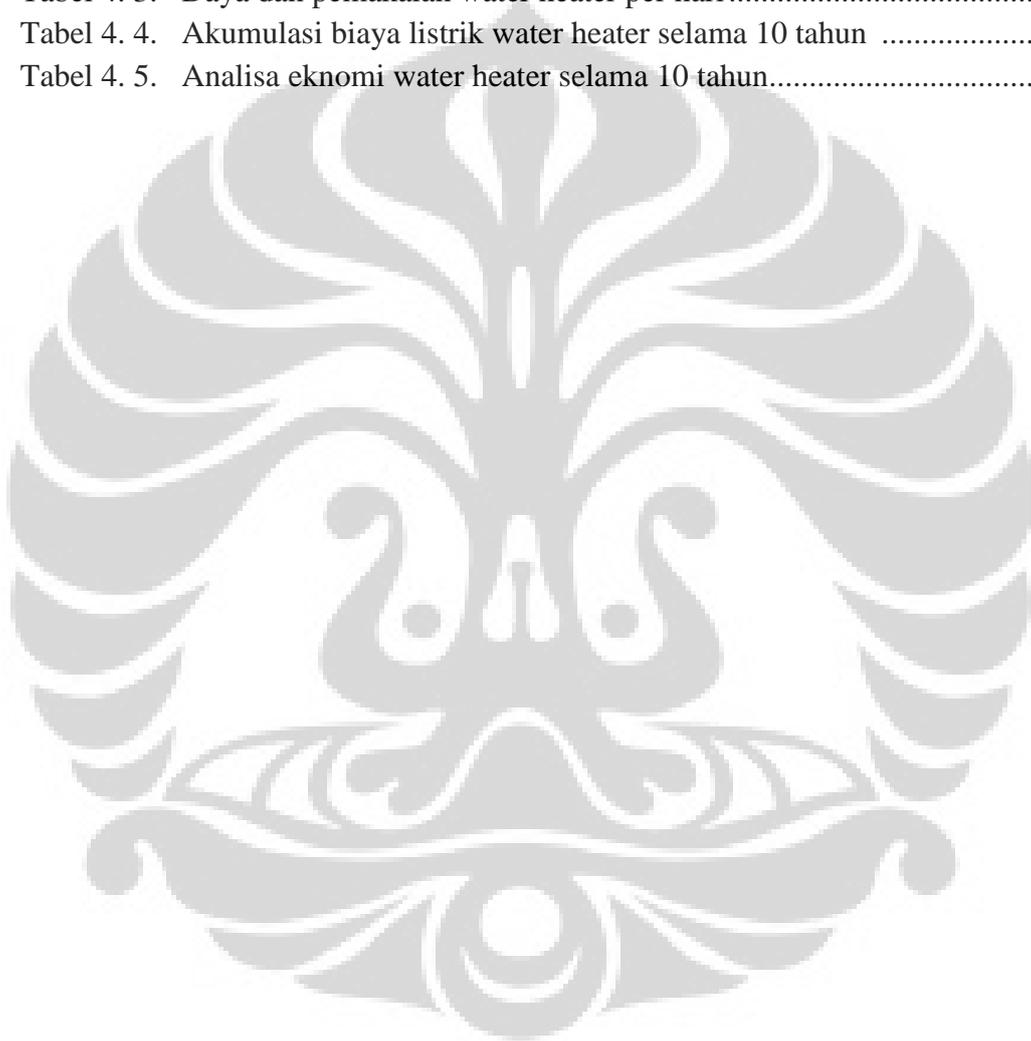
DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1. Skema ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass[1]	7
Gambar II. 2. Skema ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass[2].....	8

Gambar II. 3.	Skema ACWH dengan Pipa Helical 3 Lajuan[3]	9
Gambar II. 4.	Skema pengujian dengan PHE 14 plat[4].....	10
Gambar II. 5.	Skema dan Alat ACWH dengan PHE 14 Plat[4]	10
Gambar II. 6.	Pemanas Air Listrik[5]	12
Gambar II. 7.	Pemanas Air Berbahan Bakar Gas[6].....	12
Gambar II. 8.	Pemanas Air Tenaga Surya[7].....	13
Gambar II. 9.	Prinsip Kerja ACWH.....	15
Gambar II. 10.	Denah Ruang Apartemen	16
Gambar III. 1.	Alat pengujian	17
Gambar III. 2.	Skema alat pengujian	18
Gambar III. 3.	Outdoor AC.....	19
Gambar III. 4.	Penukar Kalor Pipa Tipe Koil.....	20
Gambar III. 5.	User Interface Lab View 8.5	21
Gambar III. 6.	NI cDAQ 9174	23
Gambar III. 7.	Port NI cDAQ 9174	23
Gambar III. 8.	<i>Pressure Gauge jenis high pressure</i>	23
Gambar III. 9.	Clamp Meter	23
Gambar IV. 1.	<i>Flowchart desain water storage</i>	26
Gambar IV. 2.	Penutup kanan tabung bagian dalam	27
Gambar IV. 3.	Selimut bagian dalam tabung.....	28
Gambar IV. 4.	Penutup kiri tabung bagian dalam	28
Gambar IV. 5.	Bagian isolasi	28
Gambar IV. 6.	Penutup kanan bagian luar tabung.....	29
Gambar IV. 7.	Selimut bagian luar tabung	29
Gambar IV. 8.	Penutup kiri bagian luar tabung	29
Gambar IV. 9.	Desain awal <i>water storage</i> 3D.....	30
Gambar IV. 10.	Desain awal <i>water storage</i> 2D	30
Gambar IV. 11.	<i>Flowchart process production</i>	31
Gambar IV. 12.	Plat Heat Exchanger.....	32
Gambar IV. 13.	ACWH 1 PK	33
Gambar IV. 14.	ACWH ¾ PK	33
Gambar IV. 15.	Grafik Akumulasi Biaya Listrik vs Tahun Pada Water Heater ..	35

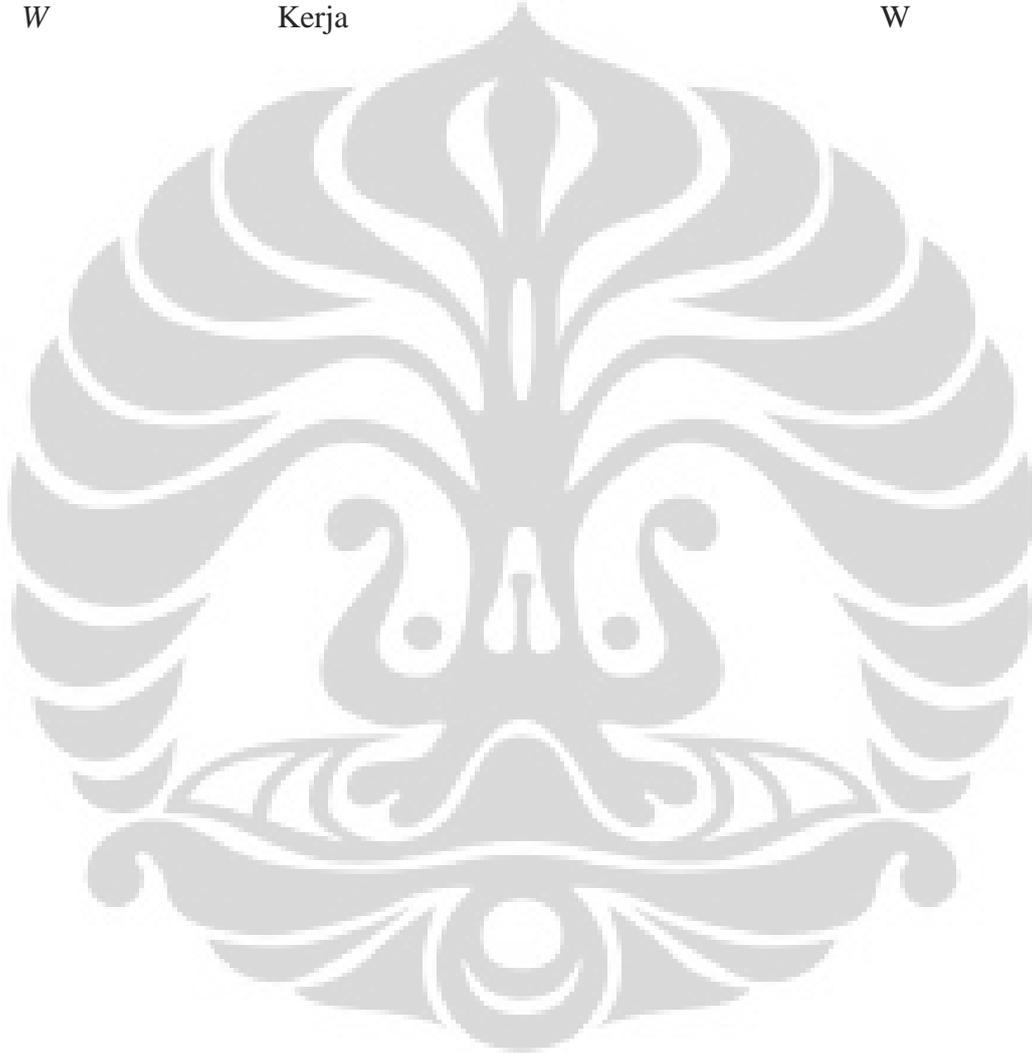
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Spesifikasi PHE CB26-14H.....	9
Tabel 2. 2. Spesifikasi PHE CB26-30H.....	11
Tabel 4. 1. Spesifikasi Water Heater	32
Tabel 4. 2. Tarif dasar biaya listrik tahun 2003[6]	34
Tabel 4. 3. Daya dan pemakaian water heater per hari.....	34
Tabel 4. 4. Akumulasi biaya listrik water heater selama 10 tahun	35
Tabel 4. 5. Analisa ekonomi water heater selama 10 tahun.....	36



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

Belakangan ini ada 2 isu besar yang beredar, yaitu krisis ekonomi dan pemanasan global. Dampak dari krisis ekonomi juga dirasakan oleh Indonesia. Krisis ekonomi di Indonesia dimulai pada tahun 1998 dan semakin terasa sampai saat ini. Krisis ekonomi ini mengharuskan masyarakat untuk lebih berhemat, contohnya dalam hal konsumsi listrik. Secara tidak langsung konsumsi listrik yang berlebihan juga berdampak kepada pemanasan global.

Kebijakan pemerintah yang mengedepankan pemanfaatan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan masyarakat 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 selain memicu masalah konservasi energi, juga berdampak besar terhadap pemanasan global.

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 terbuang dari sistem pendinginan dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air.

Salah satu aplikasi konservasi energi 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 listrik tambahan. Dengan sistem ini, kita dapat dua keuntungan sekaligus, efek pendinginan ruangan dan efek pemanasan air yang hemat energi.

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

I.2. Perumusan Masalah

Jenis *water heater* yang digunakan masyarakat saat ini adalah *electric water heater*. Walaupun efektif, tipe ini memerlukan daya listrik yang besar yang berdampak kepada semakin besarnya biaya listrik yang harus dibayar. Pengetahuan masyarakat akan sistem dan perbandingan kalkulasi biaya ACWH dengan *water heater* jenis lainnya masih sangat sedikit, sehingga pemakaian ACWH di masyarakat masih sangat minim. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap efektifitas daya ACWH dibandingkan dengan *water heater* jenis lainnya dan analisa biaya listrik.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa perbandingan akumulasi biaya listrik pada ACWH dengan *electric water heater* jenis lainnya sehingga dapat menentukan tipe *water heater* yang paling ekonomis.

I.4. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Unit Air Conditioning yang digunakan memiliki daya $\frac{3}{4}$ PK dan 1PK
2. Analisa biaya dilakukan terhadap 4 jenis *water heater*, yaitu ACWH 1 PK, ACWH $\frac{3}{4}$ PK, ACWH PHE dan *electrical water heater*.

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) Pengujian ACWH

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

3) 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. Analisa juga dilakukan untuk konsumsi biaya listrik dan biaya yang diperlukan. Dari analisa dapat ditarik kesimpulan dari proses pengujian dan penelitian terhadap biaya listrik yang dilakukan dan memberikan saran untuk pengembangan sistem ACWH selanjutnya.

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 prinsip kerja *helical coil*, jenis *water heater* yang ada di pasaran, *cooling load* dan ACWH. Dasar teori ini diambil dari beberapa buku, jurnal, dan situs-situs di internet

BAB III. RANCANG BANGUN ALAT PENGUJIAN

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

BAB IV. DESAIN DAN ANALISA BIAYA

Bab ini berisi analisa biaya yang dikeluarkan tiap tahun untuk penggunaan beberapa tipe *water heater* dan desain untuk ACWH yang lebih ekonomis

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari pengujian yang sudah dilakukan dan saran untuk pemakaian *water heater* yang lebih ekonomis

BAB II

DASAR TEORI

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:

$$Q_{HE} = \bar{h} \times A_{\text{pipa}} \times \Delta T \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

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

$$\bar{h} = \frac{Nu \ k}{D} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

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

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \text{ untuk } Ra \leq 10^{12} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Di mana:

$$\alpha = \frac{\nu}{Pr} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Ra = \frac{g \beta (T_{\text{hi}} - T_{\text{wi}}) D^3}{\alpha \nu} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

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

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

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)
Tri	= Suhu refrigerant masuk ($^{\circ}C$)
Twi	= Suhu air masuk ($^{\circ}C$)

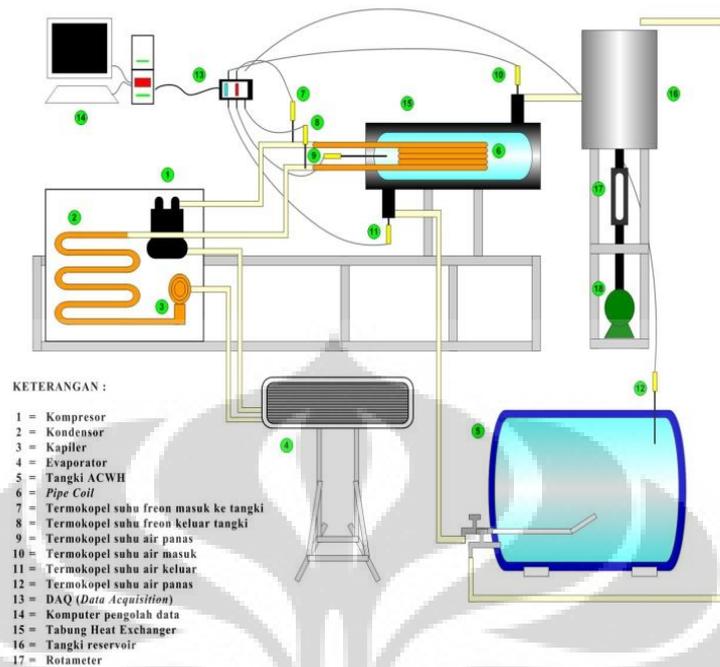
II.2 Penelitian ACWH Sebelumnya

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 inchi sepanjang 5 meter sbagai alat penukar kalornya.

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



Gambar 2.1 Skema ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass[1]

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.

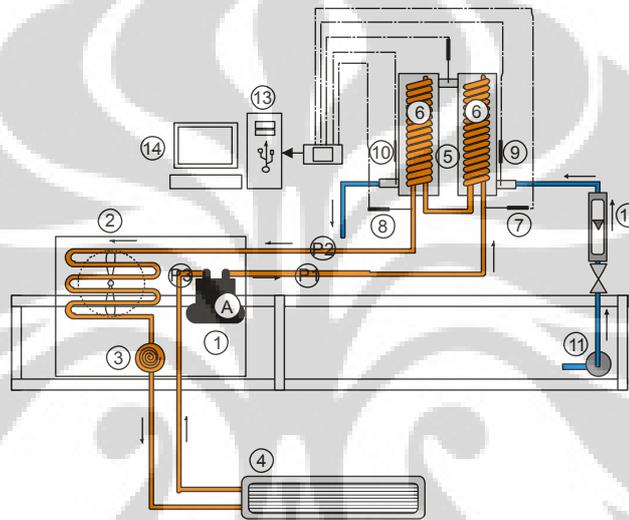
II.2.3 ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass

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.

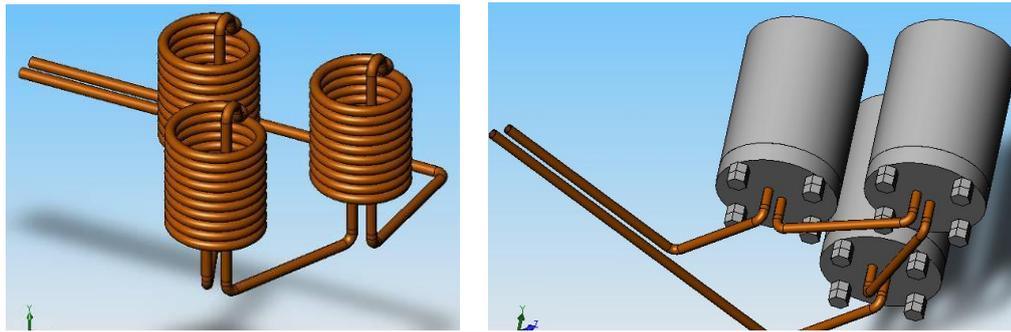


Gambar 2.2 Skema ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass[2]

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 2.3 Skema ACWH dengan Pipa Helical 3 Lualan[3]

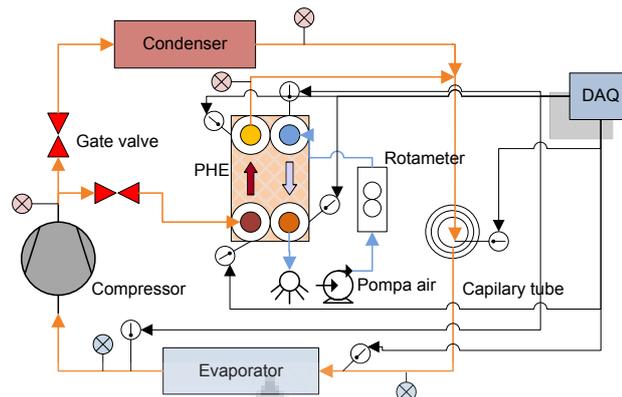
II.2.6 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 14 Lembar

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 2.1 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



Gambar 2.4 Skema Pengujian ACWH 14 Plat[4]



Gambar 2.5 Skema dan alat ACWH dengan PHE 14 Plat[4]

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 spesifikasi 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.

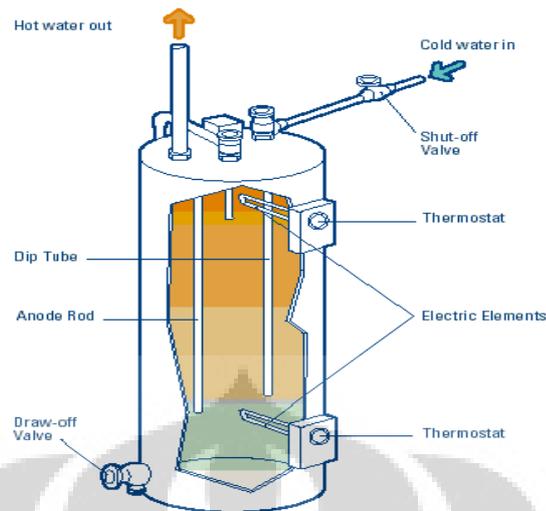
Tabel 2.2 Spesifikasi PHE CB26-30H

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
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)+2,4 kg
Sambungan ulir standar	1 inch
Material <i>plate</i>	AISI 316
Material sambungan	AISI 316
Material <i>brazing</i>	Tembaga

II.3. Jenis-jenis Water Heater di Pasaran

II.3.1 Pemanas Air Listrik

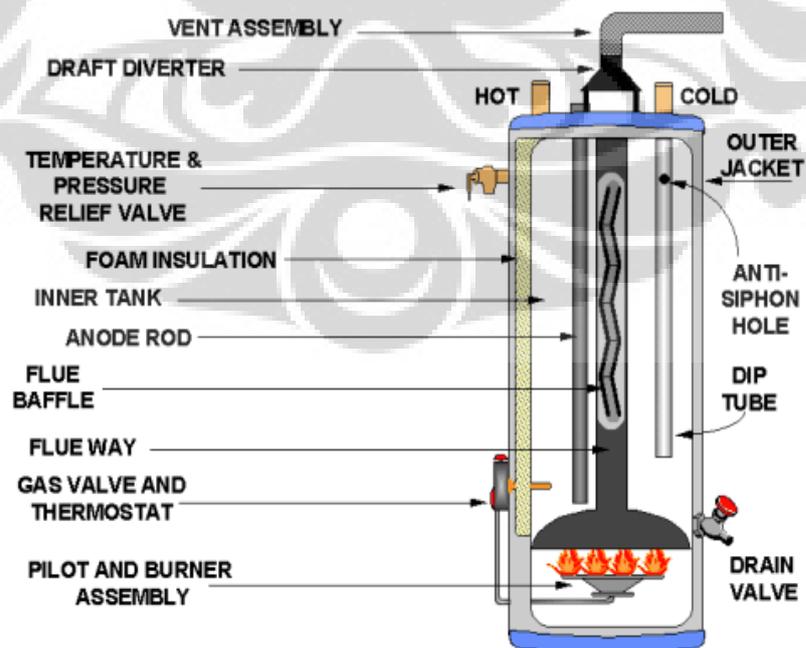
Prinsip kerja pemanas air listrik adalah dengan cara menampung air dalam sebuah tangki yang dilengkapi dengan elemen pemanas yang akan memanaskan air karena adanya arus listrik. Pemanas air listrik dilengkapi dengan adanya *thermostat* sehingga sistem dapat mati/hidup secara otomatis. Ketika air panas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



Gambar 2.6 Pemanas Air Listrik[5]

II.3.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

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 2.7 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas[6]

II.3.3 Pemanas Air Tenaga Surya

Tipe 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 system pemanas telah dilengkapi dengan heater tambahan sehingga dapat memanaskan air walapun 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 2.8 Pemanas Air Tenaga Surya[7]

II.3.4 Air Conditioning Water Heater

ACWH adalah pemanas air yang menggunakan panas buangan dari outdoor AC untuk memanaskan air di dalam water storage. ACWH tidak memerlukan energi tambahan baik dari energi listrik maupun gas. Dibandingkan water heater jenis lain, ACWH lebih banyak memiliki keuntungan, yaitu:

1. Segi Ekonomi

Karena tidak menggunakan energi listrik atau gas secara langsung, air panas yang dihasilkan dianggap sebagai air panas gratis. ACWH juga dapat mengurangi konsumsi listrik AC (terutama pada blower kondensor). Selain itu sistem ACWH tidak memerlukan banyak biaya perawatan.

2. Segi Keamanan

ACWH relative aman dari sengatan listrik dan kebocoran gas.

3. Segi Konservasi Alam

Penghematan penggunaan listrik pada ACWH juga memberi kontribusi pada pelestarian lingkungan alam.

Sebuah instalasi ACWH terdiri dari;

1. Unit AC

Sebagai sumber untuk menghasilkan panas

2. Water Storage

Tempat menyimpan air hasil pemanasan

3. Heat Exchanger

Sarana untuk menukar panas antara freon panas dan air dingin

4. Safety Valve

Sebagai pengaman tangki dari temperature dan tekanan yang berlebih

5. Check Valve

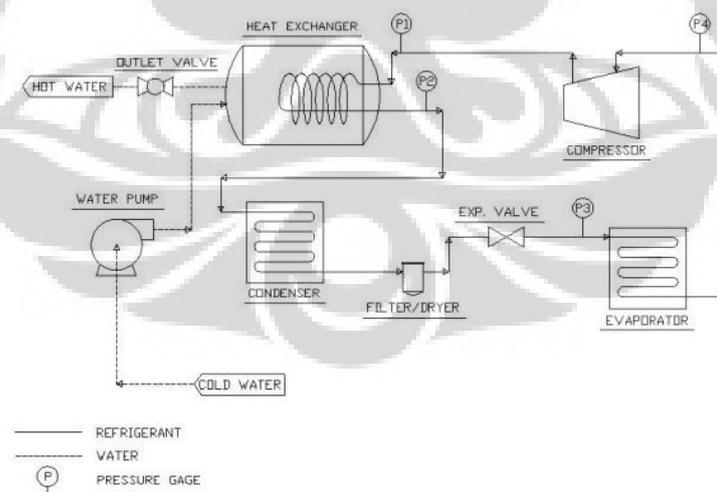
Katup searah untuk mencegah air dari tangki kembali ke sumber

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*



Gambar 2.9 Prinsip Kerja ACWH

Tipe ACWH yang dibahas adalah ACWH dengan *helical coil*. ACWH ini dapat menghasilkan temperature maksimal sebesar $54-56^{\circ}\text{C}$ pada volume air 50 liter dalam waktu 2 jam.

II.4. 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 rugi-rugi kalor dan jatuh tekan yang berlebihan serta mudah dalam penginstalasian. Pada gambar 2.10 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 2.10 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 water storage pada sistem *Air Conditioner Water Heater*. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian terhadap alat penukar kalor yang terpasang pada sebuah sistem ACWH.

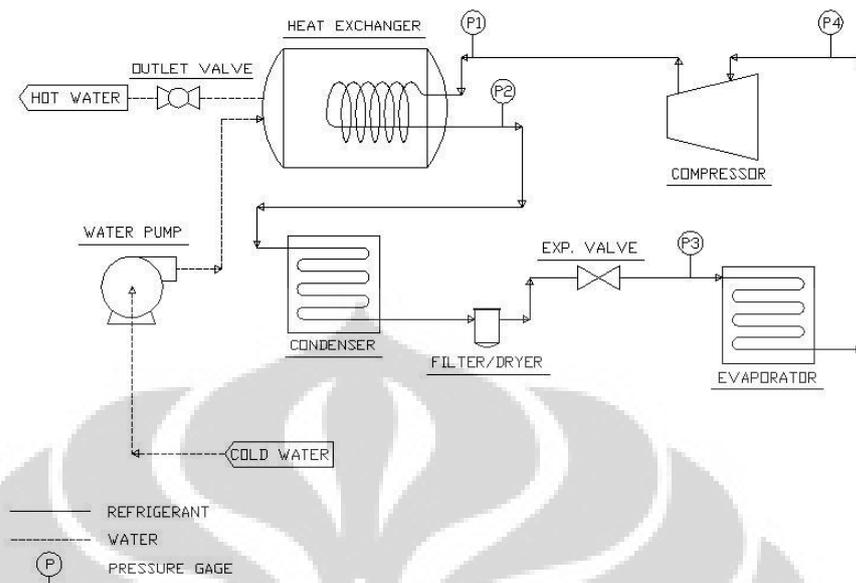
Pada sistem ACWH, terjadi perpindahan kalor dari refrigerant dengan suhu tinggi setelah keluar dari kompresor dengan air yang memiliki suhu rendah dalam water storage. Dengan adanya perpindahan kalor ini, maka diharapkan suhu refrigerant turun dan sebaliknya terjadi peningkatan suhu pada air dalam water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

III.1. Instalasi Alat Pengujian

Alat pengujian terdiri dari sistem AC dengan aliran refrigeran dihubungkan dengan penukar kalor tipe koil 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 3. 1. Alat pengujian



Gambar 3.2 Skema 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*. Selengkapnya untuk perancangan dan instalasi alat pengujian penukar kalor pada *Air Conditioner Water Heater* dapat dilihat pada skema alat pengujian.

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, kondenser, 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 3. 3. Outdoor AC

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 3.4 Penukar Kalor Pipa Tipe Koil

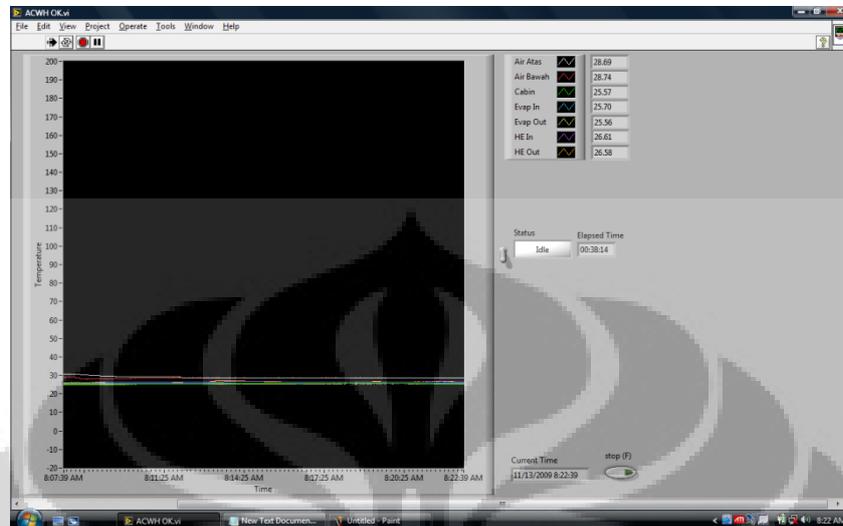
III.2.3. Water Storage

Water storage akan digunakan untuk keperluan mandi, maka dikehendaki air tetap tidak berwarna dan berbau. Material water storage juga harus tahan terhadap korosi dan temperatur yang cukup tinggi. Maka material yang dipilih adalah stainless steel dengan tebal 1.5 mm. Karena berfungsi sebagai thermal storage, maka tangki diisolasi dengan high density polyurethane dengan tebal 3 cm dan dilapisi dengan zyncalume coating clear sebagai cover luar.

III.2.4. Data Akuisisi

Data akuisisi (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 akuisisi 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 3.5 User Interface Lab View 8.5



Gambar 3.6 NI cDAQ 9174



Gambar 3.7 Port NI cDAQ 9174

III.2.5. 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.2.6 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 3. 8 Pressure gauge jenis hi pressure

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 3.9 Clamp Meter

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 in & out). 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 (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 water storage 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. *Number of Transfer Unit* (NTU)

NTU menyatakan rasio antara tahanan thermal menyeluruh dengan *heat transfer capacity rate* (C) terkecil dari fluida dalam alat penukar kalor. NTU menunjukkan ukuran thermal dari alat penukar kalor. NTU tidak menggambarkan ukuran alat penukar kalor secara fisik. Tetapi jika digunakan pada kondisi U dan C

yang konstan, semakin besar NTU akan diikuti dengan semakin besarnya dimensi penukar kalor.

III.4.2. Efektifitas

Efektivitas alat penukar kalor (ϵ) adalah rasio perpindahan panas aktual dengan perpindahan panas maksimal yang dapat terjadi pada alat penukar kalor. Perpindahan kalor aktual dapat dihitung dari energi yang diterima oleh fluida dingin (air). 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.4.3. Kalor yang Diterima Air

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

$$Q = m \times C \times \Delta T \dots\dots\dots (3.1)$$

III.4.4. Kerja Kompresor

Kerja kompresor didapatkan dari perkalian arus listrik yang dikonsumsi dengan tegangan listrik PLN (220V).

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.

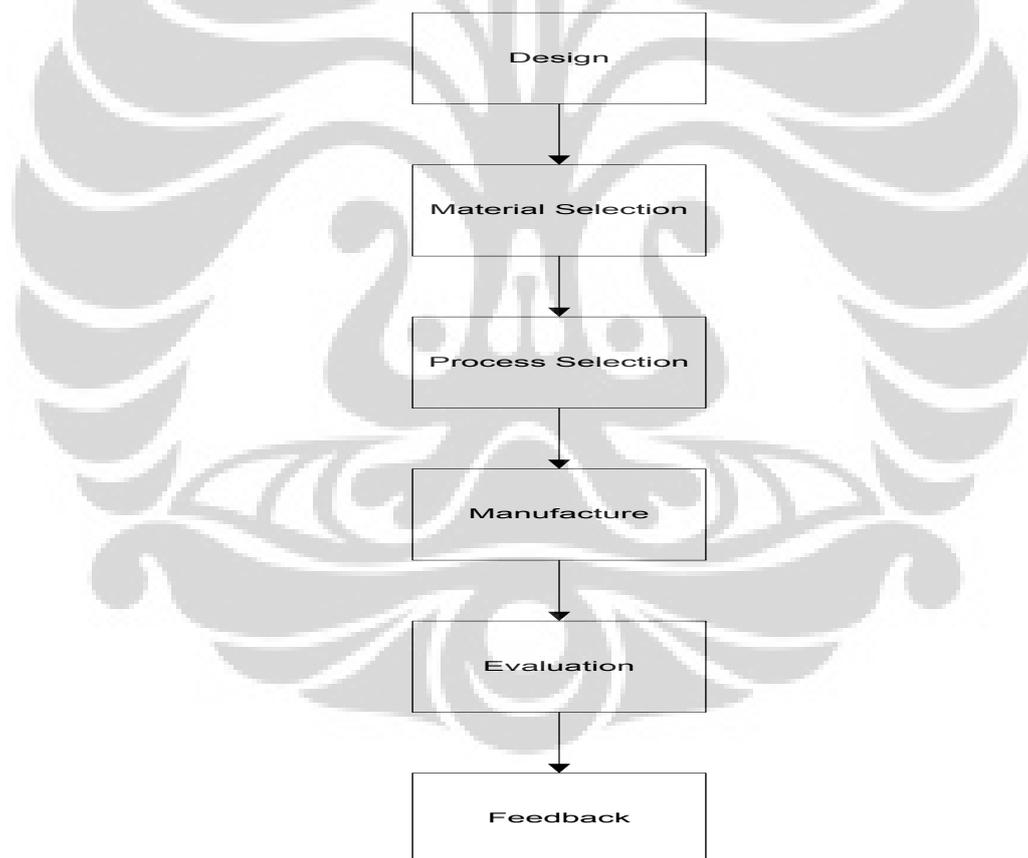
BAB IV

DESAIN DAN ANALISA BIAYA

Analisa biaya dilakukan terhadap 3 tipe water heater, yaitu Plat Water Heater 1 PK, ACWH 1PK dan ACWH $\frac{3}{4}$ PK. Analisa biaya dilakukan untuk mencari tipe water heater yang paling ekonomis dan efisien. Data-data diolah dan disajikan dalam bentuk grafik.

Harga pembelian untuk masing-masing water heater adalah berdasarkan harga pasar, namun harga untuk water storage pada ACWH ditentukan berdasarkan desain dan pemilihan material dan proses produksi. Berikut adalah proses desain untuk water storage ACWH:

Berikut adalah flowchart dalam *manufacturing process* pada water storage.



Gambar 4.1 Flowchart desain water storage

IV.1 Design, Requirements, and Objectives

Water storage akan digunakan sebagai tempat penyimpanan air yang akan dipanaskan oleh helical coil. Untuk itu tangki harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

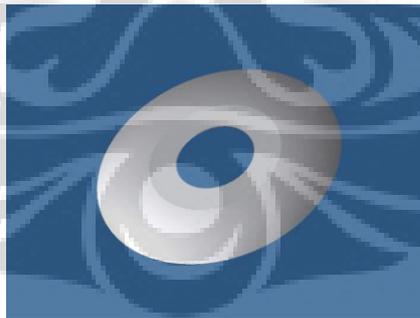
- Memiliki kapasitas untuk menyimpan air sebesar 50 L karena tangki ini digunakan untuk menyimpan air panas untuk mandi
- Tidak terdapat kebocoran yang dapat membuat volume tangki berkurang
- Tidak boleh terjadi heat loss pada air panas di dalam tangki
- Di dalam tangki terdapat 3 saluran, yaitu saluran air masuk, saluran air keluar, dan saluran untuk membuang udara yang terjebak ketika tangki diisi dari keadaan kosong

Water storage terdiri dari 2 bagian, tabung dalam dan tabung luar. Berdasarkan DR&O dan pertimbangan ketersediaan alat di pasaran, maka diperoleh desain dan material untuk tangki sebagai berikut.

1. Tabung Dalam

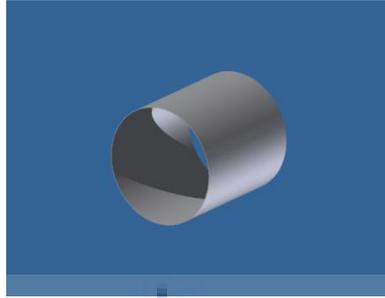
Tabung dalam terdiri dari 3 bagian, yaitu penutup kanan, selimut tabung dan penutup kiri yang akan diisolasi oleh polyurethane.

- Penutup kanan (Stainless steel 304)



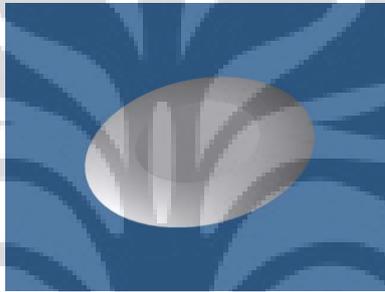
Gambar 4.2 Penutup kanan tabung bagian dalam

- Selimut tabung dalam (Stainless steel 304)



Gambar 4.3 Selimut bagian dalam tabung

- Penutup kiri (Stainless steel 304)



Gambar 4.4 Penutup kiri tabung bagian dalam

- Isolasi (Polyurethane)



Gambar 4.5 Bagian isolasi

2. Tabung Luar

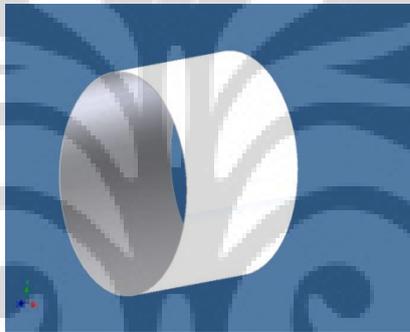
Tabung luar terdiri dari 3 bagian, yaitu penutup kanan, selimut luar dan penutup kiri.

- Penutup kanan (Zyncalume)



Gambar 4.6 Penutup kanan bagian luar tabung

- Selimut luar (Zyncalume)

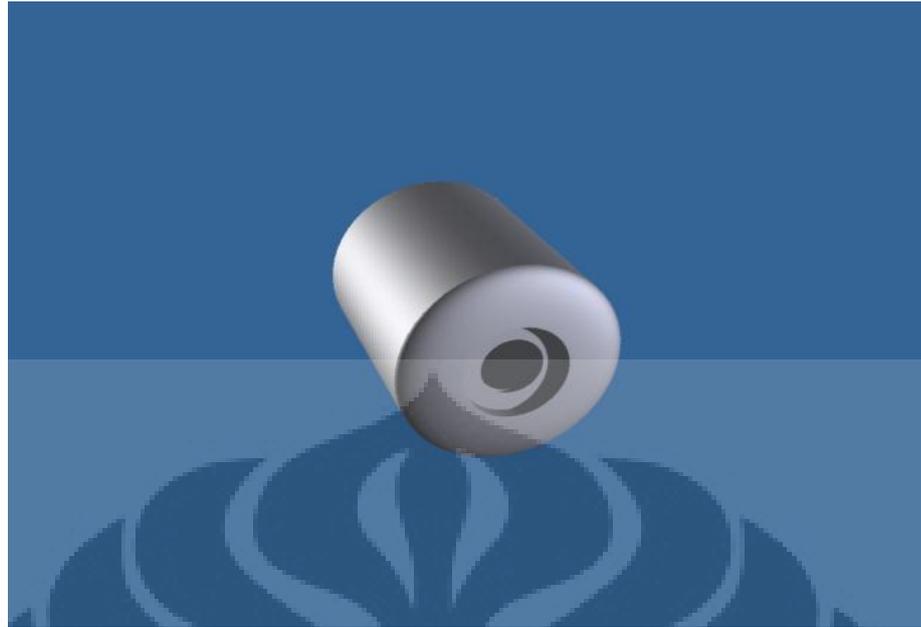


Gambar 4.7 Selimut bagian luar tabung

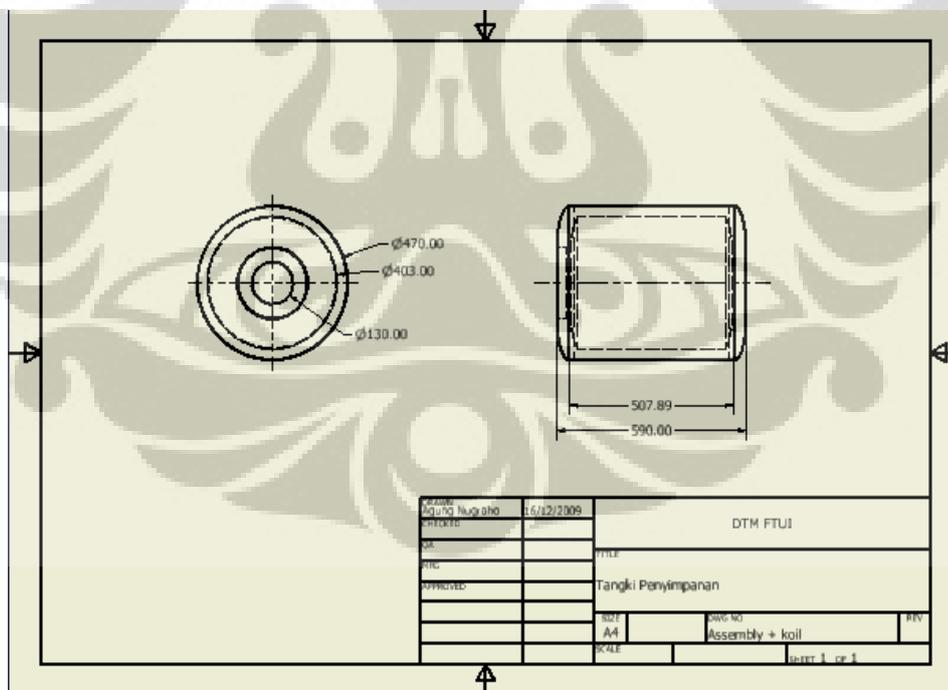
- Penutup kiri (Zyncalume)



Gambar 4.8 Penutup kiri bagian luar tabung

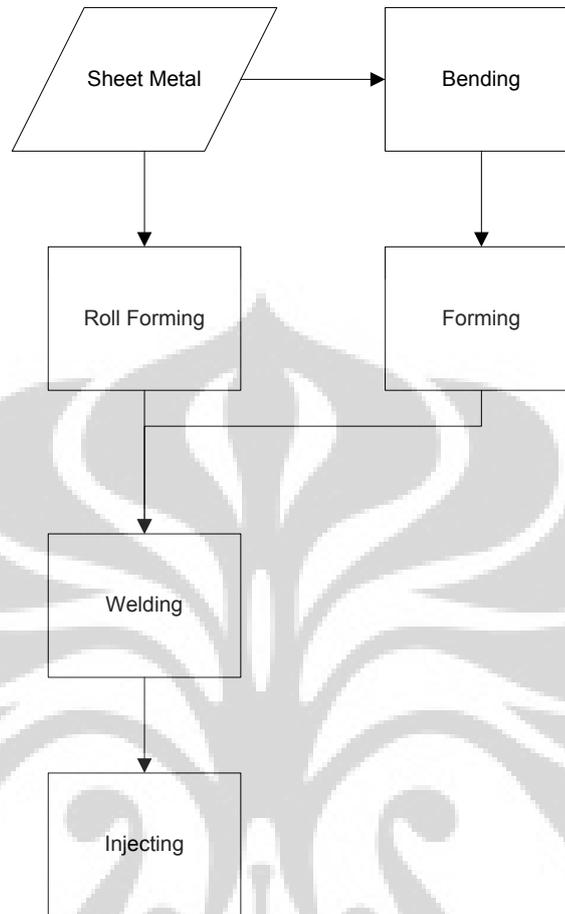


Gambar 4.9 Desain awal water storage 3D



Gambar 4.10 Desain awal water storage 2D

IV.2 Process Selection



Gambar 4.11 Flowchart process production

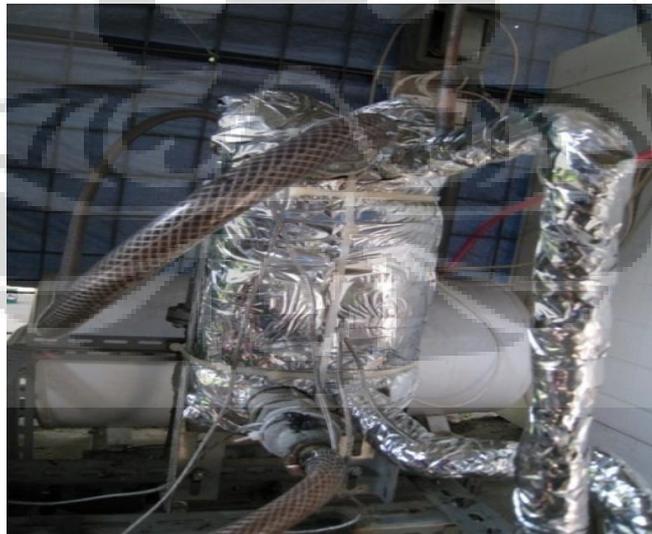
Proses ini berlaku untuk tabung bagian dalam dan luar. Untuk selimut luar dan selimut dalam, proses dilakukan dengan cara roll forming. Untuk penutup kanan dan penutup kiri, proses dilakukan dengan bending dan forming. Setelah itu bagian selimut dan penutup kiri dan penutup kanan dilas. Setelah itu polyurethane diinjeksi ke dalam water storage yang sudah jadi. Setelah melalui proses di atas, estimasi harga 1 buah water storage adalah Rp 1.200.000.-.

IV.3 Analisa Biaya Listrik Pada Tiap Jenis *Water Heater*

Berikut ini adalah spesifikasi dari 3 jenis *water heater* yang akan dianalisa.

Tabel 4.1 Spesifikasi water heater

Model	Kapasitas (L)	Material	Daya (W)	Harga pembelian (Rp)	Temperatur maksimum yang dapat dicapai ($^{\circ}\text{C}$)
PHE Water Heater	50	Stainless steel, Polyurethane, Zinalume	924	5.300.000	47
ACWH 1 PK	50	Stainless steel, Polyurethane, Zinalume	902	4.000.000	56
ACWH 3/4 PK	50	Stainless steel, Polyurethane, Zinalume	679	3.900.000	52



Gambar 4.12 Plat Heat Exchanger



Gambar 4.13 ACWH 1 PK



Gambar 4.14 ACWH ¾ PK

Berdasarkan TDL (Tarif Dasar Listrik) tahun 2003, maka biaya listrik yang digunakan adalah TDL golongan R-2/TR dengan batas daya antara 2.200 VA – 6.600 VA sebesar Rp 560,- per kWh.

Tabel 4.2 Tarif Dasar Listrik tahun 2003

GOLONGAN TARIF	BATAS DAYA	BIAYA BEBAN (Rp./kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp./kWh)		
R-1/TR	900 VA	20.000	Blok I	: 0 s.d. 20 kWh	: 275
			Blok II	: di atas 20 kWh s.d. 60 kWh	: 445
			Blok III	: di atas 60 kWh	: 495
R-1/TR	1.300 VA	30.100	Blok I	: 0 s.d. 20 kWh	: 385
			Blok II	: di atas 20 kWh s.d. 60 kWh	: 445
			Blok III	: di atas 60 kWh	: 495
R-1/TR	2.200 VA	30.200	Blok I	: 0 s.d. 20 kWh	: 390
			Blok II	: di atas 20 kWh s.d. 60 kWh	: 445
			Blok III	: di atas 60 kWh	: 495
R-2/TR	di atas 2.200 VA s.d. 6.600 VA	30.400	560		
R-3/TR	di atas 6.600 VA	34.260	621		

Berdasarkan informasi yang menunjukkan bahwa *life cycle* dari tiap tipe water heater adalah kurang lebih 10 tahun dan dengan asumsi sebagai berikut :

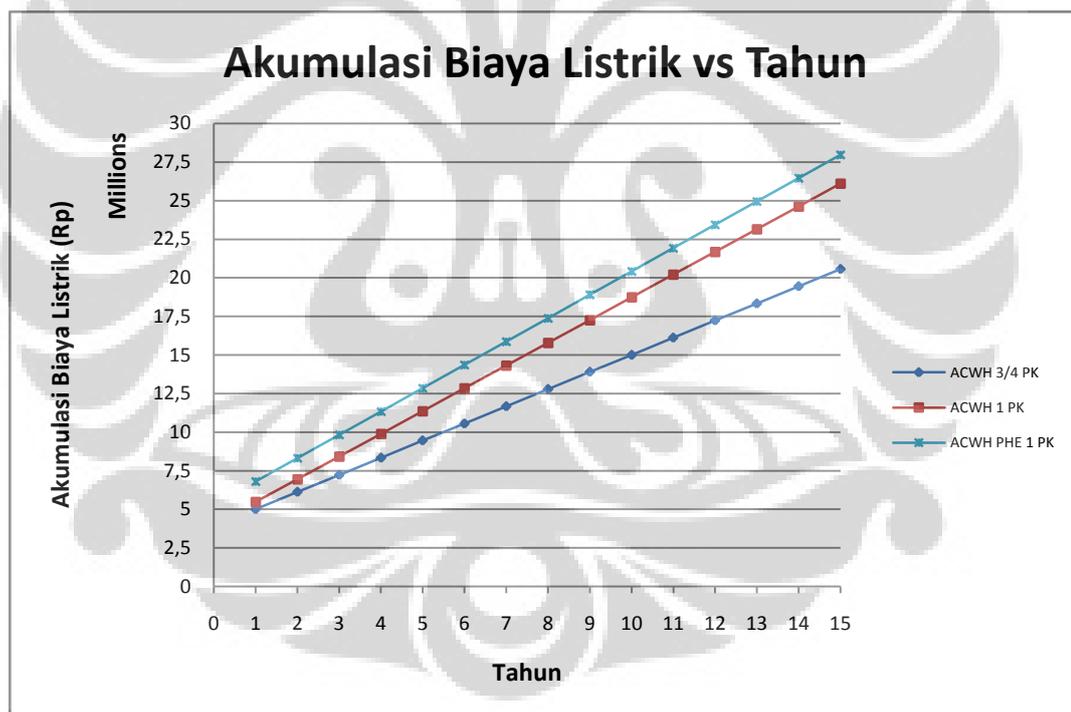
Tabel 4.3 Daya dan waktu pemakaian water heater per hari

Model	Daya (W)	Waktu Pemakaian per Hari (jam)
PHE	924	8
ACWH 1 PK	901	8
ACWH 3/4 PK	679	8

maka akumulasi biaya listrik untuk AC dan tiap tipe water heater adalah :

Tabel 4.4 Akumulasi biaya listrik water heater selama 10 tahun

Tahun	ACWH 3/4 PK	ACWH 1 PK	ACWH PHE
1	5.010.300,8	5.473.315,2	6.810.924,8
2	6.120.601,6	6.946.630,4	8.321.849,6
3	7.230.902,4	8.419.945,6	9.832.774,4
4	8.341.203,2	9.893.260,8	11.343.699,2
5	9.451.504	11.366.576	12.854.624
6	10.561.804,8	12.839.891,2	14.365.548,8
7	11.672.105,6	14.313.206,4	15.876.473,6
8	12.782.406,4	15.786.521,6	17.387.398,4
9	13.892.707,2	17.259.836,8	18.898.323,2
10	15.003.008	18.733.152	20.409.248

**Gambar 4.15** Grafik Akumulasi Biaya Listrik vs Tahun Pada Tiap Jenis Water Heater

Grafik di atas menunjukkan biaya akumulasi listrik pada tiap jenis water heater selama 10 tahun. Berdasarkan biaya akumulasi listrik hingga tahun ke-10, pemakaian *water heater* yang paling ekonomis adalah ACWH $\frac{3}{4}$ PK yaitu sebesar Rp 5.010.300,- pada tahun pertama hingga Rp 15.003.008,- pada tahun ke-10.

Sedangkan biaya akumulasi listrik yang paling besar adalah pada pemakaian ACWH PHE, yaitu sebesar Rp 6.856.038,4 hingga Rp 20.409.248,-. Hal ini terjadi karena pemakaian daya yang terkecil adalah pada ACWH $\frac{3}{4}$ PK, yaitu sebesar 1.664,4 kW per tahun dan pemakaian daya terbesar adalah pada ACWH PHE, yaitu sebesar 2698.08 kW per tahun.

Tabel 4.5 Analisa biaya water heater selama 10 tahun

Model	PV (Rp)	PMT (Rp)	Rate (%)	Payback Period (tahun)	FV (Rp)
ACWH 1 PK	4.000.000	1.308.160	6.5	1.5	86.090.832
ACWH $\frac{3}{4}$ PK	3.900.000	932.064	6.5	1.6	124.122.016
ACWH PHE	5.300.000	1.510.924,8	6.5	1.7	138.767.779

Dengan rasio bunga bank sebesar 6.5% per tahun, maka didapatkan *payback period* untuk masing-masing *water heater*. *Payback period* yang tercepat adalah pada ACWH 1 PK, yaitu 1,5 tahun dengan *future value* sebesar Rp 86.090.832. Untuk ACWH $\frac{3}{4}$ PK didapatkan *payback period* selama 1,6 tahun dengan *future value* sebesar Rp 124.122.016,00 dan untuk ACWH PHE didapatkan *payback period* selama 1,7 tahun dengan *future value* Rp 138.767.779,00.

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang didapatkan selama pengujian, dapat diambil kesimpulan bahwa pemakaian water heater yang paling ekonomis dan memenuhi temperatur rata-rata yang digunakan untuk mandi adalah ACWH $\frac{3}{4}$ PK.

V.2. Saran

Dari serangkaian proses pengujian yang sudah dilakukan, ditemukan beberapa hambatan. Untuk pengujian selanjutnya, dapat dilakukan beberapa perbaikan seperti:

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.

DAFTAR REFERENSI

- [1] 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.
- [2] 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
- [3] Chandra Handi, “Karakteristik Alat Penukar Kalor Tipe Koil Tiga Lualan Pada Sistem Air Conditioner Water Heater” Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2007
- [4] Christian Luky, Pengujian Sistem Air Conditioning Water Heater dengan Alat Penukar Kalor Tipe Plat Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2008
- [5] <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/home.htm>
- [6] <http://home.howstuffworks.com/how-to-choose-a-water-heater1.htm>
- [7] <http://www.iklanwebid.com/2009/10/07/service-dan-penjualan-solahart-wika-swh-handal-edwards-dll-solar-water-heater-pemanas-air-tenaga-surya.html>