



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN WATER STORAGE DAN
PERHITUNGAN EKONOMIS PADA ACWH DENGAN ALAT
PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE**

SKRIPSI

ELFAN HARIS

0806330043

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA

DEPOK

JULI 2012

Universitas Indonesia



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN WATER STORAGE DAN
PERHITUNGAN EKONOMIS PADA ACWH DENGAN ALAT
PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

ELFAN HARIS

0806330043

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**

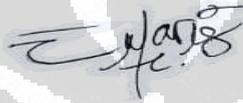
HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber yang saya kutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Elfan Haris

NPM : 0806330043

Tanda Tangan :



Tanggal : 3 Juli 2012



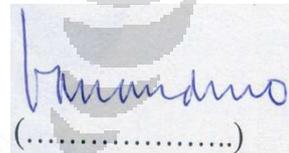
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Elfan Haris
NPM : 0806330043
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Rancang Bangun Water Storage dan Perhitungan
Ekonomis pada ACWH dengan Alat Penukar Kalor
Tipe Serpentine

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. Ir. R. Danardono A.S., D.E.A



(.....)

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra



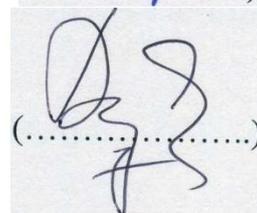
(.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, D.E.A



(.....)

Penguji : Dr. Agus Pamitran, S.T., M.Eng.



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah, Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis berkesempatan untuk menyelesaikan penelitian berjudul “Rancang Bangun Water Storage dan Perhitungan Ekonomis pada ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine”. Terima kasih juga saya ucapkan kepada :

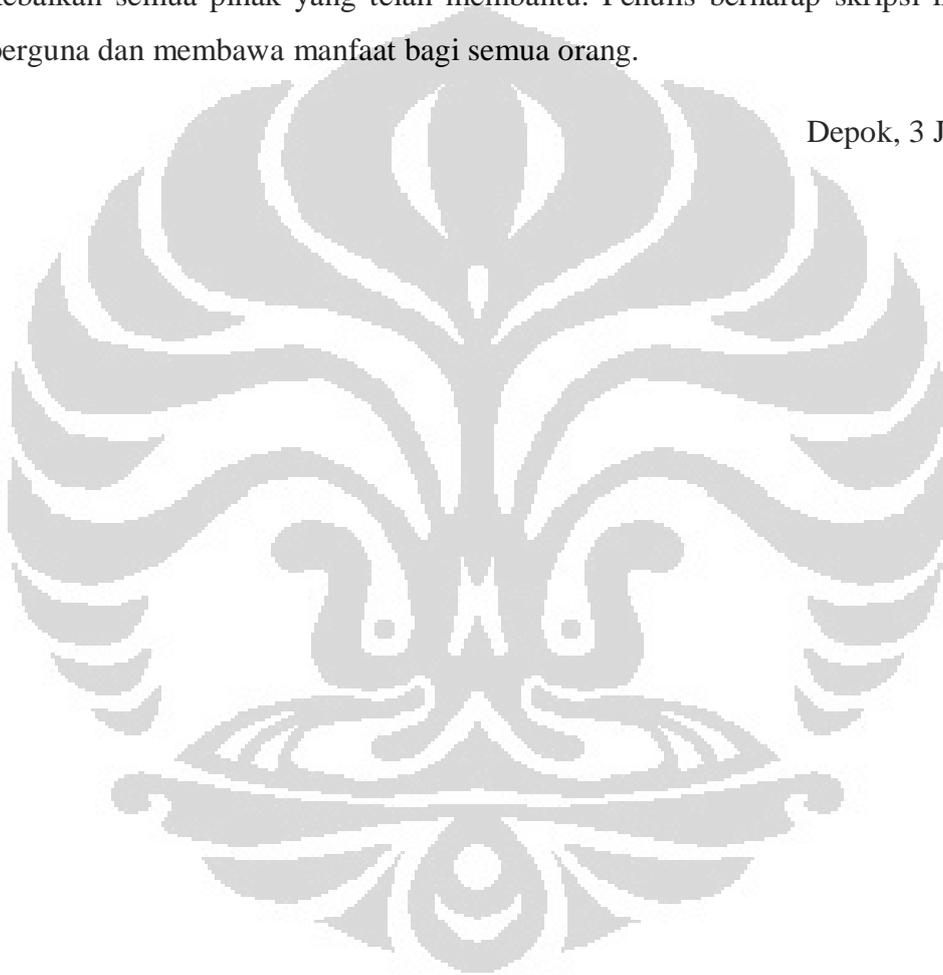
1. Dr. Ir. R. Danardono A.S., D.E.A, sebagai pembimbing I skripsi yang memberikan arahan, dan masukan yang bermanfaat untuk untuk diaplikasikan pada alat penelitian.
2. Prof. Dr.-Ing. Nandy Putra, sebagai pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak, mamah, dan A Hari yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Teman-teman di Lab Applied Heat Transfer, Mas Wayan Nata, Ary, Bimo, Gerry, Nisa, Retsa, Rio, Okta, Zein dan teman seperjuangan, Rangga yang selalu memotivasi saat pembuatan alat, pengambilan data, hingga bisa menyelesaikan penelitian ini bersama.
5. Teman-teman di Lab Refrijerasi, Hanif, Surya, Mario, Daniel, Hernadi, Rozi, Kubil, Mike, Helmi, Bang Arnas yang membantu untuk menyelesaikan alat dan menghilangkan penat selama proses pembuatan alat.
6. Tim Oishi, Deris, Citra, Ditha yang memberikan tawa canda di tengah sibuknya menjalankan tempat makan.
7. Bapak Haryanto dan Pak Engkos yang sampai turun tangan memastikan sistem alat tidak bocor.
8. Teman-teman satu lingkaran Ikbal, TB, Qie, Alif, Agus, Ardhiya, Reihan, Atik, dan Andhira yang selalu mengingatkan dalam kebaikan.

9. Ustad Ru'yat yang selalu mengingatkan untuk menyelesaikan skripsi, terimakasih ustad.
10. Teman-teman Shirushi, Mato, Reno, Ace, Reka, dan Bobby yang satu aliran dalam bermusik.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna dan membawa manfaat bagi semua orang.

Depok, 3 Juli 2012

Penulis



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

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

Nama : Elfan Haris
NPM : 0806330043
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 WATER STORAGE DAN PERHITUNGAN
EKONOMIS PADA ACWH DENGAN ALAT PENUKAR KALOR TIPE
SERPENTINE**

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 mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 3 Juli 2012

Yang menyatakan



(Elfan Haris)

ABSTRAK

Nama : Elfan Haris

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Rancang Bangun Water Storage dan Perhitungan Ekonomis pada ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine

ACWH merupakan salah satu sistem pemanas air yang hemat energi karena hanya memanfaatkan panas buang dari Air Conditioner. Kendala yang dihadapi adalah proses perawatan terhadap pipa penukar kalor yang sulit dilakukan karena tangki air dan pipa penukar kalor dibuat tetap. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan tangki penyimpanan air untuk ACWH dengan alat penukar kalor dengan tipe serpentine. Alat penukar kalor tipe serpentine merupakan tipe yang paling baik digunakan pada sistem ACWH karena menggunakan prinsip *natural convection* dimana pipa serpentine diletakkan di dasar tangki air sehingga kalor dapat berpindah dari dasar tangki menuju ke bagian atas tangki. Hal itu membuat perpindahan kalor pada air lebih merata sehingga temperatur air lebih cepat naik. Pada perancangan ini, tangki penyimpanan air dan pipa penukar kalor dapat dibongkar pasang sehingga proses perawatan dapat dilakukan dengan mudah. Dengan begitu ACWH lebih awet untuk digunakan. Selain itu perhitungan ekonomis satu unit produk ACWH dilakukan untuk mengetahui prospek dari penjualan produk ACWH ini. Biaya yang dikeluarkan untuk satu unit produk ACWH sangat terjangkau dan dapat bersaing di pasaran karena memiliki banyak kelebihan seperti waktu yang singkat untuk memanaskan air yaitu sekitar 1,5 – 2 jam, dapat melakukan proses perawatan dengan mudah, dan dapat melakukan penghematan biaya operasional dibandingkan dengan menggunakan AC dan pemanas air secara terpisah.

Kata Kunci : *S-ACWH, Natural Convection, Serpentine, Pemanas Air, Tangki Air*

ABSTRACT

Name : Elfan Haris
Study Program : Mechanical Engineering
Title : *Water Storage Design and Economics Calculation on ACWH with Serpentine Heat Exchanger*

ACWH is one of the water heating systems that has a minimum energy requirements because it only utilizing waste heat from the Air Conditioner. Maintenance process for the heat exchanger pipe is difficult because the water tank and heat exchanger pipe is made permanently. This study has been conducting the design of water storage tank for ACWH with serpentine type heat exchanger. Serpentine type heat exchanger are best used on the Air Conditioner Water Heater system because it uses the principle of natural convection where serpentine pipe placed at the bottom of the water tank, so the heat can move from the bottom to the top of the tank. It makes the heat transfer in water more effective and the temperature of the water rises faster. On this design, water storage tanks and heat exchanger pipe can be assembling, so that the maintenance process can be done easily. Besides, the economic calculation of the S-ACWH product conducted to determine the prospects of sales of these S-ACWH products. The costs for a unit of S-ACWH product are very affordable and can compete in the market because it has many advantages such as short time to heat the water, it's around 1,5-2 hours, we can maintenance the water storage and the heat exchanger, and we can saving our money for the operational cost compared with the use of air conditioning and heating water separately.

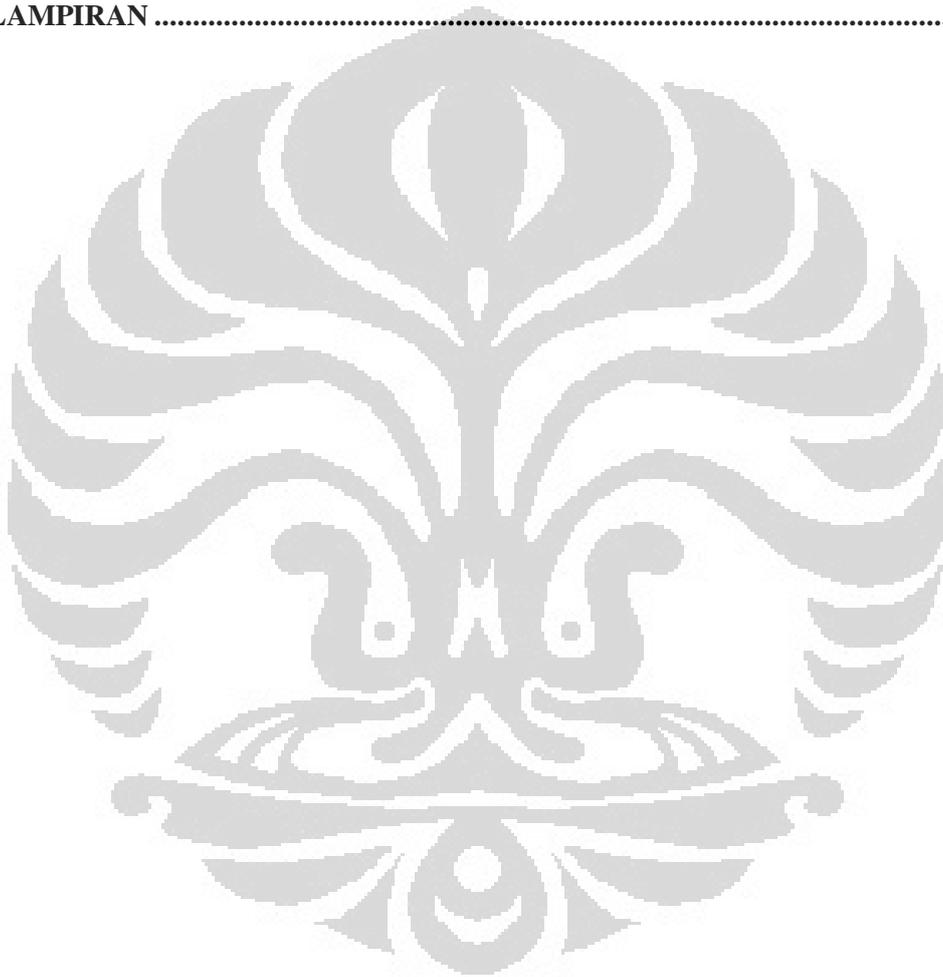
Key Words: *S-ACWH, Natural Convection, Serpentine Tube, Water Heater, Water Storage*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Penelitian.....	5
1.5 Metodologi Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1.1 Electric Water Heater	7
2.1.2 Gas Water Heater	8
2.1.3 Solar Water Heater.....	9
2.1.4 Air Conditioner Water Heater.....	10
2.2 Penelitian ACWH Sebelumnya	12
2.2.1 ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass.....	12
2.2.2 ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass.....	13
2.2.3 ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass.....	13
2.2.4 ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass	14
2.2.5 ACWH dengan Pipa Helical 3 Luan	14
2.2.6 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 14 Lembar	15
2.2.7 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 30 Lembar	17
2.3 Denah Ruang Apartemen	19
2.4 Dasar Perhitungan Tangki.....	20

2.4.1	Perhitungan Ketebalan Tangki.....	20
2.4.2	Perhitungan Diameter Baut.....	21
BAB 3	PERANCANGAN WATER STORAGE.....	22
3.1	Desain Alat Penukar Kalor.....	22
3.2	Desain Water Storage	23
3.2.1	Konsep Desain Water Storage	23
3.2.2	Desain Untuk Perakitan.....	25
3.2.3	Pemilihan Material Dinding Water Storage.....	26
3.2.4	Komponen Water Storage	27
3.3	Desain Manufaktur dan Perakitan S-ACWH.....	31
3.4	Pengujian Alat	34
3.4.1	Jenis AC yang digunakan	36
3.4.2	Alat Penukar Kalor.....	37
3.4.3	Alat Pengukuran dan Pengambilan Data	38
3.4.4	Logo S-ACWH	38
3.5	Prosedur Pengambilan Data	38
3.6	Prosedur Pengolahan Data Dalam Penelitian	42
BAB 4	PENGOLAHAN DATA DAN PERHITUNGAN EKONOMIS S-ACWH.....	44
4.1	Dimensi Tangki	44
4.2	Perhitungan Ketebalan Tangki	45
4.3	Perhitungan Baut	47
4.4	Analisa Grafik Karakterisasi S-ACWH	48
4.5	Perhitungan Kerja Kompresor	49
4.6	Perhitungan q Kondenser	49
4.7	Perhitungan COP dan Efektifitas.....	52
4.7.1	Perhitungan COP	52
4.7.2	Perhitungan efektifitas	52
4.8	Harga AC di Pasaran.....	53
4.9	Perhitungan Biaya Produk S-ACWH.....	55
4.9.1	Perhitungan Harga <i>Water Storage</i>	55
4.9.2	Perhitungan Harga 1 Unit S-ACWH Lengkap.....	56
4.9.3	Perhitungan Harga 1 Unit S-ACWH dengan sistem kontrol	57
4.9.4	Perhitungan Biaya Operasional.....	59

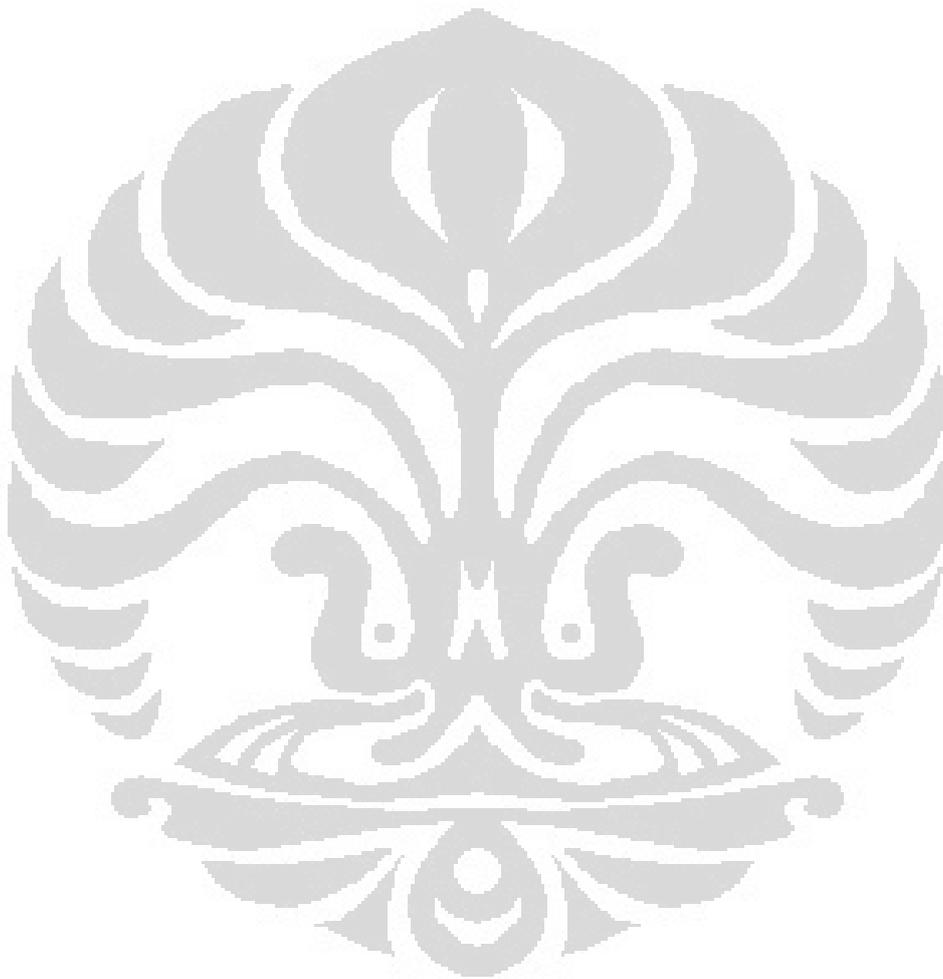
4.10	Analisa S-ACWH dengan Desain Water Storage yang Dapat di Bongkar Pasang	60
4.11	Analisa Perhitungan Ekonomis S-ACWH	60
4.12	Analisa Break Even Point S-ACWH	61
BAB 5	KESIMPULAN.....	64
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran	65
	DAFTAR REFERENSI	66
	LAMPIRAN	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemanas air listrik.....	8
Gambar 2.2 Pemanas air berbahan bakar gas	9
Gambar 2.3 Cara kerja solar water heater	10
Gambar 2.4 Siklus ACWH	11
Gambar 2.5 Skema ACWH dengan pipa koil 1 shell pass	13
Gambar 2.6 Skema ACWH dengan pipa helical 2 shell pass	14
Gambar 2.7 Skema ACWH dengan pipa helical 3 laluan	15
Gambar 2.8 Skema pengujian ACWH 14 Plat.....	16
Gambar 2.9 Skema dan alat ACWH dengan PHE 14 Plat	16
Gambar 2.10 Skema pengujian ACWH HCWS	18
Gambar 2.11 Skema dan alat ACWH dengan helical coil water storage	18
Gambar 2.12 Denah ruang apartemen	20
Gambar 3.1 Alat penukar kalor tipe serpentine	22
Gambar 3.2 Alur DFMA	23
Gambar 3.3 Tutup tangki berbentuk lingkaran	24
Gambar 3.4 Tutup tangki berbentuk U.....	24
Gambar 3.5 Tutup tangki berbentuk oval	25
Gambar 3.6 Bagian dalam water storage	27
Gambar 3.7 Tampak Atas Water Storage	28
Gambar 3.8 Tampak samping water storage	28
Gambar 3.9 Gambar proyeksi bagian dalam water storage	28
Gambar 3.10 CAD baut M8	29
Gambar 3.11 CAD nut M8	29
Gambar 3.12 CAD Double nipple.....	29
Gambar 3.13 CAD Double nipple.....	30
Gambar 3.14 Bagian belakang water storage	31
Gambar 3.15 Bagian depan water storage	31
Gambar 3.16 a. Double nipple, b. Nut, c. Double nipple dipasang pada tutup tangki yang berbentuk oval	32
Gambar 3.17 Seal karet untuk mencegah terjadinya kebocoran	33
Gambar 3.18 Tube serpentine dan tutup tangki dipasang pada badan tangki	33
Gambar 3.19 Perakitan <i>water storage</i>	33
Gambar 3.20 Modifikasi pipa refrigeran AC pada S-ACWH.....	34
Gambar 3.21 Alat pengujian.....	35
Gambar 3.22 Skema alat pengujian	35
Gambar 3.23 Desain letak alat pengujian	35
Gambar 3.24 Air Conditioning	37
Gambar 3.25 Alat penukar kalor tipe pipa serpentine	37
Gambar 3.26 Pipa serpentine di dalam water storage	37
Gambar 3.27 Logo S-ACWH	38
Gambar 3.28 Skema pengambilan data	40
Gambar 3.29 (a) <i>Pressure gauge</i> pada <i>evaporator in</i> dan <i>out</i> (b) <i>Pressure gauge</i> pada alat penukar kalor <i>in</i> dan <i>out</i>	40

Gambar 3.30 (a) Posisi termokopel pada tangki air penyimpanan, (b) Posisi termokopel pada kabin.....	41
Gambar 3.31 (a) Posisi termokopel pada <i>evaporator in</i> dan <i>out</i> , (b) Posisi termokopel pada alat penukar kalor <i>in</i> dan <i>out</i>	41
Gambar 3.32 Posisi termokopel untuk pengukuran temperatur lingkungan.....	42
Gambar 4.1 Gaya yang bekerja pada <i>water storage</i>	45
Gambar 4.2 Grafik temperatur 1800 Watt 1 PK	48
Gambar 4.3 P-H Diagram.....	50



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi PHE CB26-14H	15
Tabel 2.2 Spesifikasi PHE CB26-30H	17
Tabel 3.1 Perbandingan laju korosi beberapa jenis material	26
Tabel 3.2 Perbandingan properties material	26
Tabel 4.1 Harga AC di pasaran.....	53
Tabel 4.2 Perhitungan biaya electric water heater hingga bulan 7.....	61
Tabel 4.3 Perhitungan biaya electric water heater hingga bulan 14.....	61
Tabel 4.4 Perhitungan biaya S-ACWH hingga bulan 7.....	62
Tabel 4.5 Perhitungan biaya S-ACWH hingga bulan 14.....	62



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi kini tengah menjadi isu hangat di belahan dunia manapun dan Indonesia pada khususnya. Krisis tersebut diakibatkan dari pemakaian energi berbahan bakar fosil yang harganya kini telah melambung tinggi karena ketersediaan yang semakin langka. Dampaknya, pemerintah akan mencabut subsidi bahan bakar minyak sehingga harga bahan bakar akan naik. Meskipun kenaikan harga BBM mengalami penundaan, harga BBM bisa dipastikan akan naik untuk mengimbangi harga minyak dunia yang terus melonjak. [1]

Terlalu mudahnya untuk mendapatkan bahan bakar dengan harga yang murah menjadi pemicu pencabutan subsidi bahan bakar minyak. Dengan begitu, masyarakat akan terlalu bergantung pada bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui sehingga sumber energi lain tidak dieksplorasi lebih dalam lagi. Padahal Indonesia kaya akan sumber daya alam dan potensi untuk mendapatkan energi alternatif sangatlah besar. Selain itu, penggunaan bahan bakar minyak berlebihan akan menimbulkan polusi dan berdampak pada pemanasan global. [2]. Sebanyak 70-75% CO₂ dari total emisi gas buang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil. Jumlah CO₂ yang semakin hari semakin meningkat akan mengakibatkan terjadinya fenomena efek emisi gas rumah kaca.[3]

Di tengah krisis energi seperti ini, pemanfaatan energi secara optimum harus dilakukan dengan sebaik-baiknya. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan kembali energi yang dibuang atau biasa disebut dengan konservasi energi. Konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dan serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Manfaat yang diperoleh dengan diterapkannya efisiensi energi diantaranya adalah penghematan energi fosil yang selama ini digunakan untuk menghasilkan listrik, pengurangan emisi gas rumah kaca yang merusak lingkungan hidup, hingga penghematan biaya listrik.[4]

Salah satu contoh energi yang di buang begitu saja ke lingkungan yang terjadi di sekitar kita dapat kita temukan pada pemakaian AC atau *Air Conditioner* dimana panas dari aliran refrigeran yang keluar dari kompresor dibuang begitu saja ke lingkungan tanpa dimanfaatkan lebih lanjut.

Salah satu aplikasi pemanfaatan kembali energi yang dibuang pada sistem AC adalah dengan *Air Conditioner Water Heater* (ACWH) yaitu dengan memanfaatkan panas buang dari kompresor AC untuk memanaskan air sehingga bisa digunakan untuk mandi dan keperluan lainnya yang membutuhkan air hangat. Sistem ini bekerja dengan menggunakan alat penukar kalor yang dipasang pada sistem AC sehingga tidak membutuhkan energi tambahan, tetapi memanfaatkan energi yang ada dalam sistem. Dengan menggunakan sistem ini, kita memiliki dua keuntungan sekaligus yaitu efek pendinginan ruangan dan efek pemanasan air yang hemat energi.

Penelitian terhadap ACWH memang sudah dilakukan sebelumnya dan sudah mengalami perbaikan untuk meningkatkan efektifitas dari perpindahan panas yang terjadi pada tube *heat exchanger*. *Heat exchanger* tipe *serpentine* merupakan tipe HE yang paling baik diantara tipe lainnya. Oleh karena itu penulis ingin meningkatkan pemakaian ACWH dengan HE bertipe *serpentine* dibandingkan dengan jenis lain, karena biaya yang diperlukan sangat kecil, dan waktu yang diperlukan untuk memanaskan air lebih singkat serta dapat mengurangi konsumsi listrik yang berdampak pada penghematan energi dan pengurangan efek dari pemanasan global. Selain itu penulis mencoba untuk membuat desain *water storage* atau tangki penyimpanan air yang lebih baik sehingga proses perawatan lebih mudah dilakukan.

ACWH sangat berpotensi digunakan di perumahan dan apartemen. Hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya rumah dan apartemen yang menggunakan AC sekaligus pemanas air elektrik maupun pemanas air dengan tenaga surya. Selain itu pembangunan perumahan dan apartemen di kota besar mengalami pertumbuhan yang sangat pesat, sehingga peluang dalam memasarkan produk ACWH juga akan semakin besar.

Penduduk Indonesia yang terus bertambah akan menyebabkan permintaan terhadap tempat tinggal bertambah pula. Dampaknya, perumahan dan apartemen banyak dibangun terutama di kota-kota besar. Apartemen menjadi pilihan warga ibukota karena memiliki kelebihan seperti lokasi yang dekat dengan gedung perkantoran, fasilitas yang lengkap dan nyaman untuk dihuni. Dengan kelebihan-kelebihan tersebut wajar bila banyak pengusaha dan eksekutif muda yang ingin tinggal di apartemen. Dari data harian Seputar Indonesia, populasi jumlah apartemen yang dibangun terus meningkat, dimana saat ini diperkirakan jumlahnya sebanyak 100.000 lebih unit apartemen dan akan terus meningkat melihat iklim investasi di Indonesia yang masih baik. [5]

Di kota besar seperti Jakarta yang memiliki temperatur cukup tinggi membuat perumahan dan apartemen-apartemen dilengkapi dengan AC. AC ini kebanyakan digunakan oleh para penghuni apartemen pada malam hari saat mereka tidur sehingga cukup nyaman untuk beristirahat dan melepas lelah setelah bekerja seharian. Kemudian pada pagi hari mereka biasanya mandi dengan air hangat untuk mengembalikan kesegaran dan melakukan aktivitas berikutnya.

Air hangat untuk keperluan mandi dan lainnya tersebut bisa didapatkan dari berbagai cara seperti langsung memasak air ataupun menggunakan alat pemanas air atau *water heater*. *Water heater* yang digunakan biasanya menggunakan energi listrik, gas LPG, atau dengan *solar collector*. Namun jenis *water heater* tersebut memiliki beberapa kekurangan diantaranya:

1. *Electric Water Heater* : Pemanas air dengan energi listrik berpotensi menimbulkan bahaya tersengat listrik ataupun korsleting.
2. *Gas Water Heater* : Pemanas air dengan energi gas berpotensi menimbulkan bahaya ledakan dan kebakaran
3. *Solar water heater* : Pemanas air jenis ini hanya bisa mengumpulkan panas saat cuaca cerah dan peralatan yang digunakan untuk tipe ini sangat mahal.

Menggunakan AC dan *water heater* secara terpisah memakan biaya yang tidak ekonomis. Biaya yang dikeluarkan untuk kedua alat tersebut akan lebih

tinggi terutama bila dilihat dari biaya operasional sehari-hari. Sehingga dengan sistem ACWH, kita bisa melakukan penghematan baik dari energi maupun biaya yang harus kita bayarkan. Dari penelitian ACWH untuk penghematan energi di apartemen, sistem pada ACWH ini mampu mengurangi hingga 70% energi yang dikonsumsi dibandingkan bila menggunakan AC dan *water heater* secara terpisah selama satu tahun.[6]

Melihat prospek penggunaan ACWH yang sangat baik, peluang untuk memasarkan ACWH dengan HE bertipe *serpentine* sangat besar. Selain itu penggunaan HE *serpentine* akan meningkatkan efektifitas perpindahan kalor, waktu yang lebih singkat, dan bisa melakukan penghematan biaya operasional sehingga bisa menjadi produk yang bersaing untuk dipasarkan ke perumahan dan apartemen.

1.2 Perumusan Masalah

Pemanas air dengan alat penukar kalor tipe *serpentine* merupakan pemanas air yang paling baik dibandingkan jenis lainnya. Namun, proses perawatan terhadap pipa *heat exchanger* dan bagian dalam tangki penampung air masih sulit dilakukan. Hal tersebut terjadi karena tangki air dan pipa *heat exchanger* dibuat permanen. Untuk itu pada penelitian ini penulis akan membuat desain tangki penampung air yang lebih baik agar bisa melakukan perawatan terhadap pipa *heat exchanger*. Selain itu, penulis akan mencoba membuat peninjauan dari segi ekonomi sehingga produk ACWH dengan alat penukar kalor tipe *serpentine* atau S-ACWH bisa bersaing dengan produk *water heater* lainnya dan dijual kepada masyarakat.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang *water storage* pada S-ACWH yang bisa di pasang dan dilepas dengan mudah untuk memudahkan perawatan pipa *heat exchanger* dan kemudian dilakukan pengujian unjuk kerja S-ACWH tersebut. Selain daripada itu, dalam penelitian ini penulis akan mencoba mengkalkulasikan biaya produk S-ACWH sehingga bisa bersaing dengan produk lainnya.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Unit *Air Conditioning* yang digunakan memiliki daya 1PK
2. Beban pendinginan menggunakan lampu pijar dengan beban 1800 Watt untuk mensimulasikan beban pendinginan.
3. Pengukuran yang terdapat pada pengujian meliputi pengukuran temperatur air, refrigeran dan ruangan serta pengukuran tekanan refrigeran di dalam sistem *Air Conditioning*.
4. Membuat desain water storage yang lebih mudah untuk proses perawatan, namun pada penelitian ini penulis memodifikasi water storage yang sudah ada sebagai *prototype* produk.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Studi Literatur
Studi literatur merupakan proses pembelajaran bahan-bahan yang berhubungan dengan materi bahasan dari buku ajar, jurnal ilmiah, dan situs-situs internet
- 2) Desain dan Instalasi Sistem Pemipaan ACWH
Desain water storage yang bisa dibongkar pasang sehingga lebih mudah dalam segi perawatan dan instalasi sistem pemipaan S-ACWH yang lebih compact bertujuan untuk meningkatkan kinerja dari S-ACWH.
- 3) Pengujian S-ACWH
Unjuk kerja alat dilakukan dengan proses kalibrasi termokopel, pengambilan data temperatur dan tekanan pada alat uji
- 4) Perhitungan Ekonomis, Analisa Data, dan Kesimpulan Pengujian
Biaya produk S-ACWH dikalkulasikan sehingga dapat diketahui harga jual satu unit produk S-ACWH. Data yang didapat dari pengujian diolah untuk mendapatkan grafik pengujian S-ACWH. Dari grafik tersebut akan dilakukan analisa yang menggambarkan karakteristik unjuk kerja sistem S-ACWH sehingga dapat ditarik kesimpulan dari proses pengujian yang dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan mengenai jenis *water heater* yang ada di pasaran, prinsip kerja ACWH, penelitian mengenai ACWH sebelumnya, denah apartemen, serta dasar teori perhitungan ketebalan tangki dan perhitungan baut.

BAB III PERANCANGAN WATER STORAGE

Bab ini berisi desain baru *water storage* yang bisa dibongkar pasang serta komponen-komponen pada *water storage*, instalasi S-ACWH, pengujian alat, prosedur pengambilan data, dan prosedur pengolahan data.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PERHITUNGAN EKONOMIS S-ACWH

Bab ini berisi analisa hasil pengujian sistem S-ACWH yang meliputi pengolahan data, analisa efektivitas S-ACWH, unjuk kerja S-ACWH, dan perhitungan ekonomis dari satu unit produk S-ACWH.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pemanas air yang berada di pasaran memiliki berbagai jenis dan memiliki keunggulan serta kelebihan masing-masing. Beberapa jenis pemanas air yang dijual dipasaran adalah sebagai berikut:

2.1.1 Electric Water Heater

Electric Water Heater adalah pemanas air yang menggunakan energi listrik untuk memanaskan air. Terdapat dua jenis pemanas listrik ini yaitu dengan tangki penyimpanan air dan tanpa tangki atau *tankless*. Dahulu masih banyak ditemukan pemanas air listrik dengan tangki. Pemanas air dengan tangki memiliki bentuk yang besar dan biasanya berbentuk bundar horizontal atau vertikal. Karena bentuknya yang besar, kebanyakan orang meletakkannya diluar kamar mandi namun ada juga yang menggantungkannya didalam kamar mandi.

Cara kerja pemanas air listrik ini sederhana. Bentuk tangki yang bulat dan besar itu adalah tangki air untuk menyimpan cadangan air panas yang belum terpakai. Oleh karena air panas bisa tersedia saat pertama kali dialirkan. Pemanas air listrik dilengkapi dengan adanya *thermostat* sehingga sistem dapat mati/hidup secara otomatis.

Jika air di dalam tangki lama tidak dipakai, temperatur air akan mengalami penurunan. Untuk menjaga temperatur air tetap cukup panas, ketika air mulai mendingin, elemen pemanas air akan kembali hidup untuk memanaskan air didalam tangki dan mencapai temperatur tertentu. Begitu seterusnya berulang-ulang sehingga menggunakan pemanas air jenis ini umumnya lebih boros biaya listrik, terlebih lagi di rumah yang berpenghuni sedikit atau jarang dipakai.

Harga pemanas air listrik bertangki relatif cukup mahal berkisar antara 2 hingga 5 juta tergantung kapasitas tangki air. Harga yang relatif mahal tersebut dikarenakan bentuk yang besar serta konstruksi tabungnya yang harus bebas karat

dan juga memerlukan pembungkus dengan bahan khusus yang gunanya untuk menjaga agar tidak banyak panas yang terbuang.

Kini banyak digunakan pemanas air listrik tanpa tangki. Pemanas air ini memiliki bentuk yang kecil dan mudah untuk dipasang. Namun yang perlu diperhatikan adalah pemanas air jenis ini mengkonsumsi listrik sangat besar hingga mencapai 2.000 Watt. Pemanas air listrik ini memerlukan daya besar untuk bisa menyediakan air panas secepat mungkin begitu diperlukan karena tidak mempunyai cadangan air panas yang siap pakai. Dengan daya yang besar seperti itu maka biaya yang harus dikeluarkan pun akan bertambah pula.



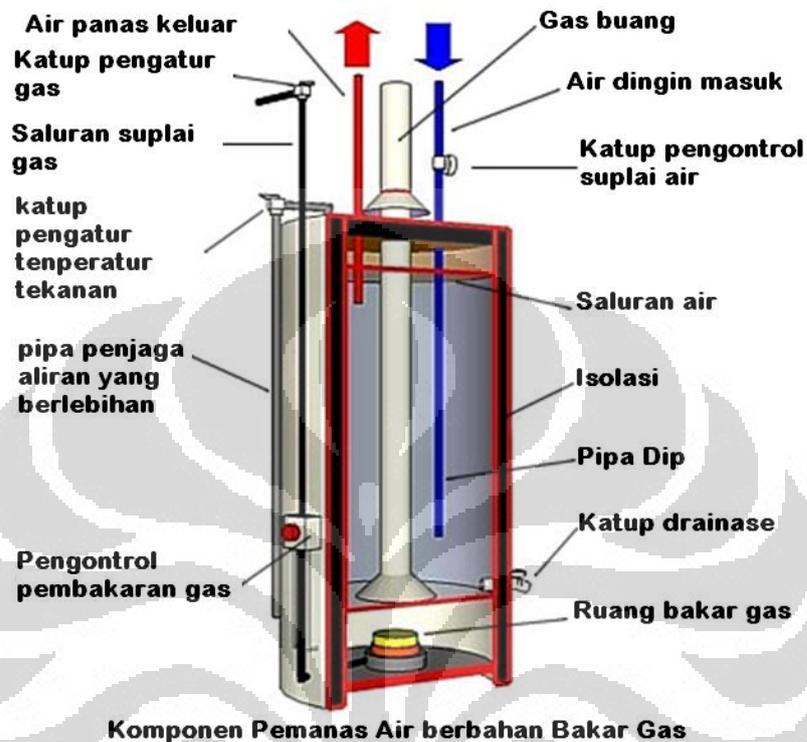
Gambar 2.1 Pemanas air listrik

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

2.1.2 Gas Water Heater

Gas Water Heater bekerja dengan menggunakan energi gas yang dibakar sehingga bisa memanaskan air yang dilewatkan pada pipa-pipa saluran air di dalam tangki yang sudah diisolasi. Pada bagian bawah tangki tersebut dilengkapi dengan burner yang berfungsi untuk membakar gas sehingga dapat menghasilkan panas yang akan ditransferkan pada pipa-pipa saluran air di atasnya. Untuk memperluas bidang perpindahan panas biasanya ditambahkan sirip-sirip. Bagian atas tangki terdapat cerobong sebagai tempat keluarnya asap hasil pembakaran.

Walaupun asapnya tidak terlihat, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berbahaya, namun bila terakumulasi dalam jumlah yang banyak tetap akan berbahaya terlebih lagi bila dalam kamar mandi tidak terdapat lubang ventilasi.



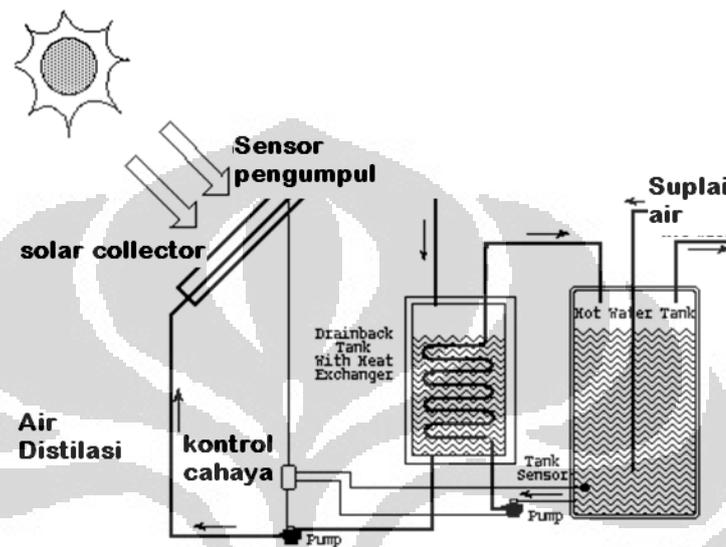
Gambar 2.2 Pemanas air berbahan bakar gas

Sumber : http://www.colonyplumbing.net/wtr_htr_gas_noted_leaders.jpg

2.1.3 Solar Water Heater

Pemanas air jenis ini menggunakan panas matahari untuk memanaskan air. jenis ini merupakan jenis yang ramah lingkungan karena menggunakan radiasi panas matahari sebagai sumber energinya. Prinsip kerja pemanas air ini adalah dengan memanfaatkan energi radiasi matahari yang diserap oleh absorber, kemudian air panas ditampung di dalam tangki yang diisolasi. 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.

Harga alat ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan tipe lainnya. Harga alat ini berkisar dari belasan hingga dua puluhan juta tergantung dari kapasitas tangki penyimpanan air. Ongkos pasangannya pun relatif mahal karena perlu dipasang di tempat yang tinggi, tidak terhalang bangunan atau pohon sehingga bisa menerima paparan sinar matahari secara maksimal.

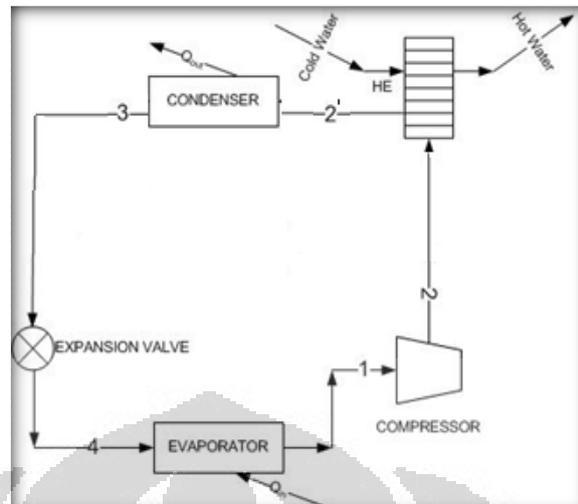


Gambar 2.3 Cara kerja solar water heater

Sumber : <http://manualinks.com/wp-content/uploads/2011/09/solar-water-heating1.gif>

2.1.4 Air Conditioner Water Heater

Air Conditioner Water Heater adalah sistem pemanas air 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. Dengan begitu, dibutuhkan penukar kalor yang dapat memindahkan kalor seoptimal mungkin dengan *pressure drop* yang kecil.



Gambar 2.4 Siklus ACWH

Prinsip kerja ACWH adalah:

- Proses 1-2:
Refrigeran dalam bentuk vapor dihisap kompresor kemudian ditekan sehingga tekanan dan temperatur refrigeran naik.
- Proses 2-2':
Refrigeran yang memiliki temperatur tinggi mengalami perpindahan panas dengan air pada 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*

Dengan menggunakan ACWH, kerja kondenser lebih ringan karena kalor diserap oleh air pada tangki. Selain itu, dengan bertambahnya jumlah kalor yang dibuang, beban pendinginan (*cooling load*) dapat ditambah dengan kerja kompresor yang sama. Namun jika beban pendinginan tidak ditambah, refrigeran yang masuk ke dalam kompresor masih berada dalam kubah uap (berfasa campuran antara *liquid* dan *vapor*) sehingga dapat merusak kompresor.

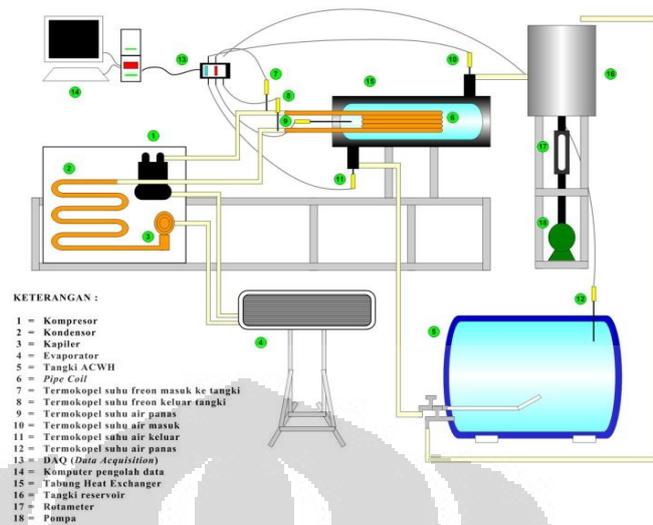
Berdasarkan standar temperatur air panas untuk kepentingan mandi dan mencuci tangan, maka temperatur yang harus dicapai oleh sistem ACWH adalah 40-45°C. Sedangkan untuk kepentingan mandi, rata-rata seorang dewasa membutuhkan air 50L.[7]

2.2 Penelitian ACWH Sebelumnya

Penelitian ACWH ini telah dilakukan sebelumnya oleh Heat Transfer Research Group Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. 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:

2.2.1 ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass

ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass menggunakan pipa tembaga berukuran 3/8 inchi dengan panjang 5 meter sebagai alat penukar kalornya. ACWH tipe ini menghasilkan temperatur air keluar sebesar 44,95°C pada laju aliran 50 L/hr dan 31,52°C pada laju aliran 200 L/hr. Alat ini memerlukan ruang yang cukup besar untuk instalasi dan penggunaannya karena banyak komponen yang digunakan.



Gambar 2.5 Skema ACWH dengan pipa koil 1 shell pass

2.2.2 ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass

ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass menggunakan pipa tembaga 3/8 inch sepanjang 5 meter yang digulung menjadi gulungan berbentuk *helical*. Skema alat pengujian dan proses pengujiannya tidak berbeda dengan ACWH dengan pipa koil 1 Shell Pass.

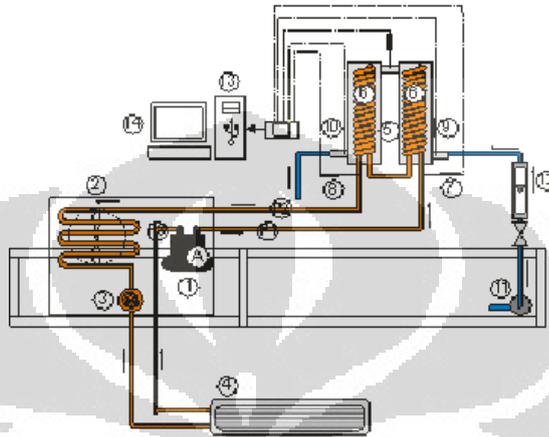
Air Conditioning Water Heater dengan Pipa Helical 1 Shell Pass menghasilkan air panas pada temperatur 53,91°C pada laju aliran 50 L/hr dan 37,17°C pada laju aliran 200 L/hr. Namun permasalahan yang sama akan penggunaan ruang yang besar masih sama terjadi pada penelitian ini.

2.2.3 ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass

Penelitian selanjutnya adalah pengembangan ACWH dengan Pipa Koil dengan 2 Shell Pass. Pada penelitian ini, air panas yang dihasilkan sebesar 48,38°C pada laju aliran 50 L/hr dan 29,60°C pada laju aliran 200 L/hr. Karena menggunakan 2 tabung *heat exchanger* sehingga diperlukan ruangan yang lebih besar daripada Pipa Koil 1 Shell Pass.

2.2.4 ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass

Pengembangan ACWH dilakukan pada pipa *helical* dengan menggunakan Pipa Helical 2 Shell Pass. Pada penelitian kali ini air panas yang dihasilkan sebesar $47,65^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran 50 L/hr dan $31,07$ pada aliran 200 L/hr.

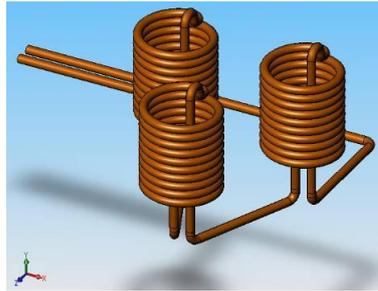


Gambar 2.6 Skema ACWH dengan pipa helical 2 shell pass

2.2.5 ACWH dengan Pipa Helical 3 Lalan

Pengembangan ACWH selanjutnya lebih difokuskan pada pipa helical karena waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air lebih cepat dibandingkan jenis lainnya. Pengembangan alat ini dilakukan dengan menggunakan Pipa Helical 3 lalan yang disusun seri.

Pengujian ini 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.



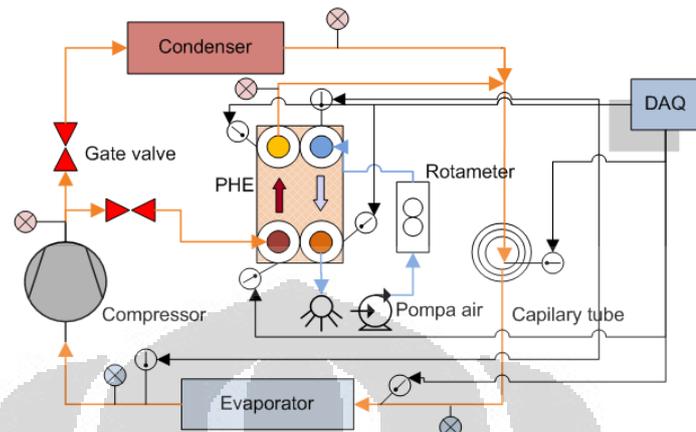
Gambar 2.7 Skema ACWH dengan pipa helical 3 laluan

2.2.6 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 armaflex 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	⁰ C
Tekanan kerja max S3-S4/S1-S2	30/30	bar
Volume per kanal	0,059	L
<i>Flowrate</i> 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 2.8 Skema pengujian ACWH 14 Plat



Gambar 2.9 Skema dan alat ACWH dengan PHE 14 Plat

2.2.7 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

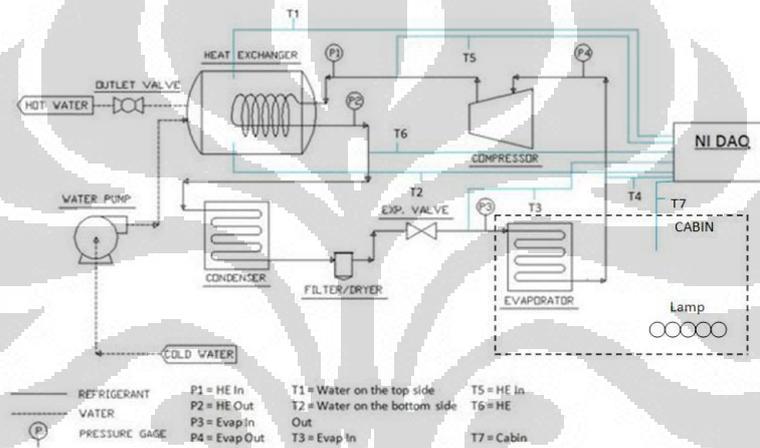
Air panas yang dihasilkan oleh air conditioner water heater menggunakan PHE 30 Plat sebesar 48,12°C pada laju aliran 50 L/hr dan 37,17°C pada laju aliran 200 L/hr

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
<i>Flowrate</i> 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

Pada penelitian ini, digunakan alat penukar kalor dengan tipe *helical coil* yang diletakkan di dalam tangki penyimpanan air. Sehingga, panas buang yang dihasilkan oleh AC 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 dm³.

Pengujian yang dilakukan, dengan AC berdaya 1 PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur 49-56⁰C. Kemudian, dengan AC berdaya 3/4 PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur 47-52⁰C.



Gambar 2.10 Skema pengujian ACWH HCWS



Gambar 2.11 Skema dan alat ACWH dengan helical coil water storage

2.3 Denah Ruang Apartemen

Apartemen memiliki denah lokasi yang bervariasi. Lokasi antara kamar mandi dan kamar tidur ada yang berdekatan dan ada juga yang berjauhan. Lokasi kondenser biasanya berada di balkon luar, sehingga untuk memudahkan pemasangan pipa pada S-ACWH, lokasi kamar mandi harus berada dekat dengan kondenser yaitu dekat dengan balkon luar. Konsekuensi bagi kondenser yang berjauhan dengan kamar mandi adalah instalasi yang relatif lebih sulit dan terjadinya pressure drop.

Unit-unit apartemen di Jakarta memiliki denah ruangan yang berbeda-beda. Instalasi S-ACWH akan mudah apabila pada unit apartemen tersebut memiliki posisi kondenser AC yang dekat dengan kamar mandi. Hal ini dapat mengurangi kerugian kalor dan penurunan tekanan yang berlebihan serta kemudahan dalam instalasi. Pada gambar 2-12 dapat dilihat denah salah satu unit apartemen Kalibata Residence di daerah Jakarta Selatan.

Kondenser atau unit *outdoor* biasa diletakkan di bagian balkon apartemen. Dari gambar 2.12, denah unit apartemen tersebut menunjukkan posisi balkon berada di sebelah kamar mandi. Posisi tersebut sangat menguntungkan karena jarak kondenser dan water storage lebih dekat sehingga memudahkan proses instalasi. Tiap unit apartemen memiliki denah yang berbeda-beda sehingga tingkat kerumitan pemasangan S-ACWH tiap unit apartemen berbeda pula.

Dari survey ke beberapa apartemen diperoleh informasi bahwa rata-rata memiliki AC dan pemanas air yang terpisah. Sehingga apabila diterapkan sistem S-ACWH pada apartemen diperkirakan memiliki pangsa pasar yang luar biasa besarnya.



Gambar 2.12 Denah ruang apartemen

2.4 Dasar Perhitungan Tangki

2.4.1 Perhitungan Ketebalan Tangki

Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan ketebalan tangki.

$$T = \frac{P_i \cdot d \cdot SF}{2 \cdot f_t} \quad (2.1)$$

Dimana,

P_i = Internal Pressure

f_t = maximal allowable stress of material

SF = safety factor

d = Diameter Tangk

2.4.2 Perhitungan Diameter Baut

Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan diameter baut.

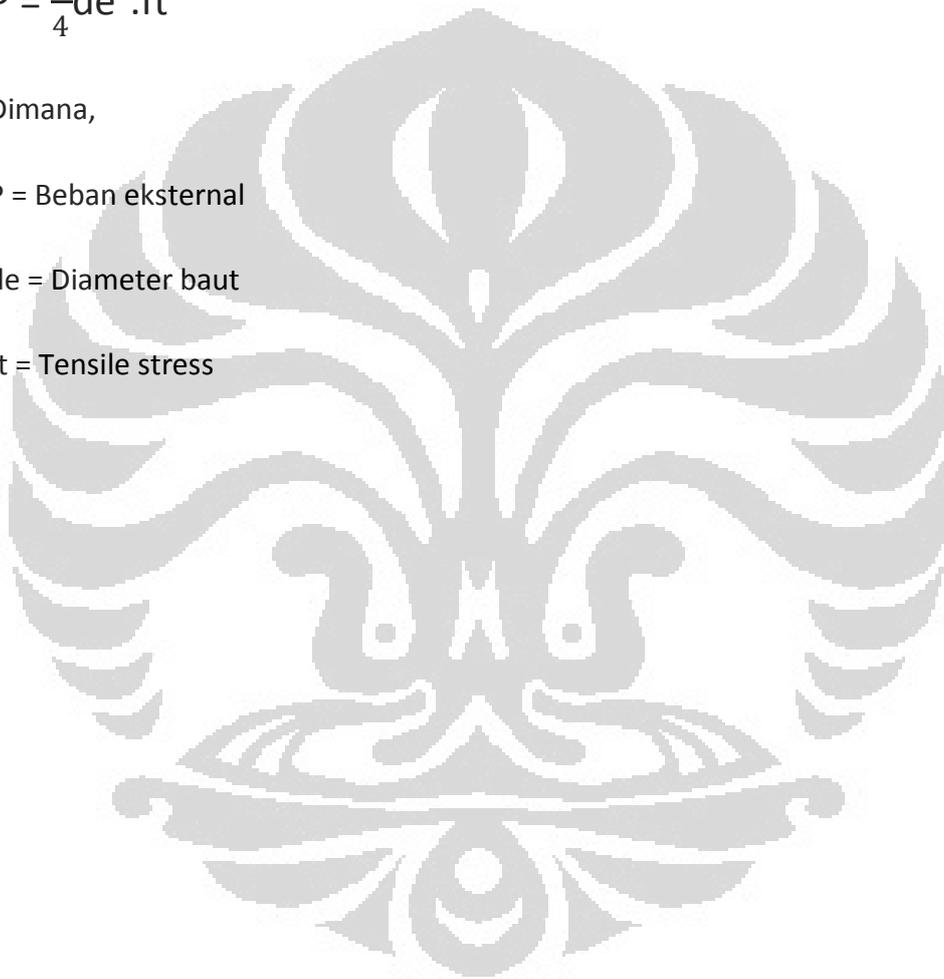
$$P = \frac{\pi}{4} d_e^2 \cdot f_t \quad (2.2)$$

Dimana,

P = Beban eksternal

d_e = Diameter baut

f_t = Tensile stress



BAB 3

PERANCANGAN WATER STORAGE

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat desain *water storage* baru pada sistem ACWH dengan *heat exchanger* bertipe *serpentine* sehingga HE dapat di bongkar pasang dengan mudah. Dengan begitu, proses perawatan terhadap HE akan lebih mudah dilakukan sehingga *Serpentine-ACWH* lebih awet digunakan.

Pada sistem S-ACWH, setelah keluar dari kompresor refrigeran memiliki suhu yang tinggi dan akan mengalami perpindahan kalor dengan air yang memiliki suhu rendah dalam *water storage*. Pengujian terhadap S-ACWH pun dilakukan untuk mengetahui efektifitas alat dan seberapa besar perpindahan panas yang terjadi pada refrigeran dan air dalam tangki.

3.1 Desain Alat Penukar Kalor

Pada penelitian ini *heat exchanger* yang digunakan sama dengan penelitian S-ACWH sebelumnya yaitu *heat exchanger* tipe *serpentine*. Pipa *serpentine* yang digunakan adalah pipa tembaga dengan diameter 1/4 inch, dengan 14 laluan dan panjang 8 meter. Kemudian, alat penukar kalor tersebut diletakkan di dasar tangki air yang memiliki kapasitas sebesar 50 liter yang nantinya akan digunakan untuk memanaskan air.

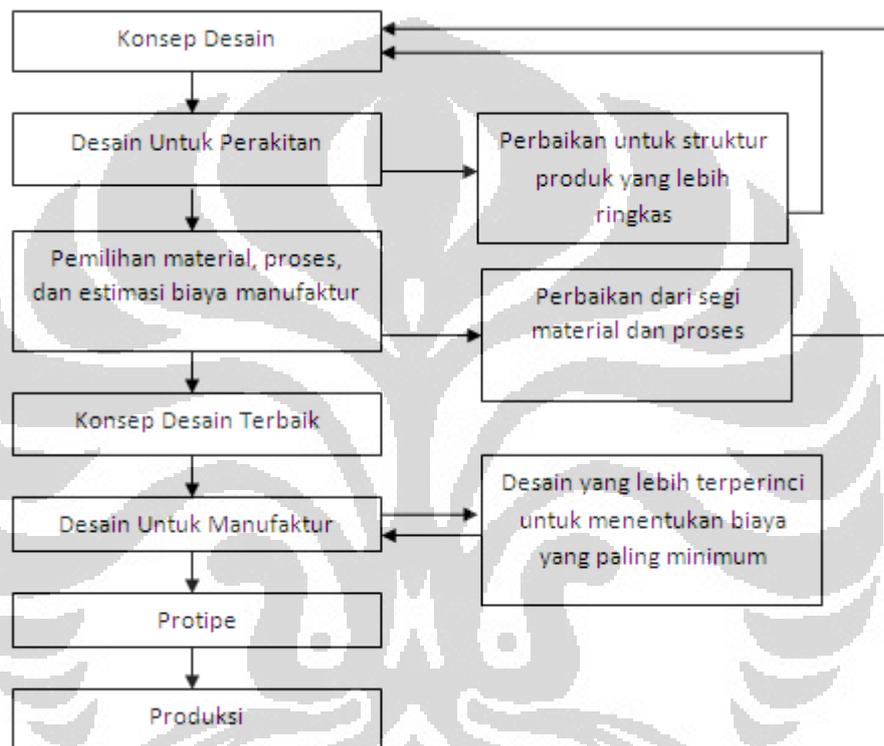


Gambar 3.1 Alat penukar kalor tipe serpentine

3.2 Desain Water Storage

3.2.1 Konsep Desain Water Storage

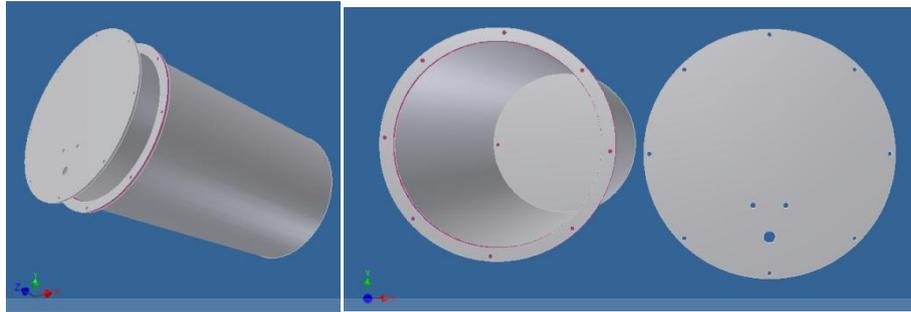
Alur desain yang digunakan untuk *water storage* adalah dengan menggunakan DFMA atau Design for Manufacture and Assembly. Alur tersebut dijelaskan pada skema di bawah ini.[8]



Gambar 3.2 Alur DFMA

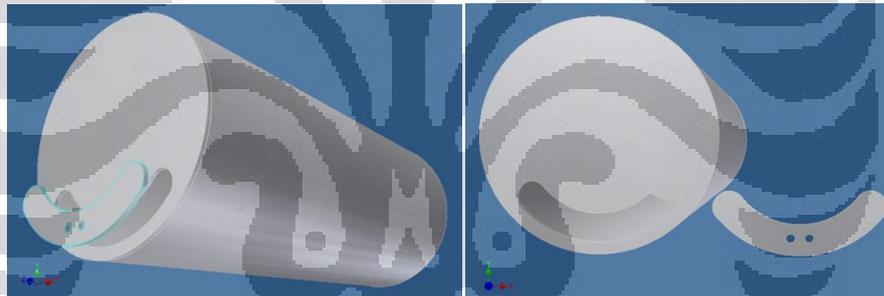
Water storage berguna untuk menyimpan air yang akan di panaskan oleh pipa *heat exchanger*. Sehingga water storage harus memiliki desain yang disesuaikan dengan kapasitas air dan kebutuhan lainnya.

Water storage pada S-ACWH ini dibuat berbentuk silinder untuk mengurangi area yang bersudut sehingga tekanan yang berada pada area bersudut tersebut dapat dikurangi. Selain itu, Water storage diletakkan pada posisi horizontal untuk mendukung fungsi *heat exchanger* yang berbentuk serpentine dengan tutup yang mudah untuk di bongkar pasang. Berikut adalah perkembangan dari desain *water storage* untuk diterapkan pada S-ACWH.



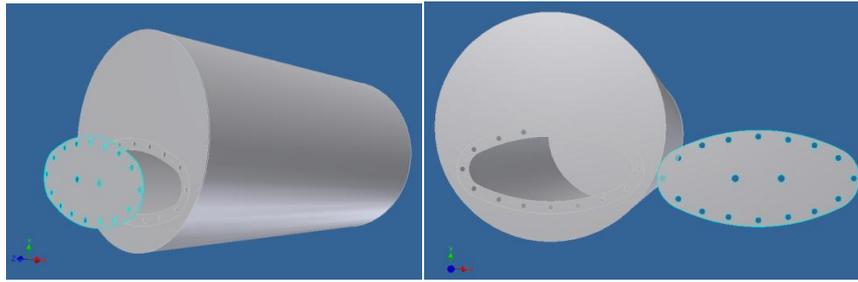
Gambar 3.3 Tutup tangki berbentuk lingkaran

Desain di atas merupakan desain awal yang diajukan. Diameter tutup tangki di buat sama dengan diameter badan tangki. Hal tersebut dimaksudkan agar proses manufaktur lebih mudah. Namun, pada pembahasan selanjutnya, desain tersebut tidak digunakan karena dikhawatirkan terjadi kebocoran air pada sisi tutup tangki tersebut melihat area tutup tangki yang sangat lebar.



Gambar 3.4 Tutup tangki berbentuk U

Perkembangan desain selanjutnya adalah membuat area tutup tangki yang lebih kecil sehingga air tidak akan keluar dari tangki. Tutup tangki yang dibuat mengikuti kontur dari serpentine sebagai pipa alat penukar kalor. Apabila dilihat dari depan, kontur serpentine akan tampak seperti huruf U. Sehingga, dibuatlah desain dimana tutup tangki menyerupai huruf u yang hanya cukup dilewati oleh pipa serpentine dan berada di bagian bawah tangki. Namun, desain ini memiliki kekurangan dalam hal manufaktur karena pembuatannya yang cukup sulit yang akan berpengaruh pada biaya manufaktur.



Gambar 3.5 Tutup tangki berbentuk oval

Perkembangan desain selanjutnya adalah desain tutup tangki yang cukup dilewati pipa serpentine namun proses pembuatannya mudah dilakukan. Desain tutup tangki dibuat menyerupai oval yang diletakkan di bagian bawah sesuai dengan penempatan pipa serpentine. Desain ini kemudian yang dipilih karena menjadi desain yang paling sesuai dengan kebutuhan S-ACWH dimana tutup tangki dapat di bongkar pasang dan ukurannya yang hanya cukup dilewati pipa serpentine akan mengurangi kekhawatiran akan bocornya air pada tutup tangki.

3.2.2 Desain Untuk Perakitan

Pada bagian perakitan ini, desain pada gambar 3.3 merupakan desain yang paling mudah untuk di buat dan dirakit. Namun, bila kembali lagi dengan tujuan untuk membuat water storage yang mudah di bongkar pasang dan tidak menimbulkan dampak kebocoran air pada tangki, desain pada gambar 3.5 adalah merupakan desain yang paling baik, mengingat luas area tutup tangki yang kecil dan hanya dapat dilewati pipa serpentine sehingga air tidak akan bocor. Tutup tangki berbentuk oval akan memudahkan dalam proses manufaktur.

Bagian tengah tangki terdapat dua buah lubang sebagai tempat *double nipple* yang akan menyambungkan pipa serpentine dengan pipa dari kompresor dan kondenser AC. Dengan begitu, proses perakitan komponen *heat exchanger* dan *water storage* dapat dengan mudah dilakukan.

3.2.3 Pemilihan Material Dinding Water Storage

Water storage untuk sistem S-ACWH ini harus dapat menyimpan air yang mengalami perpindahan panas dari *heat exchanger* dan menampung air dengan kapasitas 50 liter. Oleh karena itu dibutuhkan desain *water storage* dengan material yang mampu menahan kapasitas air sebesar 50 liter, tahan karat dan tahan terhadap temperatur yang cukup tinggi.

Tabel 3.1 Perbandingan laju korosi beberapa jenis material

Environment	Corrosion Rate ($\mu\text{m}/\text{year}$)		
	SS 304	Aluminium-3S	Mild Steel
Rural	0.0025	0.025	5.8
Marine	0.0076	0.432	34.0
Marine Industrial	0.0076	0.686	46.2

Tabel 3.2 Perbandingan properties material

	SS 304	Cast iron	Pipa Galvanis
Tensile Strength Mpa(min)	515	350	400
Yield Streth Mpa(min)	205	100	250
Density(kg/m ³)	8000	7900	7850
Elastic modulus(Gpa)	193	211	165
Thermal Conductivity(W/m.K)	16.2	55	18
Specivic Heat 0-100 ^o C (J/Kg.K)	500	456	420
Heat Resistance(oxidation) ^o C	925	552	650

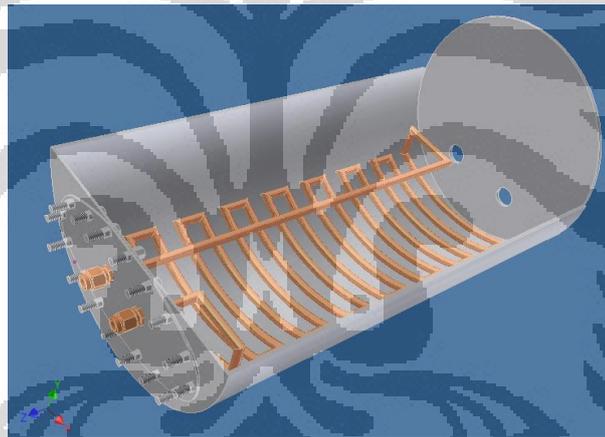
Dari perbandingan beberapa material di atas, dapat diketahui bahwa material SS 304 memiliki kekuatan material yang baik. SS. 304 memiliki tensile strength hingga 515 Mpa, lebih tinggi dibandingkan *cast iron* dan pipa galvanis.

Material Stainless Steel 304 memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dibuktikan dengan nilai *corrosion rate* yang bernilai 0.0025 $\mu\text{m}/\text{tahun}$ [9]. Bila dibandingkan dengan jenis material lain, Stainless Steel 304 memiliki *corrosion rate* yang paling kecil seperti yang ditampilkan pada tabel 3.1. Hal tersebut sangat penting diperhatikan mengingat *water storage* yang selalu bersentuhan dengan air.

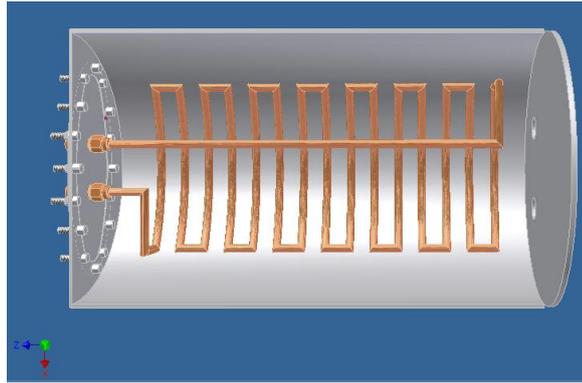
Water Storage pada S-ACWH ini juga bekerja untuk menampung air dengan temperatur yang cukup panas, sehingga dibutuhkan jenis material yang bisa bekerja pada temperatur tinggi. Stainless Steel 304 memiliki temperatur kerja maksimum yang direkomendasikan hingga 925°C , oleh karena itu material ini cocok digunakan sebagai material *water storage* S-ACWH. Material SS 304 pun mudah untuk di bentuk sehingga proses manufaktur dapat dilakukan dengan mudah. Meskipun biaya material SS 304 cukup tinggi, namun biaya yang tinggi tersebut sebanding dengan performa yang diberikan yaitu tahan terhadap karat, mudah dibentuk, dan tahan pada temperatur air yang cukup tinggi.

3.2.4 Komponen Water Storage

3.2.4.1 Gambar CAD Water Storage



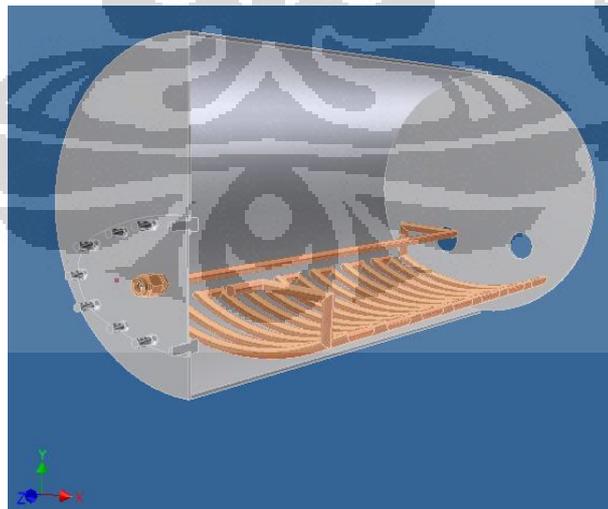
Gambar 3.6 Bagian dalam water storage



Gambar 3.7 Tampak Atas Water Storage



Gambar 3.8 Tampak samping water storage



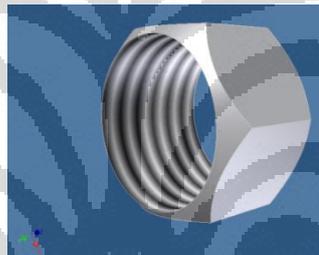
Gambar 3.9 Gambar proyeksi bagian dalam water storage

3.2.4.2 Mur dan Baut

Material mur dan baut dipilih berdasarkan kekuatan material dan ketahanan korosi yang tinggi. Dari tabel 3.2 sebelumnya diketahui bahwa material stainless steel 304 memiliki kekuatan material yang tinggi. Selain itu SS.304 memiliki laju korosi rendah sehingga tidak mudah berkarat. Sehingga material yang dipilih adalah SS.304 dan dari hasil perhitungan pada bab selanjutnya, baut yang digunakan adalah baut M8.



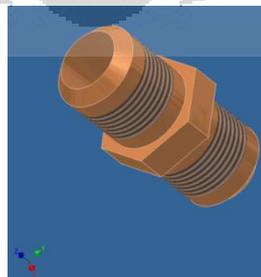
Gambar 3.10 CAD baut M8



Gambar 3.11 CAD nut M8

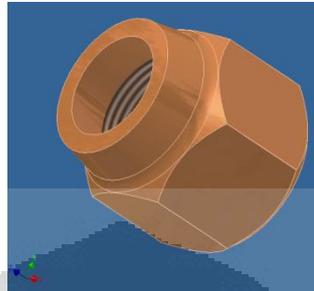
3.2.4.3 Double Nipple dan Nut

Double nipple berfungsi untuk menyambungkan tube heat exchanger dengan tube dari kompresor dan kondenser. Double nipple dipasang pada bagian tutup tangki sehingga proses bongkar pasang *heat exchanger* dapat dilakukan dengan mudah.



Gambar 3.12 CAD Double nipple

Double nipple yang digunakan terbuat dari material kuningan untuk ukuran pipa $\frac{1}{4}$ inchi. Untuk mencegah bocornya refrigeran, baut diberi selotip pipa pada ulirnya sebelum dipasangkan kepada nut.



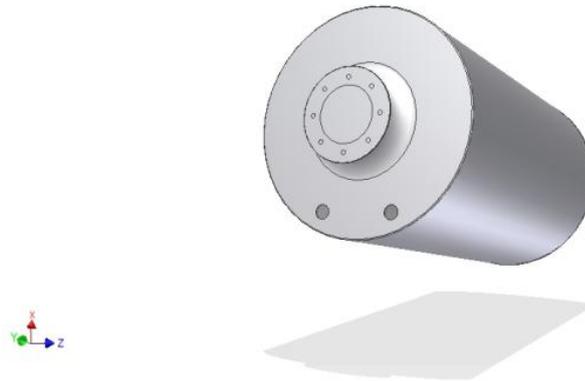
Gambar 3.13 CAD Double nipple

3.2.4.4 Pemilihan Material Tangki Luar

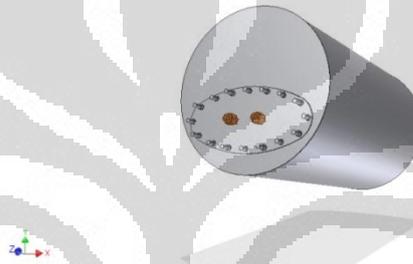
Tangki luar dapat dikatakan sebagai pembungkus dari tangki stainless steel yang ada di bagian dalam, sehingga material yang di butuhkan tidak memerlukan spesifikasi khusus. Untuk desain ini dipilih material dari *cast iron* untuk dapat meminimalkan biaya manufaktur. Bagian tutup luar dibuat dengan material fiber dan bagian ruang di tengah diinjeksikan isolasi dari Poliuretan karena memiliki nilai konduktivitas thermal sebesar $0,12 \text{ W/(m.K)}$ sehingga baik digunakan sebagai isolator.

3.2.4.5 Konsep Desain Terbaik

Dari pembahasan sebelumnya, konsep terbaik yang digunakan sebagai *water storage S-ACWH* adalah desain dengan tutup tangki berbentuk oval dengan material yang digunakan SS 304. Material yang sama digunakan juga untuk mur dan baut. Sedangkan double nipple digunakan bahan kuningan sebagai materialnya.



Gambar 3.14 Bagian belakang water storage



Gambar 3.15 Bagian depan water storage

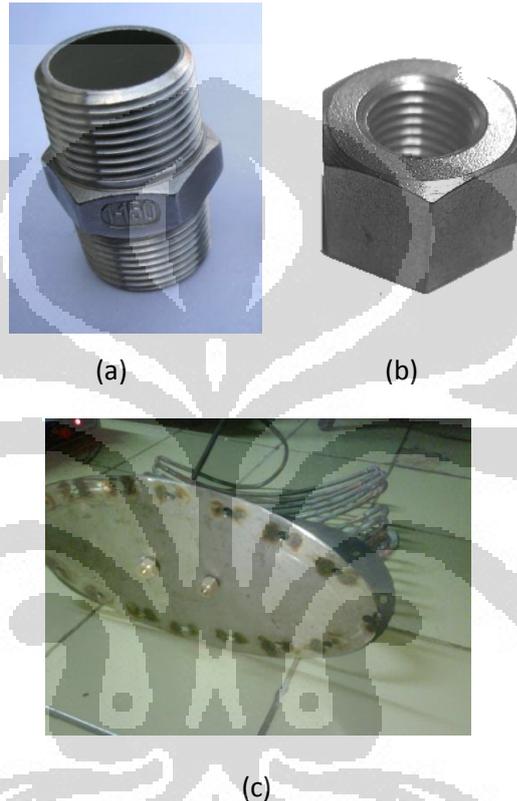
3.3 Desain Manufaktur dan Perakitan S-ACWH

Proses manufaktur *water storage* dimulai dari material SS.304 yang masih berbentuk lembaran kemudian dibentuk menjadi silinder dengan melewati proses rolling. Setelah itu, tahapan selanjutnya adalah pengelasan dan pemasangan dari tiap-tiap komponen.

Pada penelitian sistem S-ACWH ini, heat exchanger yang bertipe *serpentine* harus dapat dibongkar pasang. Oleh karena itu *tube serpentine* dan tutup tangki tidak di buat fix. Tiap ujung *tube serpentine* disambung dengan *double nipple* yang dipasangkan pada tutup tangki. Untuk mencegah bocornya air, *double nipple* dipasangkan o-ring terlebih dahulu. Dengan pemasangan *double nipple*, *tube heat exchanger* dapat dipasang dan dilepas dengan mudah sehingga proses perawatan terhadap *tube serpentine* dapat dilakukan. *Heat exchanger* pada *water storage* ACWH yang beredar dipasaran dibuat tetap dan tidak dapat

dibongkar pasang. Bila terjadi kerusakan pada *heat exchanger*, maka *water storage* pun perlu diganti yang membuat biaya tidak ekonomis.

Tutup tangki dibuat seminimal mungkin untuk mengurangi kemungkinan bocor. Oleh karena itu tutup tangki dibuat menyerupai oval yang hanya cukup sebagai tempat keluar masuknya *tube serpentine*.



Gambar 3.16 a. Double nipple, b. Nut, c. Double nipple dipasang pada tutup tangki yang berbentuk oval

Untuk mencegah terjadinya kebocoran, tutup tangki dilapisi terlebih dahulu oleh seal karet setebal 5 mm. sebelum dipasangkan pada badan tangki.

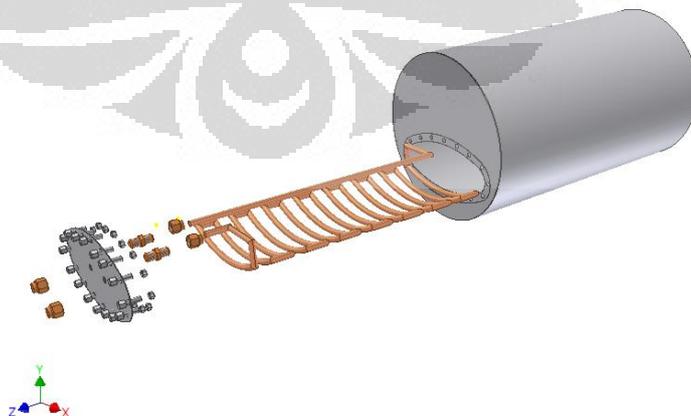


Gambar 3.17 Seal karet untuk mencegah terjadinya kebocoran



Gambar 3.18 Tube serpentine dan tutup tangki dipasang pada badan tangki

Tutup tangki dipasang pada badan tangki dengan mengencangkan baut-baut disekeliling tutup tangki dengan terlebih dahulu dilapisi oleh seal karet. Setelah instalasi water storage selesai dilakukan, *heat exchanger* disambungkan dengan *tube* dari kompresor melalui *double nipple* pada tutup tangki dan tube lainnya disambungkan dengan tube yang menuju kondenser.



Gambar 3.19 Perakitan *water storage*

Untuk memudahkan instalasi water storage sebaiknya berada dekat dengan kondenser AC sehingga pressure drop dan biaya pipa refrigeran dapat berkurang. Pemasangan S-ACWH di apartemen akan diuntungkan apabila posisi kamar mandi dan kondenser AC berdekatan. Kondenser biasanya diletakkan di balkon luar, sehingga proses instalasi akan lebih menguntungkan apabila posisi balkon, kamar mandi, dan ruangan ber-AC saling berdekatan.

3.4 Pengujian Alat

Air Conditioner (AC) yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *split* dengan daya sebesar 1 PK. Unit indoor terdiri dari evaporator dan unit outdoor terdiri dari kompresor, kondenser, dan tube serpentine sebagai *heat exchanger*. Seluruh jalur pemipaan refrigeran diisolasi untuk mencegah kebocoran thermal yang dapat menurunkan performa AC.

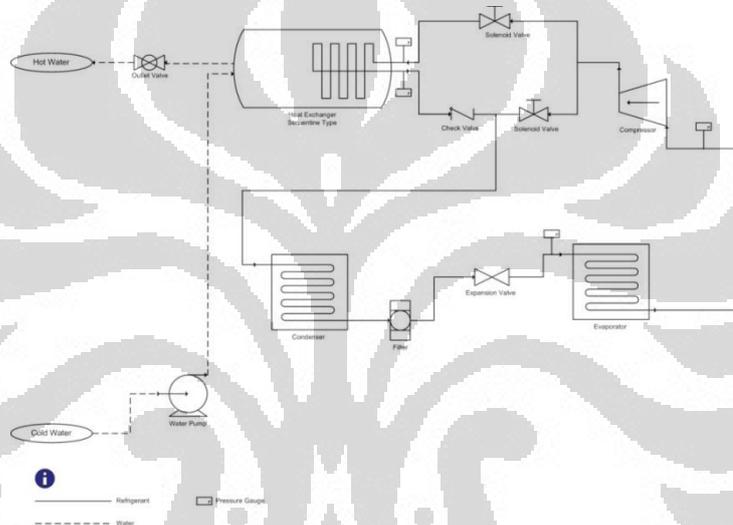
Alat pengujian terdiri dari sistem AC dengan aliran refrigeran yang dihubungkan dengan penukar kalor tipe serpentine yang berada dalam *water storage*. Sesuai dengan proses instalasi S-ACWH sebelumnya, aliran refrijeran yang keluar dari kompresor akan masuk ke dalam pipa *serpentine* dan akan mengalir kembali menuju kondenser. Di dalam *water storage* akan terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dan air karena adanya perbedaan suhu antara keduanya.



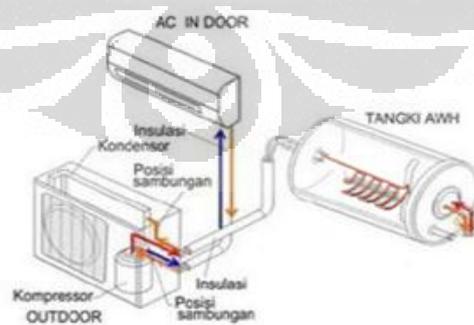
Gambar 3.20 Modifikasi pipa refrigeran AC pada S-ACWH



Gambar 3.21 Alat pengujian



Gambar 3.22 Skema alat pengujian



Gambar 3.23 Desain letak alat pengujian

Termokopel dipasang di dalam water storage, tube setelah kompresor, tube setelah melewati pipa serpentine, pipa sebelum dan sesudah masuk evaporator, kabin(tempat dipasangnya evaporator), dan diluar sistem untuk mengukur suhu ambient atau lingkungan.

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. Setelah semua komponen terpasang dan sistem siap dijalankan, tes bocor dilakukan pada sistem untuk mengetahui apakah terdapat kebocoran pada pipa atau tidak dengan membuat kondisi vakum pada sistem dengan menggunakan pompa vakum. Setelah sistem S-ACWH dipastikan tidak mengalami kebocoran, Refrigeran R-22 diinjeksikan pada sistem, dan alat sudah bisa dijalankan

3.4.1 Jenis AC yang digunakan

Spesifikasi AC :

1 PK

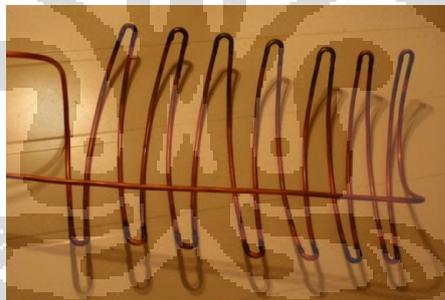
- Merek: Samsung
- Model: AS07RLX
- Power Input: 800 Watt
- Voltage/Freq: 200-220 V/50 Hz
- Current: 4 A
- Refrigerant: R 22 (360 g)



Gambar 3.24 Air Conditioning

3.4.2 Alat Penukar Kalor

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



Gambar 3.25 Alat penukar kalor tipe pipa serpentine



Gambar 3.26 Pipa serpentine di dalam water storage

3.4.3 Alat Pengukuran dan Pengambilan Data

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Termokopel tipe K untuk mengukur temperatur air dan refrigeran.
- Pressure Gauge untuk mengukur tekanan refrigeran
- Clamp meter untuk mengukur arus yang mengalir
- Data akuisisi (DAQ) untuk membaca tegangan keluaran dari termokopel yang bisa ditampilkan pada layar komputer melalui software Lab View versi 8.5 dan NI-DAQmx

3.4.4 Logo S-ACWH

Berikut adalah logo untuk S-ACWH



Gambar 3.27 Logo S-ACWH

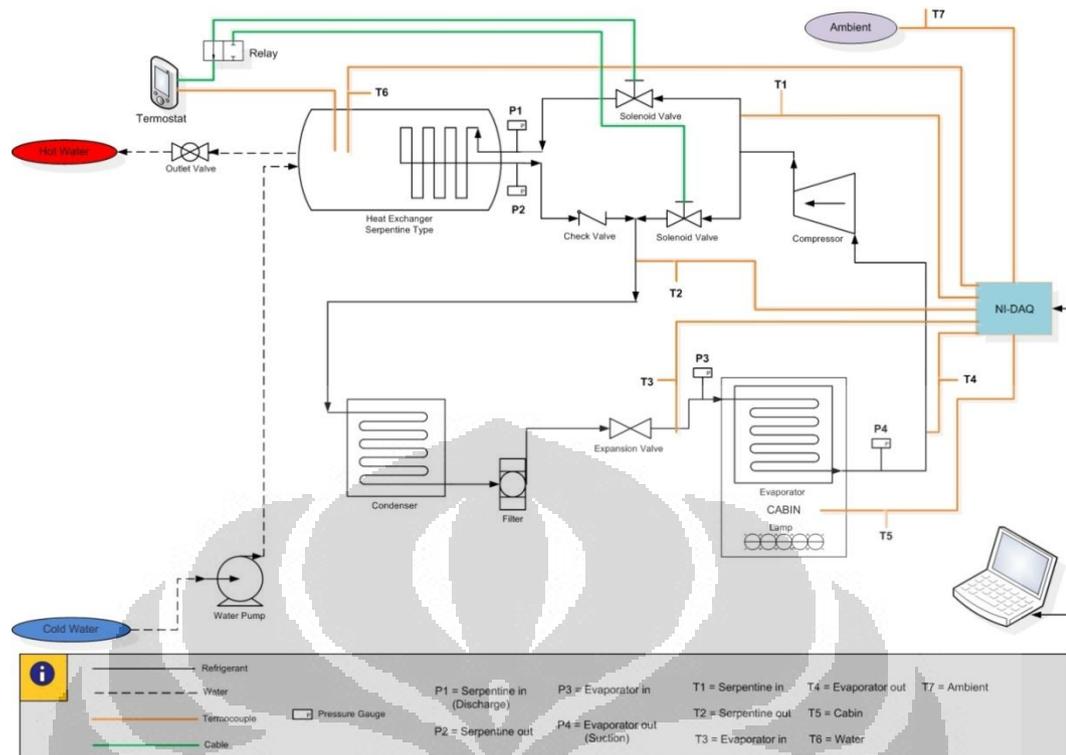
3.5 Prosedur Pengambilan Data

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. Mempersiapkan dan merakit DAQ serta memasang termokopel pada modul DAQ sesuai channel yang telah ditentukan

3. Menghubungkan DAQ dengan *power supply* dan menyambungkan USB dengan komputer serta membuka software LabVIEW 8.5 untuk memulai proses pengambilan data.
4. Menyalakan AC dan mengatur setting suhu evaporator AC pada 16⁰C
5. Menyalakan lampu sebagai beban pendinginan sebanyak 18 buah dimana masing-masing lampu memiliki daya sebesar 100 Watt.
6. Mulai menyimpan data tiap detik pada program DAQ secara otomatis setelah terlebih dahulu menekan tombol *write to file* pada komputer
7. Mencatat besarnya tekanan refrigeran yang terbaca pada *low* dan *high pressure gauge* secara manual setiap setiap 5 menit untuk kemudian dirata-rata
8. Mencatat besarnya arus yang dibutuhkan kompresor pada *clamp meter* secara manual setiap setiap 5 menit untuk kemudian dirata-rata
9. Menunggu tercapainya kondisi *steady* pada pembacaan temperatur pada sistem data akusisi. Kondisi *steady* tercapai ketika pembacaan temperatur relatif stabil dan tidak terjadi perubahan
10. Mematikan AC setelah tercapai suhu air yang diinginkan atau kurang lebih selama 2 jam percobaan

Adapun skema pengambilannya, seperti terlihat pada gambar 3.28



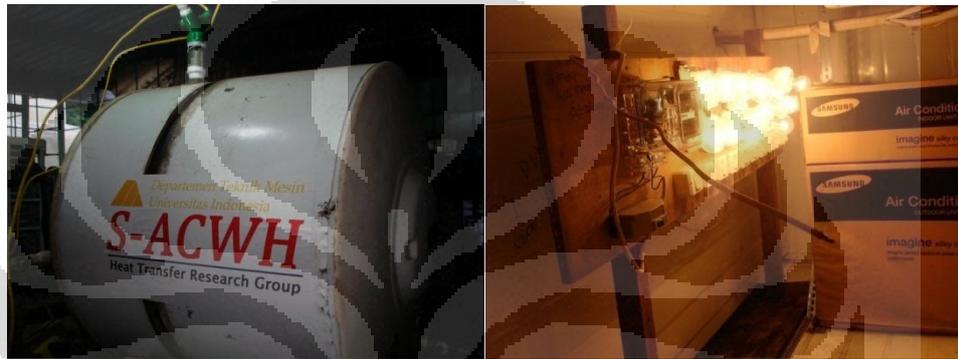
Gambar 3.28 Skema pengambilan data

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



Gambar 3.29 (a) *Pressure gauge* pada evaporator in dan out (b) *Pressure gauge* pada alat penukar kalor in dan out

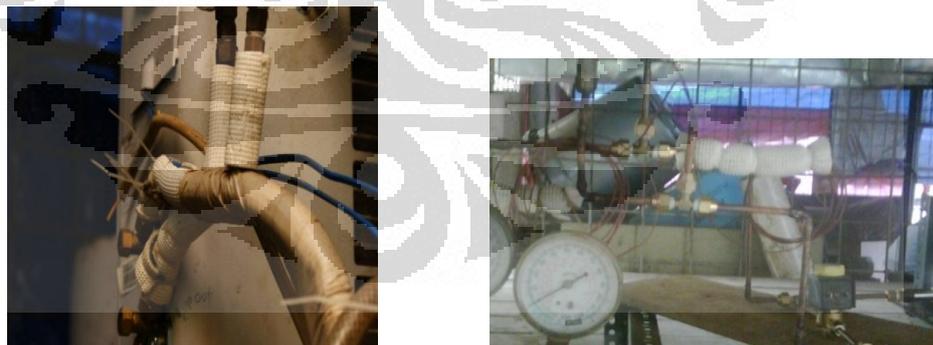
Variabel T1 menunjukkan pengukuran termokopel pada posisi bagian dalam tangki penyimpanan, untuk mengukur temperatur air di dalam tangki. Variabel T2 dan T3 menunjukkan pengukuran termokopel pada pipa keluar kompresor dan masuk kondenser untuk mengukur suhu refrigeran. Variabel T4 dan T5 menunjukan pengukuran termokopel pada bagian in evaporator dan out evaporator. T6 menunjukkan pengukuran termokopel di dalam kabin, berguna untuk mengukur temperatur ruangan dan variabel T7 menunjukkan posisi termokopel untuk pengukuran suhu lingkungan



(a)

(b)

Gambar 3.30 (a) Posisi termokopel pada tangki air penyimpanan, (b) Posisi termokopel pada kabin



(a)

(b)

Gambar 3.31 (a) Posisi termokopel pada *evaporator in* dan *out*, (b) Posisi termokopel pada alat penukar kalor *in* dan *out*



Gambar 3.32 Posisi termokopel untuk pengukuran temperatur lingkungan

3.6 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 :

- Efektivitas (ϵ) yang dimaksud adalah efektifitas termal suatu alat penukar kalor. Perpindahan kalor maksimal yang dapat dicapai adalah perpindahan kalor antara fluida terpanas dengan fluida terdingin. Fluida yang akan mendapatkan perbedaan temperatur (ΔT) tertinggi adalah fluida yang memiliki kapasitas panas terkecil. Nilai efektifitas didapatkan dengan menggunakan perhitungan, sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{T_{1,in} - T_{1,out}}{T_{1,in} - T_{2,in}} \quad (3.1)$$

- 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.
- Beban panas yang dapat dibuang oleh water storage dapat dihitung dengan bantuan P-h diagram.
- *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu COP evaporator dan COP *water storage*. COP evaporator menyatakan rasio antara cooling load yang bisa didinginkan evaporator dengan kerja kompresor. Nilai COP *water storage* menyatakan rasio antara q pada water storage dengan kerja kompresor. Kedua nilai COP tersebut didapat dengan menggunakan rumus :

$$COP_{evap} = \frac{CoolingLoad}{CompressorWork} \quad (3.2)$$

$$COP_{he} = \frac{q_{WaterStorage}}{CompressorWork} \quad (3.3)$$

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN PERHITUNGAN EKONOMIS S-ACWH

Pada pengolahan data ini perhitungan untuk desain *water storage* dan perhitungan ekonomis dari satu unit S-ACWH dilakukan untuk bisa menentukan harga jual S-ACWH sehingga bisa bersaing dengan produk sejenis yang sudah ada di pasaran. Selain itu pengolahan data ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik sistem S-ACWH yang diteliti. Data yang didapat diolah dan disajikan dalam bentuk grafik

4.1 Dimensi Tangki

Dari data yang diperoleh untuk keperluan mandi di apartemen, orang dewasa memerlukan hingga 50 liter air. Oleh sebab itu, ukuran *water storage* yang dibuat memiliki kapasitas untuk dapat menampung air sebanyak 50 liter.

Persamaan yang digunakan

$$V = \pi r^2 \times l \quad (4.1)$$

Dengan:

r : Jari-jari lingkaran

l : Lebar *water storage*

Perhitungan lebar *water storage*

$$V = 50 \text{ Liter}$$

$$R = 15 \text{ cm}$$

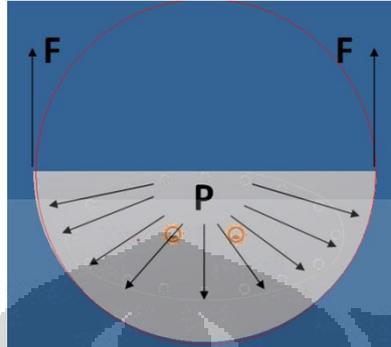
$$50.10^{-3} = \pi \times (15.10^{-2})^2 \times l$$

$$L = 0,7 \text{ m}$$

Dari perhitungan didapatkan lebar *water storage* sebesar 0,7 m.

4.2 Perhitungan Ketebalan Tangki

Ketebalan dinding water storage ini dilakukan berdasarkan peninjauan terhadap gaya *circumferential* yang bekerja di dalam water storage.



Gambar 4.1 Gaya yang bekerja pada *water storage*

Gambar tersebut menunjukkan tekanan pada tangki air, dimana P menunjukkan persebaran tekanan yang menuju ke segala arah pada dinding tangki air dan F menunjukkan gaya *circumferential* pada tangki silinder.[10]

Data yang diketahui:

Kapasitas Pompa = 110 liter/menit = 0.00183 m³/s

D pipa saluran air = 1,27 cm

Tekanan pompa = 3 bar = 300.000 Pa

Mencari luas bidang pipa

$$A = \pi r^2 \quad (4.1)$$

$$A = \pi \left(\frac{1,27}{2} \right)^2$$

$$A = 1,266 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Mencari kecepatan aliran air

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4.2)$$

$$V \text{ pipa air} = \frac{Q}{A} = \frac{0,00183}{1,266^{-4}} = 14,45 \text{ m/s}$$

Persamaan hukum Bernouli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_1 V_1^2 + \gamma z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_2 V_2^2 + \gamma z_2 \quad (4.3)$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho_1 V_1^2$$

$$P_2 = 300.000 + \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (14,45 \text{ m/s})^2$$

$$P_2 = P_1 + 104.401,15 \text{ Pa}$$

$$P_1 = 404.401,25 \text{ N/m}^2$$

$$P_1 = 404.401,25 \text{ Pa}$$

$$\text{Internal Pressure } P_i = 404.401,25$$

$$F_t = \text{maximal allowable stress of material} = 16.700 \text{ Psi}$$

$$\text{SF safety factor} = 2,3 \text{ (Hamrock)}$$

Persamaan ketebalan tangki

$$T = \frac{P_i \cdot d \cdot \text{SF}}{2 \cdot f_t} \quad (4.4)$$

$$T = \frac{P_i \cdot d \cdot \text{SF}}{2 \cdot f_t} = \frac{58 \text{ psi} \cdot 30 \text{ cm} \cdot 2,3}{2 \cdot 16.700} = 0,118 \text{ cm}$$

Dari perhitungan didapatkan ketebalan minimum dinding tangki untuk menampung air sebanyak 50 liter adalah 0,118 cm.

4.3 Perhitungan Baut

Berikut data yang diketahui :

Jumlah baut $n = 16$

Diameter tangki $D_1 = 30\text{cm}$

Tekanan pompa $P = 3\text{ Bar} = 3,06\text{ kg/cm}^2$

Tensile stress $F_t = 10,5\text{ kg/cm}^2$

Perhitungan *External Load*

Persamaan luas bidang

$$A = \frac{\pi}{4} D_1^2 \quad (4.5)$$

$$A = \frac{\pi}{4} D_1^2 = \frac{\pi}{4} (30\text{cm})^2 = 706,5\text{ cm}^2$$

Perhitungan gaya yang bekerja F

$$F = P \times A \quad (4.6)$$

$$F = 3,06\text{ kg/cm}^2 \times 706,5\text{ cm}^2 = 2161,89\text{ kg}$$

Tekanan eksternal tiap baut

$$P = \frac{F}{n} \quad (4.7)$$

$$P = \frac{2882,52\text{ kg}}{16} = 180,1575$$

Menentukan ukuran baut

$$P = \frac{\pi}{4} d_e^2 \cdot f_t \quad (4.8)$$

$$d_e = \sqrt{\frac{4P}{\pi f_t}}$$

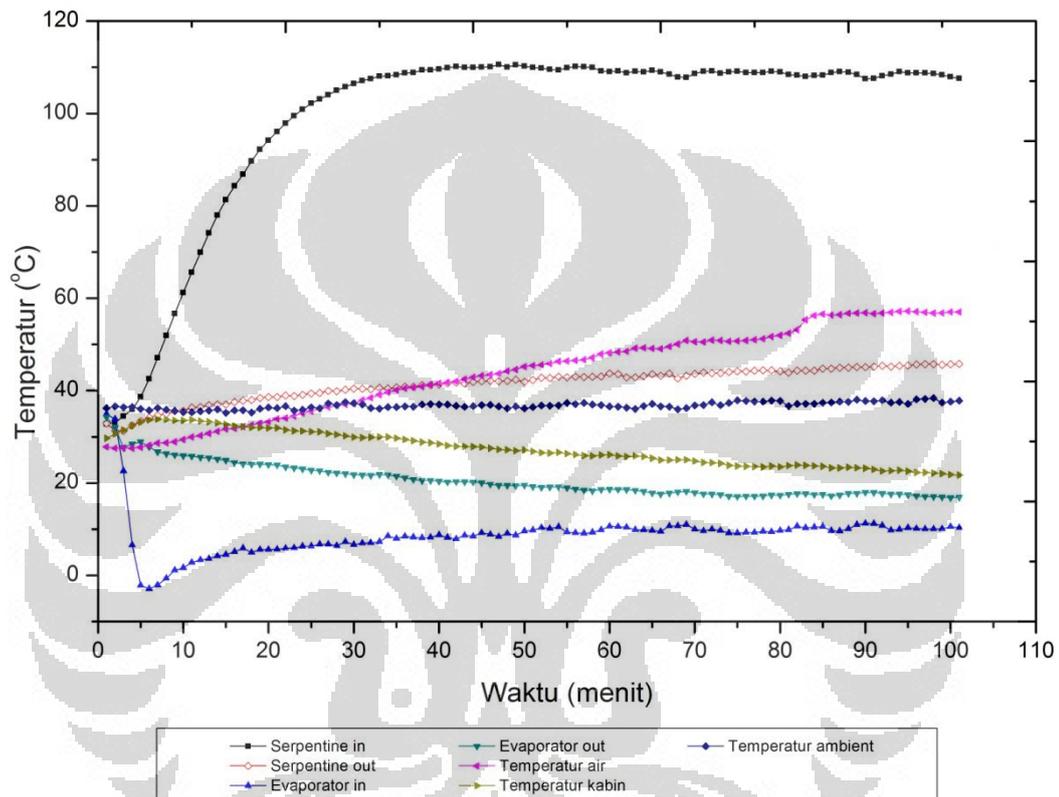
$$d_e = \sqrt{\frac{4 \times 180,1575}{\pi \times 10,5}}$$

$$d_e = 0,58\text{ cm}$$

$d_e=5,8$ mm

Berdasarkan tabel 10.1 (khurmi halaman 320), maka d_e yang mendekati standar adalah 6,466 mm, oleh karena itu ukuran baut adalah M8.

4.4 Analisa Grafik Karakterisasi S-ACWH



Gambar 4.2 Grafik temperatur 1800 Watt 1 PK

Pada pembebanan 1800 Watt, temperatur air dapat mencapai 57°C. Sedangkan temperatur refrigeran maksimum tercapai pada 107°C. Pada penelitian kali ini, dilakukan pengambilan data untuk mengetahui suhu maksimum yang dicapai oleh air dalam tangki, sehingga penelitian pengambilan data diambil selama 10 jam dan didapatkan suhu maksimum air panas sebesar 103°C.

Dari grafik dapat diketahui bahwa untuk mendapatkan temperatur air panas yang nyaman untuk dipakai mandi yaitu 40°C hingga 45°C hanya diperlukan waktu 1,5 hingga 2 jam saja. Waktu tersebut adalah waktu yang cepat bila dibandingkan produk ACWH lainnya yang bisa memakan waktu hingga 7 jam

setelah AC di hidupkan. Selain itu, temperatur kabin memiliki temperatur 20°C yang masih cukup dingin dan nyaman bagi penghuni rumah atau apartemen.

Pipa serpentine sebagai *heat exchanger* pada sistem ACWH merupakan desain HE yang paling baik dibandingkan desain lainnya. Pada sistem S-ACWH perpindahan panas terjadi secara konveksi atau disebut dengan *natural convection*. Oleh sebab itu, letak tube serpentine yang berada di dasar tangki menjadi faktor utama besarnya perpindahan kalor yang terjadi. Dengan diletakkan di dasar, kalor dari *heat exchanger* akan lebih banyak berpindah menuju ke bagian atas air dalam tangki sesuai dengan prinsip *natural convection*. Dengan begitu, waktu untuk memanaskan air bisa menjadi lebih cepat.

Desain water storage baru yang bisa dibongkar pasang tidak mempengaruhi kinerja dari sistem S-ACWH. Sebaliknya, desain water storage yang bisa dibongkar pasang akan memudahkan dalam proses perawatan *tube heat exchanger*.

4.5 Perhitungan Kerja Kompresor

Data yang diketahui

Voltase departemen teknik mesin sebesar 198 V

Arus pada kompresor rata-rata 3,8 A

$$W = V.I \quad (4.9)$$

$$W = 198 \text{ V} \times 3,8 \text{ A} = 752,4 \text{ Watt} = 0,7524 \text{ kWatt}$$

4.6 Perhitungan q Kondenser

Data yang diperoleh dari pengujian S-ACWH pada pembebanan 1800 Watt adalah sebagai berikut:

Tekanan Kompresor/serpentine in (rata-rata) = 18,4 bar = 1840 kPa

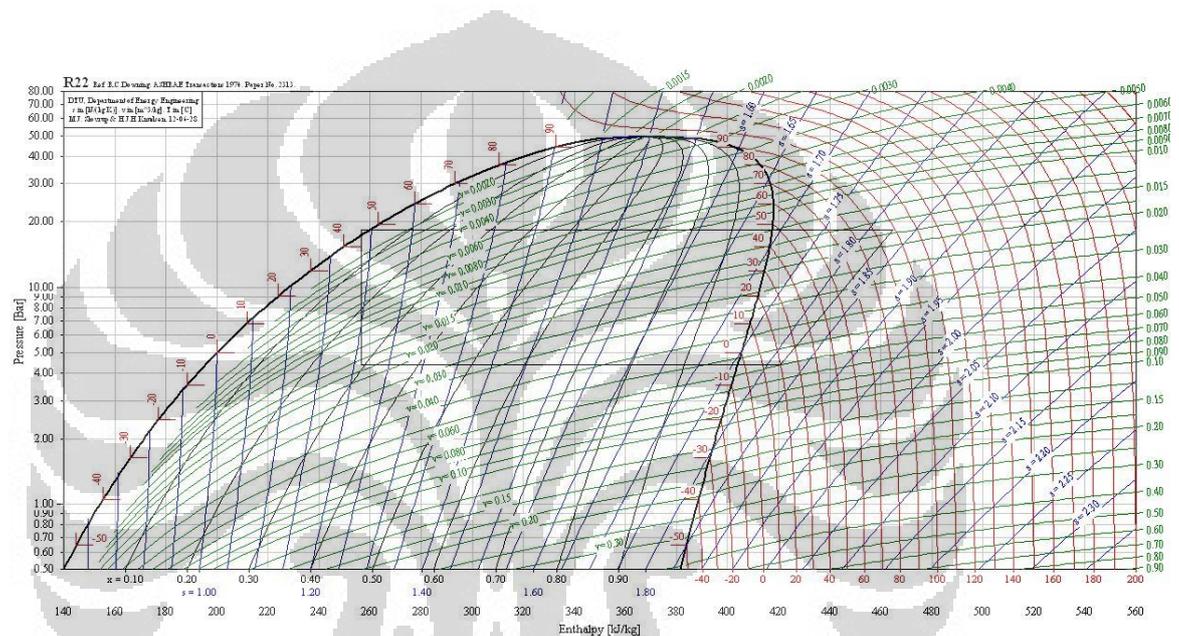
Tekanan suction/evap ini (rata-rata) = 4,4 bar = 440 kPa

Temperatur Serpentine in 99°C

Temperatur Evap out 20°C

Temperatur keluar kondenser 45°C

Dengan menggunakan tabel dan P-H diagram kita tentukan nilai enthalpy.
(Tabel Entalphy terlampir).



Gambar 4.3 P-H Diagram

$H_1=420,75 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

$H_2=464,82 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

$H_3=256,38 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

$H_4=256,38 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

Perhitungan cooling load

Persamaan cooling load dari lampu pijar sebesar 1800 Watt

$$Q = P \times 3.413 \times 0.293 \text{ (Carrier)} \quad (4.10)$$

$$Q = 1800 \times 3,413 \times 0,293 = 1.800,016 \text{ W} = 1,8000016 \text{ kW}$$

Menghitung laju aliran refrigeran(m)

$$Q = m(h_1 - h_4) \quad (4.11)$$

$$1,8000016 = m(420 - 260)$$

$$m = 0,01125 \text{ kg/s}$$

Perhitungan q pada kondenser

$$q \text{ kondenser total} = q \text{ kondenser} + q \text{ tangki air} \quad (4.12)$$

$$q \text{ kondenser total} = m(h_2 - h_4) \quad (4.13)$$

$$= 0,01125 \text{ kg/s} (470 - 260)$$

$$= 2.362521263 \text{ kWatt}$$

$$q \text{ Tangki air} = m \cdot C_p \cdot (t_o - t_i) \quad (4.14)$$

$$= 50 \text{ kg} \cdot 4,187 \text{ kJ/(kg.K)} \cdot (57 - 29) / 6.000 \text{ s}$$

$$= 0.976967 \text{ kWatt}$$

$$q \text{ Kondenser} = q \text{ Kondenser total} - q \text{ tangki air}$$

$$= 1.385555 \text{ kWatt}$$

4.7 Perhitungan COP dan Efektifitas

4.7.1 Perhitungan COP

$$\text{COP evap} = \frac{q_{\text{evap}}}{w} = \frac{1,8000016}{0,7524} = 2.392366029$$

$$\text{COP tangki} = \frac{q_{\text{tangki}}}{w} = \frac{0.976967}{0,7524} = 1.298467$$

4.7.2 Perhitungan efektifitas

$$\varepsilon = \frac{T_{1,\text{in}} - T_{1,\text{out}}}{T_{1,\text{in}} - T_{2,\text{in}}} \quad (4.15)$$

$$T_{1,\text{in}} = 29^{\circ}\text{C}$$

$$T_{1,\text{out}} = 57^{\circ}\text{C}$$

$$T_{2,\text{in}} = 99^{\circ}\text{C}$$

$$\varepsilon = \frac{29-57}{29-99} = 0,4$$

4.8 Harga AC di Pasaran

AC yang dijual dipasaran beranekaragam tergantung besar daya dan merk. [11]

Tabel 4.1 Harga AC di pasaran

AC Panasonic
STANDARD :
CS-PC05 MKJ (1/2PK) : 2.350.000
CS-PC07 MKJ (3/4PK) : 2.450.000
CS-PC09 MKJ(1 PK) : 2.550.000
CS-PC12MKJ (1.5PK) : 3.150.000
CS-PC18MKH (2PK) : 5.050.000
cs-pc12jkg(1,5pk) : 3.150.000
cs-pc18jkg (2pk) : 5.100.000
cs-pc24jkg (21/2pk) : 8.200.000
cs-pc05jkj (1/2pk) : 2.250.000
cs-pc07jkj (3/4pk) : 2.350.000
cs-pc09jkj (1pk) : 2.450.000
ENVIO:
CS-C 07 MKP (3/4PK) : 2.800.000
CS-C 09 MKP (1PK) : 3.000.000
CS-C 12 jKP (1.5PK) : 4.550.000
CS-C 18 jKP (2PK) : 6.700.000
CS-C 24jKP (2.5PK) : 9.100.000
cs-c07kkp(3/4pk) : 2.550.000
cs-c09kkp (1pk) : 2.800.000
INVERTER:
CS-S 10 MKP (1PK) : 3.900.000
CS-S 13 MKP (1 1/2pk) : 5.400.000
CS-S 18 MKP (2 pk) : 7.900.000
cs-s10kkp (1pk) : 3.600.000
cs-13jkpp (11/2pk) :5.350.000
cs-s18jkg (2pk) : 7.850.000
cs-s24kkp (21/2 pk) : 11.900.000
ALOWA
CS-KC5MKJ(0.5 PK) : 2.750.000 320wat
CS-KC7MKJ(3/4PK) : 2.900.000 540wat
CS-KC9MKJ(1PK) : 3.000.000 670wat

AC LG
Hercules (low wat dan plasma)
05 LPBX-2 (1/2 PK) : 2.550.000
07 LPBX-2 (3/4 PK) : 2.650.000
09 LPBX-2 (1 PK) : 2.750.000
09 LPBX-3 (1PK) : 3.000.000
05 LPBX-R (1/2pk, 260 watt) : 2.900.000
TERMINATOR
05 ICE (1/2 PK) : 2.700.000
09 ICE (1PK) : 2.850.000
12 ICE (1.5PK) : 3.950.000
Standard
S05LT (1/2pk) : 2.200.000
S07LT (3/4pk) : 2.300.000
S09LT (1pk) : 2.400.000
GOLDFIN
S05LFG (1.2PK) : 1.900.000
S07LFG (3/4PK) : 1.950.000
S09FLG (1 PK) : 2.050.000
S12LFG (1 ½ PK) : 2.900.000
S18LFG (2pk) : 4.250.000
s24LFG (21/2PK) : 7.500.000
INVERTER:
S10INV (1PK) 3.7jt
S13INV (1.5PK) 5.2jt
s10ICEV (1PK) 3.95jt (anti nyamuk)
S13ICEV (1.5pk) 5.4jt (Anti Nyamuk)

AC SHARP
STANDARD:
05MEY : 2.350.000
07MEY : 2.450.000
09MEY : 2.550.000
SAYONARA PANAS V 2 SWING:
05MSL : 2.800.000
07MSL : 2.950.000
09MSL : 3.050.000
SAYONARA PANAS V 4 SWING:
05MHL : 2.675.000
07MHL : 2.850.000
09MHL : 2.950.000
PLASMACLUSTER TANPA LOW WAT
AP05MSY 2.550.000
AP07MSY 2.650.000
AP09MSY 2.750.000
LOW WAT TANPA PLASMACLUSTER

09LCL : 2.700.000
INVERTER:
X05MEY 3.150.000 (non plasma)
XP5MSY 3.20.000
XP9MSY 3.40.000
X9LEY 3.350.000 (non plasma)
XP10MRY 3.70.000 (plasma)
XP13MRY 4.50 0.000

AC SAMSUNG
STANDARD:
05UUPN(1/2PK) : 2.100.000
07uupn(3/4pk) :2.200.000
09UUQN (1 PK) : 2.300.000
MAX LOW WATT
AS05UGPN (1/2PK) : 2.400.000
AS07UGPN/RGMN (3/4PK) : 2.500.000
AS09UGPN/RGMN (1PK) : 2.700.000
VIRUS DOCTOR
AS05 ESMN (1/2PK) : 2.900.000
AS07 ESMN (3/4PK) : 3.000.000
AS09 ESMN (1PK) : 3.100.000
AS05 ES-PN (1/2PK) : 2.950.000
AS07 ES-PN (3/4PK) : 3.050.000
AS09 ES-PN (1 PK) : 3.150.000
AC AUX
STANDARD
ASW05 EW (1/2PK) : 2.100.000
ASW07 EW (3/4PK) : 2.200.000
ASW09 EW (1PK) : 2.300.000
PLASMA
ASW 05 EA (1/2pk) : 2.150.000
ASW 07 EA (3/4PK) : 2.250.000
ASW 09 EA (1 PK) : 2.350.000
LOW WATT
ASW05 EP (1/2PK) : 2.250.000 (320 watt)
ASW09 EP (1 PK) : 2.450.000 (690 Watt)

AC Changhong
Standard:
CSC-05Y3 (1/2pk) : 2.000.000
CSC-07Y3 (3/4PK) : 2.150.000
CSC-09Y3 (1pk) : 2.250.000

Low watt:
05T1 (1/2PK) : 2.250.000
07T1 (3/4PK) : 2.350.000
09T1 (1 PK) : 2.450.000
12T1 (1 1/2 PK) : 3.300.000

AC HAIER
HSU-05LEA03 (1/2PK) : 2.10.000
HSU-07LEA03 (3/4PK) : 2.20.000
HSU-09LEWA03 (1PK) : 2.30.000
LOW WAT G PLASMA
HSU-05LEA03/LW (1/2PK 320WATT) : 2.50.000
HSU-09LEA03/LW (1PK 690WATT) : 2.70.000

AC TOSHIBA VITA PLASMA
RAS05SKPX (1/2PK) : 2.650.000
RAS07SKPX (3/4PK) :2.850.000
RAS09SKPX (1pk) : 2.950.000
RAS13SKPX (11/2PK) : 4.600.000
RAS18SKPX (2PK) : 6.200.000

AC MITSUBISHI
SRK 06 (1/2PK) : 2.750.000
SRK 09 (1PK) : 2.900.000

AC SANYO HIKARI
SAP-K57GAX (1/2PK) : 2.750.000
SAP-K77GAX (3/4PK) : 2.850.000
SAP-K97 GAX (1PK) : 2.950.000

AC SANKEN
LW-P06SS (1/2PK 320WAT) : 2.350.000

AC DAIKIN
FT20FTE (3/4PK) : 2.750.000
FT25FTE (1PK) : 2.950.000
FT35FTE (11/2PK) : 4.550.000
FT50FTE(2PK) : 7.000.000

Pemilihan AC disesuaikan dengan kebutuhan penghuni rumah atau apartemen dan biaya yang dikeluarkan.

4.9 Perhitungan Biaya Produk S-ACWH

4.9.1 Perhitungan Harga *Water Storage*

Water Storage yang digunakan memiliki kapasitas untuk menampung air sebesar 50 liter yang cukup untuk keperluan mandi orang dewasa.

Berikut adalah perhitungan harga pokok *water storage*

Material Stainless Steel	Rp 484.164,-
Las	Rp 250.000,-
Bubut	Rp 150.000,-
Tabung Luar	Rp 141.300,-
Tutup tangki fiber	Rp 150.000,-
Injeksi Polyurethane	Rp 192.325,-
Baut	Rp 128.000,-
Seal Karet	Rp 8.000,-
O-ring	Rp 2.000,-
Biaya total	Rp 1.505.789,-

Berikut adalah perhitungan harga pokok *serpentine tube*

Tube ¼ inch 10 meter	Rp 90.000,-
Elbow 180°@10	Rp 30.000,-
Elbow 90°@2	Rp 4.000,-

Double nipple+nut@2	Rp 46.000,-
Seal Tape	Rp 2.000,-
Las Serpentine	Rp 50.000,-
Biaya total	Rp 222.000,-

Total biaya yang diperlukan untuk 1 water storage S-ACWH Rp 1.505.789 + Rp 222.000 = Rp 1.727.789,-

Berikut adalah perhitungan harga jual *water storage* S-ACWH

Asumsi presentase keuntungan yang diambil adalah 100% dari harga pokok, maka harga jual 1 unit S-ACWH adalah:

Margin $100\% \times \text{Rp } 1.727.789 = \text{Rp } 1.727.789,-$

Harga Pokok $\text{Rp } 1.727.789,-$

Biaya instalasi $\text{Rp } 100.000,-$

Harga Jual 1 unit water storage S-ACWH $\text{Rp } 1.727.789 + \text{Rp } 1.727.789 + \text{Rp } 100.000 = \text{Rp } 3.555.578,-$

4.9.2 Perhitungan Harga 1 Unit S-ACWH Lengkap

Untuk memudahkan konsumen dalam pembelian S-ACWH, maka unit S-ACWH disediakan dalam bentuk paket yang lengkap dengan 1 unit AC. Pada perhitungan kali ini, produk AC yang dipilih adalah merk Changhong dengan daya 1 pk karena memiliki harga yang bersaing dengan merk lainnya.

Berikut adalah perhitungan harga pokok 1 unit S-ACWH.

AC Changhong 1 PK	Rp 2.250.000,-
Water Storage+Serpentine	Rp 1.727.789,-
Biaya instalasi	Rp 100.000,-
Biaya total	Rp 4.077.789,-

T nipple@2	Rp 30.000,-
Nut @12	Rp 30.000,-
Riley	Rp 33.500,-
Thermostat	Rp 300.000,-
Biaya total	Rp 1.055.500

Berikut adalah perhitungan harga pokok 1 unit S-ACWH dengan sistem kontrol

AC Changhong 1 PK	Rp 2.250.000,-
Water Storage+Serpentine	Rp 1.727.789,-
Sistem kontrol	Rp 1.055.500
Biaya instalasi	Rp 100.000,-
Biaya total	Rp 5.133.289,-

Berikut adalah perhitungan harga jual 1 unit S-ACWH dengan sistem kontrol

Asumsi presentase keuntungan yang diambil adalah 50% dari harga pokok, maka harga jual 1 unit S-ACWH dengan sistem kontrol adalah:

Margin $50\% \times \text{Rp } 5.133.289,- = \text{Rp } 2.566.644,-$

Harga Pokok $\text{Rp } 5.133.289,-$

Harga Jual 1 unit S-ACWH dengan sistem kontrol

$\text{Rp } 2.566.644 + \text{Rp } 5.133.289 = \text{Rp } 7.699.933,-$

4.9.4 Perhitungan Biaya Operasional

Perhitungan biaya pemakaian ACWH

Data yang diketahui

Voltase 220 Watt

Arus 4,4 Ampere

Daya= $V \cdot I = 220 \times 4,4 = 968 \text{ Watt} = 0.968 \text{ kilowatt}$

Lama pemakaian S-ACWH untuk menghasilkan suhu yang cukup untuk mandi air hangat adalah selama 2 jam.

Biaya untuk 2000 kVA, dengan biaya listrik per kWh Rp 775,-

Biaya = $0.968 \times 2 \times \text{Rp } 775$

Biaya = 1.500,4

Perhitungan biaya tambahan *Electric Water Heater* dengan asumsi pemakaian selama 1 jam dan berdaya 400 Watt.

400 Watt=0,4 kWatt

Biaya = $0,4 \times 1 \times \text{Rp } 775$

Biaya = 310

Biaya bila menggunakan AC dan water heater secara terpisah

$\text{Rp } 1500,4 + \text{Rp } 310 = \text{Rp } 1800,4$

Presentase biaya

$$\frac{310}{1800,4} \times 100\% = 17,22\%$$

Dengan menggunakan S-ACWH kita dapat melakukan penghematan biaya operasional sebesar 17,22%.

4.10 Analisa S-ACWH dengan Desain Water Storage yang Dapat di Bongkar Pasang

Produk ACWH yang beredar di pasaran memiliki kelemahan untuk merawat *water storage* dan kondisi *heat exchanger* yang digunakan. *Water storage* yang dibuat fix dengan HE membuat kondisi *water storage* sulit dipantau. Apabila terdapat kerusakan atau kebocoran pada pipa HE, *water storage* perlu diganti bersama dengan HE yang rusak. Hal tersebut tidak praktis dan memakan biaya yang besar.

Dengan desain yang baru ini, *heat exchanger* dapat di bongkar pasang dan di ganti apabila terdapat kerusakan tanpa perlu membeli *water storage* yang baru. Terlebih lagi *water storage* memakan biaya yang besar. Agar S-ACWH dapat digunakan dalam kurun waktu yang lama, proses perawatan perlu dilakukan terutama proses pengecekan pipa serpentine dan membersihkan bagian dalam *water storage*.

4.11 Analisa Perhitungan Ekonomis S-ACWH

Produk S-ACWH memiliki banyak kelebihan apabila dibandingkan dengan produk ACWH sejenis di pasaran. Desain *heat exchanger* dengan jenis serpentine tube yang diletakkan di dasar tangki membuat perpindahan kalor lebih cepat sesuai dengan prinsip *natural convection*. S-ACWH hanya memerlukan waktu 1,5 hingga 2 jam saja untuk menyediakan air panas dengan temperatur 40°C hingga 45°C yang nyaman untuk dipakai mandi air hangat. Selain itu, dengan desain *water storage* yang dapat di bongkar pasang, proses perawatan terhadap pipa serpentine sebagai *heat exchanger* pun dapat dilakukan sehingga produk S-ACWH lebih awet untuk digunakan.

Produk ACWH di pasaran memiliki harga jual yang cukup tinggi. Wika sebagai salah satu produsen ACWH memberikan harga 1 unit *water storage* ACWH sebesar Rp 6.000.000,- untuk kapasitas 50 liter. Sedangkan S-ACWH dengan kapasitas air yang sama memiliki harga jual Rp 3.555.578,-. Perbedaan harganya kurang lebih mencapai 50%. Sudah jelas dengan kelebihan yang dimiliki S-ACWH dan harga yang terjangkau membuat produk S-ACWH dapat bersaing di pasaran. Selain itu, produk S-ACWH yang lengkap dengan 1 unit AC memiliki

harga jual Rp 6.116.683,-. Tidak jauh berbeda dengan harga *water storage* produk Wika. Namun, dengan harga yang sama, produk S-ACWH sudah lengkap dengan 1 unit AC sedangkan produk ACWH Wika hanya menyediakan *water storage* tanpa dilengkapi AC. Dengan begitu, S-ACWH memiliki prospek yang baik untuk bisa bersaing dengan produk sejenis di pasaran.

4.12 Analisa Break Even Point S-ACWH

Berikut adalah perhitungan BEP (Break Event Point) antara penggunaan S-ACWH dengan *electric water heater*. Merk *electric water heater* yang digunakan adalah ARISTON Ti SHAPE 50VE dengan kapasitas 50 liter, daya 500 watt, dan diasumsikan pemakaian *water heater* adalah 4 jam dalam satu hari.

Tabel 4.2 Perhitungan biaya electric water heater hingga bulan 7

Electric Water Heater	Bulan						
	1	2	3	4	5	6	7
Komponen Biaya							
Nilai Investasi	Rp2,930,000	0	0	0	0	0	0
Biaya Operasional Listrik	Rp 48,000						
Jumlah	Rp 2,978,000	Rp 48,000					
Akumulasi Biaya	Rp 2,978,000	Rp 3,026,000	Rp 3,074,000	Rp 3,122,000	Rp 3,170,000	Rp 3,218,000	Rp 3,266,000

Tabel 4.3 Perhitungan biaya electric water heater hingga bulan 14

Electric Water Heater	Bulan						
	8	9	10	11	12	13	14
Komponen Biaya							
Nilai Investasi	0	0	0	0	0	0	0
Biaya Operasional Listrik	Rp48,000						
Jumlah	Rp48,000						
Akumulasi Biaya	Rp3,314,000	Rp3,362,000	Rp3,410,000	Rp3,458,000	Rp3,506,000	Rp3,554,000	Rp3,602,000

Tabel 4.4 Perhitungan biaya S-ACWH hingga bulan 7

S-ACWH	Bulan						
	1	2	3	4	5	6	7
Komponen Biaya							
Nilai Investasi	Rp3,555,578	0	0	0	0	0	0
Biaya Operasional Listrik	0	0	0	0	0	0	0
Jumlah	Rp3,555,578	0	0	0	0	0	0
Akumulasi Biaya operasiona	Rp3,555,578						

Tabel 4.5 Perhitungan biaya S-ACWH hingga bulan 14

S-ACWH	Bulan						
	8	9	10	11	12	13	14
Komponen Biaya							
Nilai Investasi	0	0	0	0	0	0	0
Biaya Operasional Listrik	0	0	0	0	0	0	0
Jumlah	0	0	0	0	0	0	0
Akumulasi Biaya	Rp3,555,578						

Biaya Electric Water Heater

Nilai Investasi 1 unit Rp2,930,000,-

Biaya operasional per tahun Rp576,000,-

total biaya Rp3,506,000,-

Biaya S-ACWH

Nilai Investasi S-ACWH 50 liter Rp3,555,578,-

Biaya operasional per tahun 0

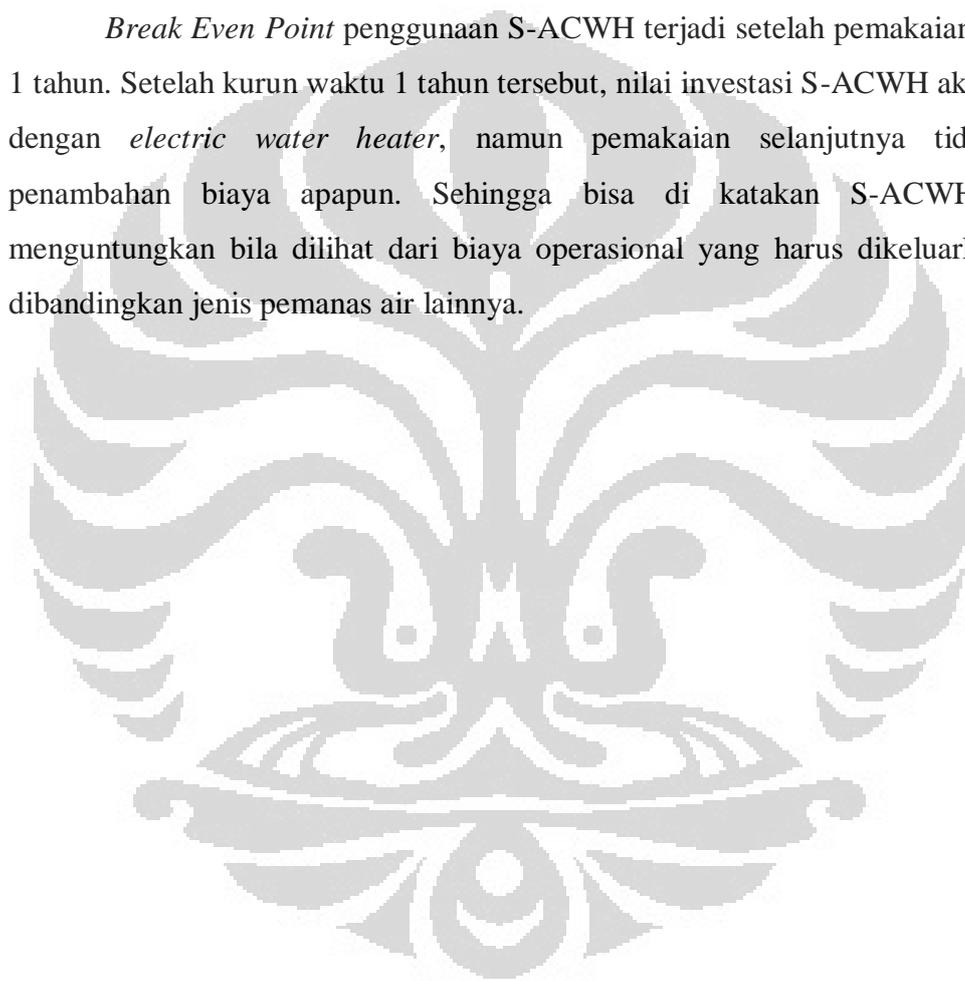
Total biaya Rp3,555,578,-

$$\text{BEP} = \text{Rp}3,555,578 / \text{Rp}3,506,000$$

$$\text{BEP} = 1.01$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa nilai investasi untuk S-ACWH lebih besar dibandingkan electric water heater, namun biaya operasional untuk S-ACWH sangat kecil bahkan bisa dikatakan tidak perlu biaya tambahan untuk membayar listrik atau biaya lainnya.

Break Even Point penggunaan S-ACWH terjadi setelah pemakaian selama 1 tahun. Setelah kurun waktu 1 tahun tersebut, nilai investasi S-ACWH akan sama dengan *electric water heater*, namun pemakaian selanjutnya tidak ada penambahan biaya apapun. Sehingga bisa di katakan S-ACWH lebih menguntungkan bila dilihat dari biaya operasional yang harus dikeluarkan bila dibandingkan jenis pemanas air lainnya.



BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan beberapa hal, yaitu :

- Dengan AC berdaya 1 PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur 57°C pada kapasitas 50 L.
- Keuntungan ACWH dengan *serpentine tube* pada water storage yaitu memerlukan waktu yang relatif singkat yaitu sekitar 1,5-2 jam setelah pertama kali AC dinyalakan.
- S-ACWH memiliki nilai efektifitas dan COP yang baik yaitu 0,4 untuk nilai efektifitas 0,4 dan 2,39 untuk nilai COP di evaporator. Hal tersebut dikarenakan perpindahan kalor yang terjadi sesuai dengan prinsip *natural convection* yaitu dengan meletakkan HE di dasar *water storage*.
- Desain water storage dengan tutup tangki yang dapat dibongkar pasang akan memudahkan proses perawatan, sehingga *tube serpentine* sebagai HE dapat di cek dan dibersihkan dengan mudah.
- Proses perawatan secara berkala yang dilakukan pada HE dan *water storage* secara berkala akan membuat S-ACWH lebih awet digunakan sehingga dapat melakukan penghematan biaya.
- Biaya yang diperlukan untuk 1 unit *water storage* produk S-ACWH sangat terjangkau yaitu Rp 3.555.578,- dan harga jual 1 unit produk S-ACWH lengkap dengan 1 unit AC yaitu Rp 6.116.683 sehingga produk S-ACWH dapat bersaing dengan produk sejenis di pasaran.
- Biaya operasional sehari-hari yang dikeluarkan untuk sistem S-ACWH ini lebih rendah bila dibandingkan dengan memakai AC dan *water heater* secara terpisah. Dengan pemakaian S-ACWH, kita dapat melakukan penghematan biaya operasional sebesar 17,22% dan BEP tercapai setelah satu tahun pemakaian.

5.2 Saran

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

1. Pada penelitian ini, *water storage* yang digunakan dimodifikasi dari yang sudah ada. Untuk mendapatkan kondisi yang lebih nyata, *water storage* di buat dengan menggunakan material baru sesuai dengan desain yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya.

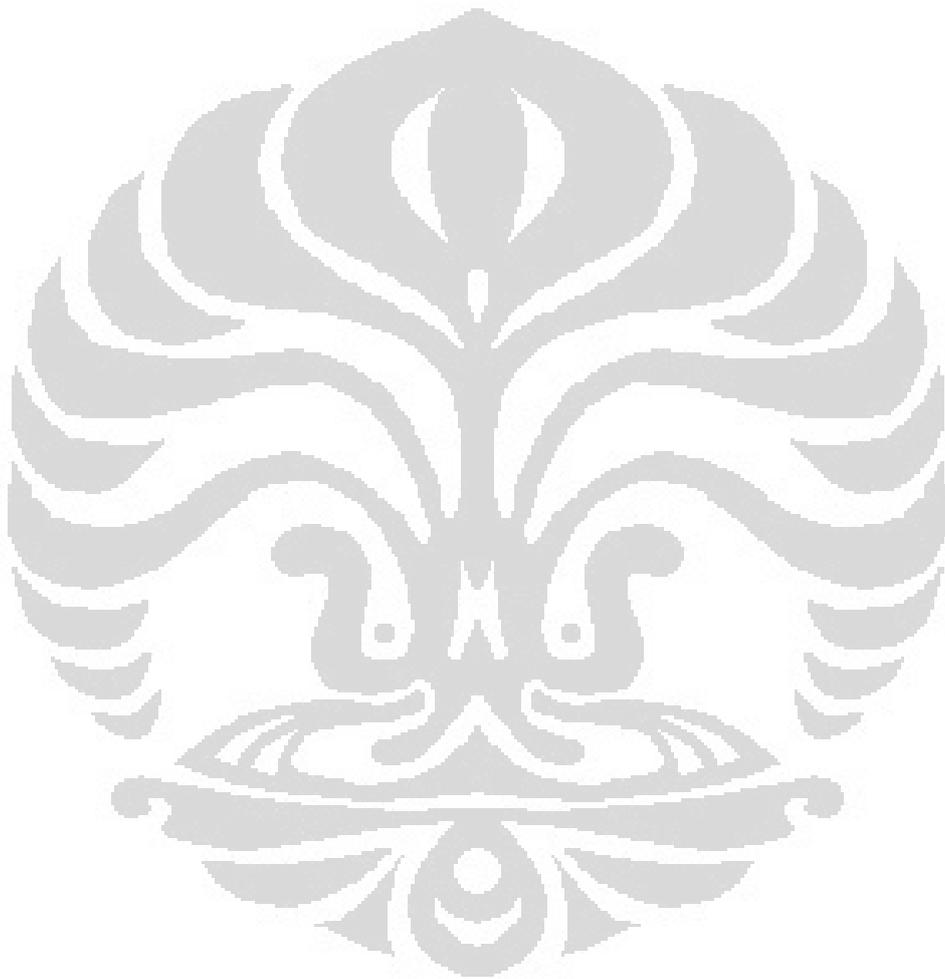


DAFTAR REFERENSI

- [1] Pemerintah Menerima Penundaan Harga BBM. (2012, April 23). *nasional.kompas.com*
<http://nasional.kompas.com/read/2012/03/31/07044844/Pemerintah.Menerima.Penundaan.Kenaikan.Harga.BBM>
- [2] Konsep Tepat, Kondominium Laris. (2012, April 23). *Seputar-Indonesia.com*
<http://www.seputar-indonesia.com/ediscetak/content/view/488567/>
- [3] Michael Hoel and Snorre Kverndokk, "Depletion of Fossil Fuels and The Impact of Global Warnings," *Resources and Energy Economics*, pp. 115-136, April 1996.
- [4] Energi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi, *Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia (EECCHI)*, 1st ed. Jakarta, Indonesia: Danish Energy Management, 2011.
- [5] Michael Hoel, Snorre Kverndokk, "Depletion of Fossil Fuels and the Impact of Global Warming", 1996
- [6] Huimin Jiang, Yiqiang Jiang, Yang Wang, Zuiliang Ma, Yang Yao, " An Experimental Study on A Modified Air Conditioner with A Domestic Hot Water Supply(ACDHWS)," *Energy*, vol.31, pp.1783-1803, May 2005.
- [7] B.W. Zingano. A discussion on thermal comfort with reference to bath water temperature to deduce a midpoint of the thermal comfort temperature zone. April 2000
- [8] Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston A. knight, "Product Design for Manufacture and Assembly", third edition, Wakefield, Rhode Island : CRC Press Taylor & Francis Group. 2011.
- [9] Grades of Stainless Steel – Grade 304(2012, April).
http://www.askzn.co.za/tech/tech_grade_304.htm
- [10] R.S. Khurmi, J.K. Gupta, *A Text Book of Machine Design*, third edition, Ram Nagar, New Delhi-110055: Eurasia Publishing House (Pvt.) LTD. 1982.

[11] Jual AC. (2012, April 13). *Tokobagus.com*

<http://elektronik-konsumen.tokobagus.com/kipas-ac-dan-cerobong-udara/jual-ac-8088088.html>



LAMPIRAN

Tabel Entalpi Refrigeran R22

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
20.000	4.400	420.7524991
20.000	5.400	419.0130836
20.000	6.400	417.2068917
20.000	7.400	415.3254953
20.000	8.400	413.3603531
20.000	9.400	411.2956494
20.000	10.400	409.1160081
20.000	11.400	406.7995762
20.000	12.400	404.3165506
20.000	13.400	401.6244237
20.000	14.400	398.6587976
20.000	15.400	395.313349
20.000	16.400	391.3822055
20.000	17.400	386.3971723
20.000	18.400	377.9377834
21.000	4.400	421.4598137
21.000	5.400	419.739194
21.000	6.400	417.953716
21.000	7.400	416.0953575
21.000	8.400	414.1560533
21.000	9.400	412.1208207
21.000	10.400	409.9752746
21.000	11.400	407.6990709
21.000	12.400	405.2647194
21.000	13.400	402.633482
21.000	14.400	399.7476353
21.000	15.400	396.5141537
21.000	16.400	392.7641884

T	p	H saturated liquid
°C	Bar	kJ/kg
44.000	6.400	255.0301612
44.000	7.400	255.0301612
44.000	8.400	255.0301612
44.000	9.400	255.0301612
44.000	10.400	255.0301612
44.000	11.400	255.0301612
44.000	12.400	255.0301612
44.000	13.400	255.0301612
44.000	14.400	255.0301612
44.000	15.400	255.0301612
44.000	16.400	255.0301612
44.000	17.400	255.0301612
44.000	18.400	255.0301612
45.000	4.400	256.384214
45.000	5.400	256.384214
45.000	6.400	256.384214
45.000	7.400	256.384214
45.000	8.400	256.384214
45.000	9.400	256.384214
45.000	10.400	256.384214
45.000	11.400	256.384214
45.000	12.400	256.384214
45.000	13.400	256.384214
45.000	14.400	256.384214
45.000	15.400	256.384214
45.000	16.400	256.384214
45.000	17.400	256.384214
45.000	18.400	256.384214

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
98.000	6.400	475.6127761
98.000	7.400	474.7163807
98.000	8.400	473.8081104
98.000	9.400	472.8875196
98.000	10.400	471.9541342
98.000	11.400	471.0074495
98.000	12.400	470.0469273
98.000	13.400	469.0719927
98.000	14.400	468.0820306
98.000	15.400	467.0763814
98.000	16.400	466.054337
98.000	17.400	465.0151349
98.000	18.400	463.9599098
99.000	4.400	478.1232145
99.000	5.400	477.2556295
99.000	6.400	476.3771915
99.000	7.400	475.4875172
99.000	8.400	474.5862006
99.000	9.400	473.6728111
99.000	10.400	472.7468913
99.000	11.400	471.8079548
99.000	12.400	470.8554831
99.000	13.400	469.8889233
99.000	14.400	468.9076843
99.000	15.400	467.9111332
99.000	16.400	466.8985911
99.000	17.400	465.8693286
99.000	18.400	464.8225597