

UNIVERSITAS INDONESIA

**UNJUK KERJA PENAMBAHAN APLIKASI SISTEM
KONTROL TEMPERATUR *BY-PASS* PADA ACWH DENGAN
ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE**

SKRIPSI

**RANGGA ARYA WARDANA
0806321253**

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**UNJUK KERJA PENAMBAHAN APLIKASI SISTEM
KONTROL TEMPERATUR *BY-PASS* PADA ACWH DENGAN
ALAT PENUKAR KALOR TIPE SERPENTINE**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

RANGGA ARYA WARDANA

0806321253

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA

DEPOK

JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

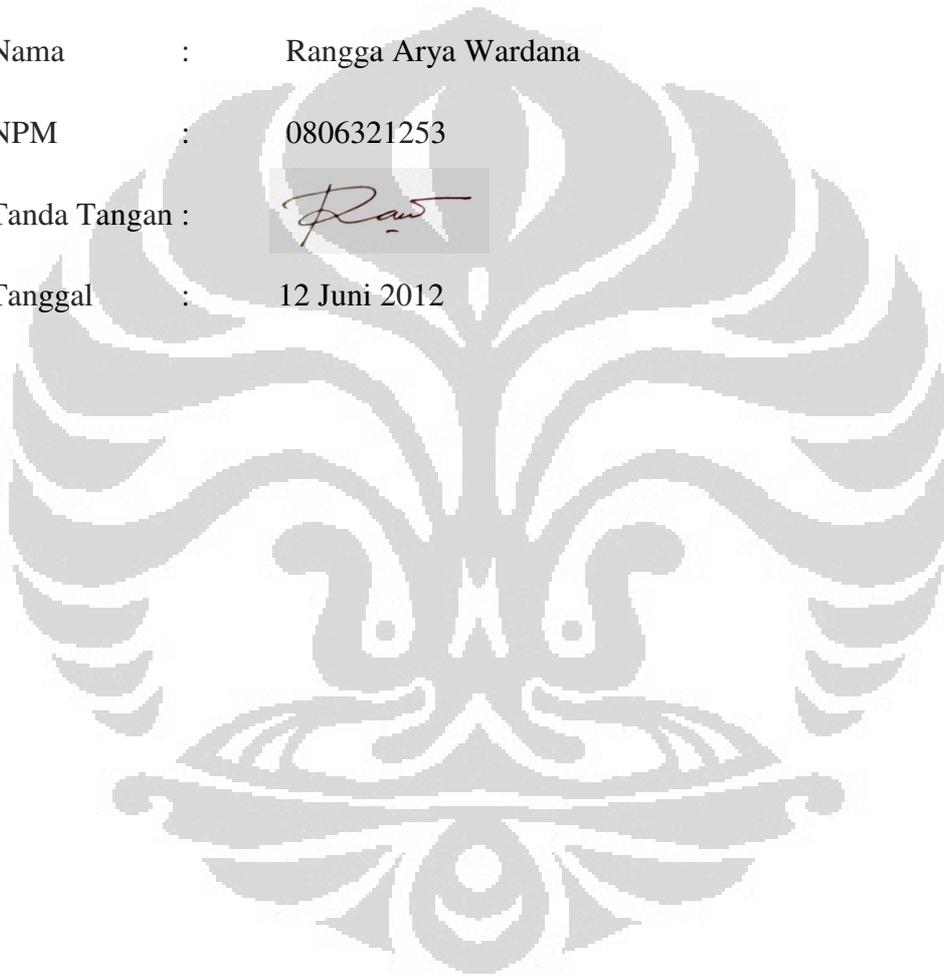
Nama : Rangga Arya Wardana

NPM : 0806321253

Tanda Tangan :



Tanggal : 12 Juni 2012



HALAMAN PENGESAHAN

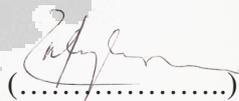
Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rangga Arya Wardana
NPM : 0806321253
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Unjuk Kerja Penambahan Aplikasi Sistem Kontrol
By-Pass pada ACWH dengan Alat Penukar Kalor
Tipe Serpentine

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. R. Danardono A.S. DEA. PE 

Pembimbing 2 : Prof. Dr.-Ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra 

Penguji : Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer DEA. 

Penguji : Dr. Agus Sunjarianto Pamitran ST., M.Eng 

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 18 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim, segala puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga menuntun dan memimpin penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir beserta pembuatan laporannya yang dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini ditulis guna memenuhi salah satu persyaratan pendidikan Sarjana Reguler pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Sangatlah banyak pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini, untuk itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dengan seluruh kerendahan hati kepada:

1. Allah SWT beserta junjungan besar Nabi Muhammad SAW.
2. Dr. Ir. R. Danardono A.S. DEA. PE, selaku dosen pembimbing I dan Prof. Dr-Ing Nandy Putra, selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah membantu, memberikan bimbingan serta saran yang membangun guna terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Papa, Mama, Ino dan seluruh keluarga atas dukungan, perhatian dan doa selama ini. Semoga kelak Penulis dapat membalas jasa-jasa yang telah kalian lakukan dan membahagiakan Papa, Mama.
4. Anissa Feby, yang selalu menemani, mendukung dan selalu ada ketika Penulis butuhkan. Terima kasih untuk dukungan serta doa yang tidak henti-hentinya diberikan. Tahun ini kita wisuda bareng!
5. Elfan Haris, rekan seperjuangan sekaligus *partner* dalam penelitian Tugas Akhir. Suka dan duka bersama kita lewati bersama hingga skripsi ini pun terselesaikan.
6. Teman-teman seperjuangan di *Applied Heat Transfer 2008* Lab Universitas Indonesia, Rio Wirawan, Gerry Julian, Ary Maulana, Annisa Nurulianthy, Bimo Sakti W., Retsa Anugrah M.
7. Rekan-Rekan di *Applied Heat Transfer* Lab Universitas Indonesia, Khususnya Bapak Ridho, Mas Wayan Nata dan Ichwan Nurhalim yang telah sangat membantu dan memberikan ilmu yang sangat bermanfaat.

8. Mesin 2008 atas kenangan-kenangan yang diberikan baik suka maupun duka, kalian adalah sahabat terbaik yang pernah ada.
9. Teman-teman seperjuangan di kosan Pondok Ijo, Mario Reinzini, Aditya Primaperkasa, dan Okta Dwiputra. Terima kasih untuk canda, tawa, suka dan duka selama 4 tahun terakhir ini. Kalian adalah keluarga terdekat dan akan selalu ada di hati.
10. Bapak Haryanto, Bapak Engkos, dkk, yang telah banyak membantu dalam persiapan pembuatan alat.

Akhir kata, penulis haturkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, serta pihak-pihak terkait yang tidak penulis sebutkan namanya satu per satu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi penulis dan para pembaca sekalian.

Depok, 12 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Rangga Arya Wardana
NPM : 0806321253
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 :

**UNJUK KERJA PENAMBAHAN APLIKASI SISTEM KONTROL
TEMPERATUR *BY-PASS* 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 mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Juni 2012

Yang menyatakan,



(Rangga Arya Wardana)

ABSTRAK

Nama : Rangga Arya Wardana
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Unjuk Kerja Penambahan Aplikasi Sistem Kontrol Temperatur *By-pass* pada ACWH dengan Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine

Kebutuhan energi dunia semakin meningkat, hal ini memicu berbagai isu dunia yang membutuhkan perhatian khusus, yaitu krisis energi dan pemanasan global. Krisis energi terjadi karena kebutuhan dunia akan bahan bakar fosil sangat besar. Berdasarkan data dan estimasi, terjadi peningkatan kebutuhan bahan bakar minyak dan gas bumi dunia dari 26 juta barel per hari pada tahun 2006, menjadi 46 juta barel pada tahun 2015, dan akan terus meningkat hingga 61 juta barel pada tahun 2030. Di Indonesia, dalam kurun waktu 40 tahun terakhir, penggunaan bahan bakar fosil sebesar 36%. Penggunaan dan ketergantungan bahan bakar fosil secara terus-menerus ini mengakibatkan efek pemanasan global. Efisiensi serta konservasi energi diperlukan untuk mengatasi permasalahan global ini. Salah satu aplikasi nyata dalam ilmu perpindahan panas dalam kehidupan sehari-hari adalah ACWH. ACWH merupakan sebuah sistem yang memanfaatkan panas buang refrigeran untuk menghasilkan air panas secara instan dan cocok digunakan di hunian apartemen. ACWH dapat menghemat 70% energi untuk penggunaan pemanas air listrik setiap tahunnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik ACWH dengan alat penukar kalot tipe serpentine dengan penambahan aplikasi sistem kontrol temperatur *by-pass* sehingga pengguna dapat melakukan penyetelan temperatur air panas sesuai keinginan. Beban pendinginan dan temperatur air panas divariasikan dalam pengambilan data. Dengan adanya penambahan sistem kontrol, kerja kompresor meningkat 7% dan waktu pemanasan air sebesar 45°C dibutuhkan waktu 60 menit.

Kata Kunci : *energi, sistem kontrol, beban pendinginan, temperatur air panas*

ABSTRACT

Name : Rangga Arya Wardana
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Performance of Addition Temperature Control By-pass System on AWCH with Serpentine Type Heat Exchanger

The world's energy needs is more and more increase, this triggers a variety of world issues that need a special attention, namely the energy crisis and global warming. Energy crisis occurred because the world will need a very large fossil fuel. Based on data and estimation, there is the world's need increased for fuel oil and natural gas consumption from 26 million barrels per day in 2006, to 46 million barrels in 2030, and will continue to increase to 61 million barrels in 2030. In Indonesia, within a period of 40 years, fossil fuel used by 36%. The use of fossil fuels and dependence on an ongoing basis has led to global warming. Efficiency and energy conservation is needed to solve these world issues. One obvious application in the science of heat transfer in everyday life is ACWH. ACWH is a system that utilizes waste heat of refrigerant to produce hot water instantly and suitable for use in residential apartments. ACWH can save up to 70% energy used for water heater use electricity every year. The purpose of this study was to determine the characteristics of ACWH with serpentine type heat exchanger with the addition of temperature control system application by-pass that allow users to perform a hot water temperature setting as desired. Cooling load and the hot temperature was varied in the retrieval of data. Within the addition of control system, the compressor work increased by 7% and the time for heating water at 45°C is 60 minutes.

Key Words : *energy, control system, cooling load, hot water temperature*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN 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.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Pembatasan Masalah	6
1.5 Metodologi Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Jenis Pemanas Air di Pasaran.....	9
2.1.1 Pemanas Air Listrik.....	9
2.1.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas	10
2.1.3 Pemanas Air Tenaga Surya	11
2.1.4 Air Conditioner Water Heater.....	12
2.2 Penelitian ACWH Sebelumnya	14
2.2.1 ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass	14
2.2.2 ACWH dengan Pipa Helical 1 Shell Pass	15
2.2.3 ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass	15
2.2.4 ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass.....	15
2.2.5 ACWH dengan Pipa Helical 3 Lualan	16
2.2.6 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 14 Lembar	16
2.2.7 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 30 Lembar	18
2.2.8 ACWH dengan Helical Coil Water Storage.....	19
2.3 Dasar Sistem Kontrol	20
2.3.1 Kontroler Otomatis, Aktuator dan Sensor.....	20
2.4 Kenyamanan Thermal	27
BAB 3 METODE PENELITIAN	28
3.1 Instalasi Alat Pengujian.....	28
3.2 Komponen Alat Pengujian	29
3.2.1 Sistem Air Conditioner	29
3.2.2 Tangki Air	30

3.2.3	Alat Penukar Kalor.....	31
3.2.4	Data Akusisi	31
3.2.5	Termokopel	33
3.2.6	Beban Pendingin	33
3.2.7	Solenoid valve	34
3.2.8	Check valve.....	35
3.2.9	Relay	35
3.2.10	Thermostat.....	36
3.2.11	Clamp meter	36
3.2.12	Pressure Gauge.....	37
3.3	Prosedur Pengambilan Data	37
3.4	Prosedur Pengolahan Data.....	41
BAB 4	ANALISA DATA PENELITIAN.....	43
4.1	Analisa Karakteristik ACWH Tanpa Sistem Kontrol	43
4.2	Analisa Karakteristik ACWH dengan Sistem Kontrol.....	47
4.3	Analisa Unjuk Kerja Kompresor.....	52
4.4	P-h Diagram	55
4.5	Analisa Perpindahan Panas.....	79
4.6	Analisa Unjuk Kerja ACWH.....	82
4.7	Analisa Penggunaan ACWH dengan Sistem Kontrol di Hunian Apartemen	84
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	86
5.1	Kesimpulan.....	86
5.2	Saran	86
	REFERENSI.....	88
	LAMPIRAN.....	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Komposisi Energi Indonesia	3
Gambar 2.1 Pemanas Air Listrik.....	9
Gambar 2.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas	10
Gambar 2.3 Pemanas Air Tenaga Surya	12
Gambar 2.4 Siklus ACWH.....	13
Gambar 2.5 Skema ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass.....	14
Gambar 2.6 Skema ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass	15
Gambar 2.7 Skema ACWH dengan Pipa Helical 3 Lajuan	16
Gambar 2.8 Skema pengujian ACWH 14 Plat.....	17
Gambar 2.9 Skema dan alat ACWH dengan PHE 14 Plat.....	17
Gambar 2.10 Skema pengujian ACWH HCWS	19
Gambar 2.11 Skema dan alat ACWH dengan Helical Coil Water Storage	19
Gambar 2.12 Diagram blok kontroler on-off	21
Gambar 2.13 Kurva tinggi $h(t)$ versus t	21
Gambar 2.14 Diagram blok kontroler proporsional	22
Gambar 2.15 Diagram blok kontroler integral	23
Gambar 2.16 Gambar kontroler proporsional ditambah integral.....	24
Gambar 2.17 Diagram masukan langkah unit dan keluaran kontroler.....	24
Gambar 2.18 Diagram blok kontroler ditambah turunan	25
Gambar 2.19 Diagram yang menggambarkan unit masukan fungsi landai dan keluarannya	25
Gambar 2.20 Diagram blok kontroler proporsional ditambah integral ditambah turunan.....	26
Gambar 2.21 Diagram yang menggambarkan unit masukan fungsi landai dan keluaran kontroler	26
Gambar 3.1 Rangkaian sistem kontrol	28
Gambar 3.2 Air Conditioner	30
Gambar 3.3 Tangki 3 dimensi (a) tampak belakang, (b) tampak depan	30
Gambar 3.4 Tangki penyimpanan air.....	31
Gambar 3.5 Alat penukar kalor tipe serpentine	31
Gambar 3.6 <i>Chassis</i> NIcDAQ-9174	32
Gambar 3.7 Modul NI DAQ-9219	32
Gambar 3.8 Lampu pijar yang digunakan sebagai beban pendinginan	33
Gambar 3.9 Solenoide valve 1/4”	34
Gambar 3.10 Check valve	35
Gambar 3.11 Relay.....	35
Gambar 3.12 Thermostat.....	36
Gambar 3.13 Clamp meter	37
Gambar 3.14 Skema pengujian dan pengambilan data	39

Gambar 3.15 (a) <i>High pressure gauge</i> , (b) <i>low pressure gauge</i>	39
Gambar 3.16 (a) Termokopel 1 & 2, (b) Termokopel 3 & 4	40
Gambar 3.17 (a) Termokopel 5, (b) Termokopel 6.....	40
Gambar 3.18 Termokopel 7	41
Gambar 4.1 Grafik karakteristik 1800 watt.....	43
Gambar 4.2 Grafik karakteristik 2000 watt.....	44
Gambar 4.3 Grafik karakteristik 2200 watt.....	45
Gambar 4.4 Grafik karakteristik 1800 <i>by-pass</i> 45°C	47
Gambar 4.5 Grafik karakteristik 1800 <i>by-pass</i> 55°C.....	48
Gambar 4.6 Grafik karakteristik 2000 <i>by-pass</i> 45°C	49
Gambar 4.7 Grafik karakteristik 2200 <i>by-pass</i> 45°C	50
Gambar 4.8 Grafik temperatur air terhadap variasi beban pendingin	51
Gambar 4.9 Grafik tekanan terhadap variasi beban pendinginan	52
Gambar 4.10 Grafik kerja kompresor terhadap variasi beban pendinginan.....	53
Gambar 4.11 P-h diagram untuk beban pendinginan 1800 watt.....	58
Gambar 4.12 P-h diagram untuk beban pendinginan 1800 watt <i>by-pass</i> 45°C	62
Gambar 4.13 P-h diagram untuk beban pendinginan 2000 watt.....	66
Gambar 4.14 P-h diagram untuk beban pendinginan 2000 watt 45°C.....	70
Gambar 4.15 P-h diagram untuk beban pendinginan 2200 watt.....	74
Gambar 4.16 P-h diagram untuk beban pendinginan 2200 watt <i>by-pass</i> 45°C	78
Gambar 4.17 Grafik penyerapan kalor pada air terhadap variasi beban pendinginan	79
Gambar 4.18 Grafik penyerapan kalor pada kondenser terhadap variasi beban pendinginan	80
Gambar 4.19 Grafik efek refrigerasi pada evaporator terhadap variasi beban pendinginan	81
Gambar 4.20 Grafik efektifitas terhadap variasi beban pendingin	82
Gambar 4.21 Grafik COP terhadap variasi beban pendinginan	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi PHE CB26-14H	17
Tabel 2.2 Spesifikasi PHE CB26-30H	18
Tabel 2.3 Kenyamanan thermal temperatur air mandi [13]	27
Tabel 4.1 Data properties evaporator pada software coolpack (1800 watt).....	55
Tabel 4.2 Data properties kondenser pada software coolpack (1800 watt)	56
Tabel 4.3 Data properties kompresor pada software coolpack (1800 watt).....	57
Tabel 4.4 Data properties evaporator pada software coolpack (1800 watt <i>by-pass</i>)	59
Tabel 4.5 Data properties kondenser pada software coolpack (1800 watt <i>by-pass</i>)	60
Tabel 4.6 Data properties kompresor pada software coolpack (1800 watt <i>by-pass</i>)	61
Tabel 4.7 Data properties evaporator pada software coolpack (2000 watt).....	63
Tabel 4.8 Data properties kondenser pada software coolpack (2000 watt)	64
Tabel 4.9 Data properties kompresor pada software coolpack (2000 watt).....	65
Tabel 4.10 Data properties evaporator pada software coolpack (2000 watt <i>by-pass</i>)	67
Tabel 4.11 Data properties kondenser pada software coolpack (2000 watt <i>by-pass</i>)	68
Tabel 4.12 Data properties kompresor pada software coolpack (2000 watt <i>by-pass</i>)	69
Tabel 4.13 Data properties evaporator pada software coolpack (2200 watt).....	71
Tabel 4.14 Data properties kondenser pada software coolpack (2200 watt)	72
Tabel 4.15 Data properties kompresor pada software coolpack (2200 watt).....	73
Tabel 4.16 Data properties evaporator pada software coolpack (2200 watt <i>by-pass</i>)	75
Tabel 4.17 Data properties kondenser pada software coolpack (2200 watt <i>by-pass</i>)	76
Tabel 4.18 Data properties kompresor pada software coolpack (2200 watt <i>by-pass</i>)	77

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan mendasar bagi makhluk hidup untuk melangsungkan kehidupannya. Tidak dapat diragukan bahwa tanpa adanya sumber energi yang berlimpah, kehidupan makhluk hidup pada umumnya dan populasi manusia dalam skala global pada khususnya akan sangat terganggu. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menghasilkan energi, diantaranya adalah dengan memanfaatkan sumber energi tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil dan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Sumber energi yang lazim digunakan oleh masyarakat dunia berasal dari bahan bakar fosil, seperti minyak dan gas yang berasal dari perut bumi. Hal ini diperkuat dengan kajian yang dilakukan oleh Badan Pemerhati Energi Dunia (WEO), dimana terjadi peningkatan kebutuhan bahan bakar minyak dan gas bumi dari 26 juta barel per hari pada tahun 2006, menjadi 46 juta barel pada tahun 2015, dan akan terus meningkat hingga 61 juta barel pada tahun 2030 [1]. Hal ini diakibatkan oleh semakin meningkatnya populasi dunia dan ketergantungan akan bahan bakar fosil.

Pemanfaatan bahan bakar fosil secara terus-menerus mengakibatkan terjadinya isu dunia yang semakin serius, yaitu pemanasan global. Pemanasan global (*global warming*) pada dasarnya merupakan fenomena peningkatan temperatur global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek emisi gas rumah kaca (*greenhouse effect*) yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas-gas seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrooksida (N₂O) dan CFC sehingga energi matahari terperangkap dalam atmosfer bumi [2].

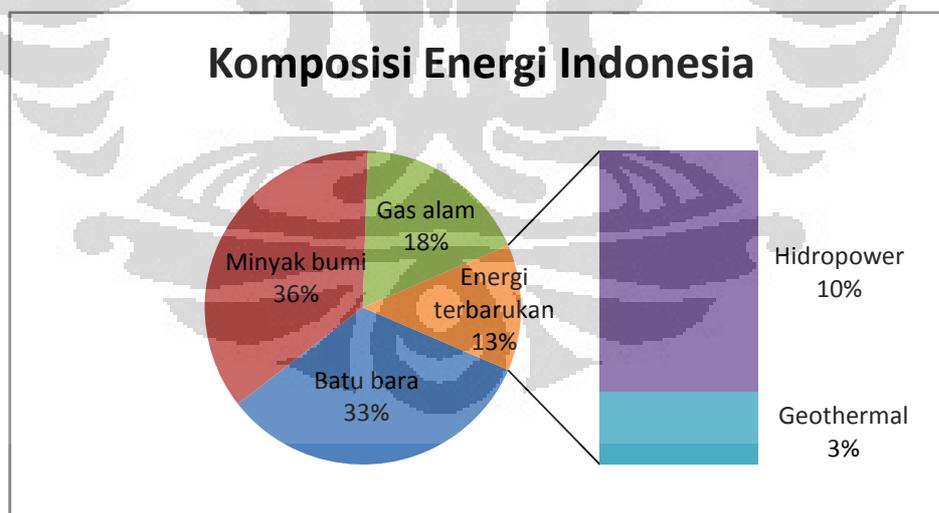
Sebanyak 70-75% CO₂ dari total emisi gas buang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil. Jumlah CO₂ yang semakin hari semakin meningkat akan mengakibatkan terjadinya fenomena efek emisi gas rumah kaca [3]. Dua hal yang dapat dijadikan indikator nyata pemanasan global adalah meningkatnya permukaan air laut dan perubahan iklim. Fakta nyata yang memperkuat fenomena ini diantaranya [4]:

1. Perubahan iklim yang terjadi di belahan dunia, seperti melelehnya lapisan es di Artik dan Antartika, gelombang ombak panas yang mengakibatkan tingginya temperatur di Eropa Barat dan Afrika, badai *typhoons* di Jepang dan banjir yang melanda beberapa negara di Asia
2. Badan Penanggulangan Perubahan Iklim (IPCC) menyebutkan bahwa sejak tahun 1995 hingga tahun 2006 merupakan 11 tahun dengan temperatur permukaan bumi terpanas sepanjang sejarah yang terukur semenjak tahun 1850. Selain itu bukti yang terukur membuktikan kenaikan temperatur permukaan bumi sebesar 0.74°C selama 100 tahun mulai dari tahun 1906-2005, data ini lebih besar dari prediksi yang dilakukan oleh IPCC sebelumnya yang memperkirakan kenaikan temperatur permukaan bumi sebesar 0.6°C
3. IPCC juga memprediksi jika perilaku ketergantungan akan bahan bakar fosil tidak dapat dikurangi, maka pada tahun 2100 ketinggian air laut secara global akan meningkat sekitar 9-88 cm dan rata-rata batas kenaikan temperatur bumi sekitar 1.5°C - 5.5°C
4. Sebelum adanya revolusi industri, konsentrasi CO_2 pada atmosfer bumi berada pada batas 270-280 ppm (parts per million). Namun sekarang konsentrasi CO_2 meningkat hingga 380 ppm, dan akan terus meningkat hingga 1.5 ppm tiap tahunnya.

Efisiensi energi dan konservasi energi merupakan hal utama yang harus dilakukan untuk mengatasi permasalahan global yang telah dijelaskan sebelumnya. Menurut UU no 30/2007 tentang energi dan pp no 70/2007 tentang konservasi energi, efisiensi energi bisa diartikan sebagai upaya pengurangan konsumsi energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu jenis produk atau jasa yang dihasilkan tanpa mengurangi kualitas dari produk atau jasa yang dihasilkan. Sedangkan 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 [5].

Kampanye penghematan energi sedang gencar dilakukan oleh dunia termasuk Indonesia. Hal ini ditegaskan oleh Instruksi Presiden Republik Indonesia No.2 Tahun 2008 tentang Penghematan Energi dan Air, dimana Presiden Republik Indonesia memerintahkan kepada semua jajaran pemerintah untuk melakukan penghematan energi dalam skala nasional. Selain itu juga kebijakan ketahanan energi yang diatur dalam MP3EI (Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia) 2011-2025 dalam Prasyarat Keberhasilan Pembangunan, ketahanan energi didasarkan kepada manajemen resiko dari kebutuhan dan ketersediaan energi di Indonesia, yang meliputi:

- Manajemen resiko tersebut melalui pengaturan komposisi energi (*energy mix*) yang mendukung pembangunan ekonomi Indonesia secara berkelanjutan;
- Revisi peraturan perundang-undangan yang tidak mendukung iklim usaha, serta perbaikan konsistensi antar peraturan;
- Pembatasan ekspor komoditas energi untuk pengolahan lebih lanjut di dalam negeri guna meningkatkan nilai tambah ekspor;
- Tata kelola penambangan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan.



Gambar 1.1 Komposisi Energi Indonesia

Komposisi energi Indonesia dalam kurun waktu 40 tahun terakhir yaitu 33% batu bara, 36% minyak bumi, 18% gas alam dan energi terbarukan (10% hidropower dan 3% geothermal) [6]. Berdasarkan data tersebut, ketergantungan

energi akan minyak bumi yang kurang ramah lingkungan membuat MP3EI juga dirumuskan dengan memperhatikan Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) karena merupakan komitmen nasional yang berkenaan dengan perubahan iklim global [7].

Indonesia adalah negara berkembang dengan kebutuhan energi dan peningkatan populasi yang semakin membengkak. Peningkatan populasi pun berpengaruh pada keberhasilan pembangunan. Dalam hal pembangunan hunian, pemerintah bekerja sama dengan pengembang hunian dalam mendirikan apartemen residen. Data statistik menyebutkan bahwa total pembangunan gedung hunian apartemen di Indonesia menempati persentase sebesar 14%-20% dari total konstruksi nasional pada tahun 2001-2005 [8]. Peningkatan jumlah hunian apartemen di Jakarta meningkat dari 24.000 unit menjadi 35.000 unit sejak tahun 1999-2004 [9]. Dengan meningkatnya pembangunan apartemen residen maka kebutuhan energi khususnya energi listrik sangat besar. Salah satu penggunaan energi listrik terbesar dalam sebuah hunian adalah pendingin ruangan (AC). Penggunaan energi listrik yang digunakan untuk menyalakan AC dalam sebuah gedung di Indonesia berkisar antara 30%-50% dari total konsumsi listrik sebuah gedung [10].

Meningkatnya temperatur permukaan bumi akibat pemanasan global membuat Indonesia sebagai negara tropis menjadi semakin panas dengan ditandainya kenaikan temperatur sebesar 3-5°C [4]. Hal ini menuntut masyarakat melakukan suatu cara untuk menciptakan suatu kondisi yang nyaman dengan menggunakan pendingin ruangan dalam huniannya. Di sisi lain, selain untuk faktor kenyamanan, sebagian masyarakat memiliki gaya hidup yang juga harus terpenuhi dalam huniannya yaitu pemanas air.

Umumnya aplikasi penggunaan pendingin ruangan dan pemanas air dalam sebuah apartemen dilakukan oleh dua sistem berbeda yang tidak saling terintegrasi. Padahal panas yang dibuang oleh sistem pendingin ruangan dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air. Konsep inilah yang melahirkan teknologi sistem *Air Conditioner Water Heater* (ACWH). Dengan menggunakan ACWH, sebuah hunian dalam apartemen mendapatkan dua keuntungan yaitu pendingin ruangan dan pemanas air dalam satu sistem yang saling terintegrasi. Aplikasi

ACWH secara nyata berperan aktif dalam proses efisiensi dan konservasi energi karena sistem ini dapat mereduksi efek pemanasan global, hal ini disebabkan panas buang pendingin ruangan yang seharusnya dibuang ke lingkungan dimanfaatkan untuk memanaskan air. Selain itu juga sistem ini menghemat penggunaan listrik yang biasanya digunakan oleh pemanas air listrik, artinya konsep efisiensi untuk penghematan energi berperan dalam aplikasi sistem ini.

ACWH bukan merupakan teknologi yang baru dikembangkan. Menurut data dari ASHRAE, teknologi ini pertama kali diaplikasikan untuk hunian residen pada tahun 1965, dan terbukti dapat menghemat 70% energi untuk memanaskan air domestik gedung residen setiap tahunnya [11]. Namun efektifitas dari sistem ini mengalami perkembangan yang sangat panjang, diantaranya dengan ditemui beberapa persoalan yang timbul. Seiring majunya teknologi dan perkembangan ilmu pengetahuan, penelitian mengenai efektifitas sistem ACWH semakin berkembang pesat sehingga persoalan-persoalan yang timbul dapat diatasi.

1.2 Perumusan Masalah

ACWH merupakan teknologi alternatif yang dapat diterapkan dalam suatu hunian apartemen. Dengan menggunakan sistem pemanas air ini, maka penghuni dapat menghemat pengeluaran dengan mengurangi biaya listrik yang pada umumnya dikeluarkan pada pemanas air listrik. Serta sistem ini juga aman dari bahaya ledakan yang dapat terjadi pada pemanas air dengan bahan bakar gas. Namun untuk memberikan kemudahan bagi pengguna, maka dilakukan penelitian mengenai karakteristik sistem ACWH ini dengan penambahan sistem kontrol temperatur *by-pass*.

1.3 Tujuan Penelitian

Merancang sistem kontrol *by-pass* pada ACWH dengan alat penukar kalor tipe serpentine untuk dapat menghasilkan temperatur keluaran air panas sesuai keinginan pengguna. Dengan penambahan sistem kontrol ini diharapkan tidak perlu dilakukannya penambahan air dingin, sehingga pemanfaatan air panas dapat bekerja dengan lebih efektif. Kemudian dilakukan suatu pengujian untuk

mengetahui pengaruh penambahan sistem kontrol *by-pass* pada kinerja pendingin ruangan secara keseluruhan.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Unit *Air Conditioner* yang digunakan memiliki daya 1 PK
2. Beban pendingin untuk mensimulasikan beban pendingin pada ruangan tempat tinggal yang divariasikan berasal dari lampu pijar yang masing-masing memiliki daya 100 Watt. Variasi pengambilan data dilakukan pada beban pendinginan 1800, 2000 dan 2200 Watt
3. Temperatur keluaran air panas yang dikontrol adalah 45°C dan 55°C
4. Temperatur pada *remote AC* diset pada temperatur 16°C dengan asumsi kompresor selalu menyala ketika dilakukan pengambilan data
5. Proses simulasi dilakukan pada suatu kabin berukuran 1.5 x 1.5 x 3.5 m dengan isolator berupa polyurethane berketebalan 10 cm, di dalam kabin diletakkan evaporator
6. Pengukuran pada pengujian ini meliputi pengukuran temperatur air, serta pengukuran temperatur dan tekanan dari refrigeran
7. Tidak terjadi *heat loss* dari kabin dan tangki penampung air panas ke lingkungan

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur merupakan suatu kajian yang dilakukan melalui beberapa sumber seperti buku, penelitian jurnal ilmiah internasional, dan juga referensi dari beberapa situs-situs di internet
2. Perancangan dan Instalasi Sistem Kontrol ACWH
Perancangan sistem kontrol untuk ACWH bertujuan untuk mengoptimasi sistem yang sudah ada. Pada pengujian kali ini dilakukan perancangan sistem kontrol dan juga penambahan sistem pemipaan dari AC normal sehingga panas

refrigeran dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air, sekaligus dapat mengontrol temperatur yang diinginkan dari air panas yang dihasilkan

3. Pengujian ACWH

Unjuk kerja alat dilakukan dengan proses pengambilan data temperatur, tekanan pada alat uji dan juga arus listrik kompresor pada AC

4. Perhitungan, Analisa dan Kesimpulan Penelitian

Data yang didapat dari pengujian kemudian diolah untuk mendapatkan grafik-grafik pengujian ACWH dengan penambahan sistem kontrol. Dimana grafik-grafik yang dihasilkan akan menggambarkan karakteristik dari ACWH, kemudian dibuat suatu analisa berdasarkan data yang ditampkkan dari grafik-grafik tersebut. Dengan adanya analisa ilmiah yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan yang bermanfaat dari hasil penelitian ini

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan skripsi ini berdasarkan pada urutan bab-bab berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

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

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III. METODE PENELITIAN

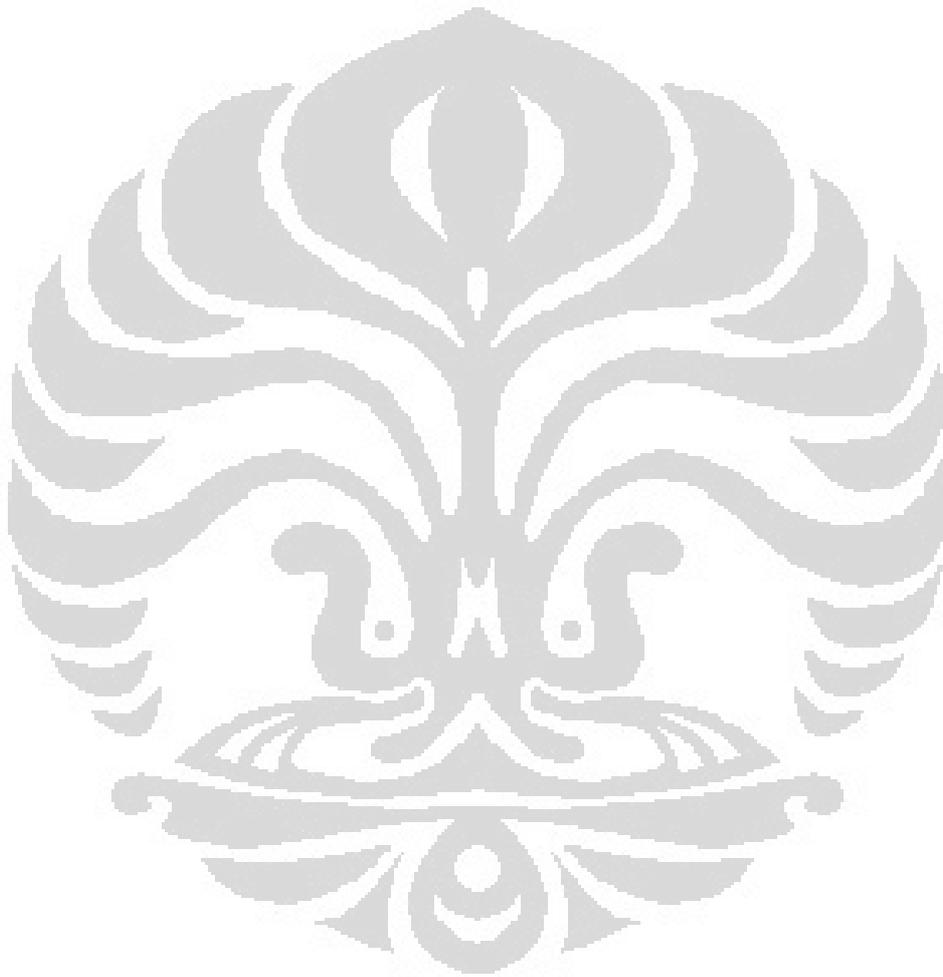
Bab ini berisi desain awal, perancangan dan instalasi alat pengujian, gambar instalasi alat pengujian, dan prosedur pengambilan data.

BAB IV. ANALISA DATA PENELITIAN

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

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang dirumuskan dari hasil penelitian dan saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya.



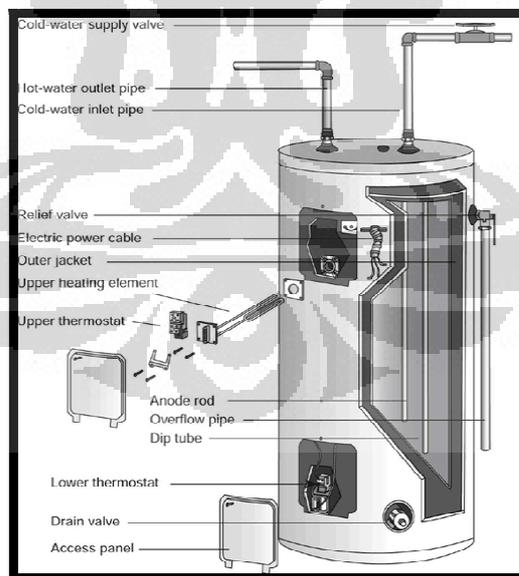
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Pemanas Air di Pasaran

2.1.1 Pemanas Air Listrik

Pemanas air listrik merupakan jenis pemanas air yang biasanya digunakan, karena cukup murah dari segi biaya. Akan tetapi pemanas air listrik ini membutuhkan energi listrik yang cukup besar untuk memanaskan air. Selain itu juga dari segi keamanan cukup berbahaya akan dapat menyebabkan sengatan listrik akibat diteruskannya listrik melalui air. Oleh karena itu dibutuhkan komponen tambahan untuk mengamankan listrik dari alat ini, yaitu ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker).

Prinsip kerja pemanas air listrik adalah dengan cara mengalirkan air dalam sebuah tangki berisolasi yang dilengkapi dengan elemen pemanas yang akan memanaskan air karena adanya arus listrik. Secara sederhana prinsip kerjanya sama seperti memasak air dengan tungku, akan tetapi sumber panas dihasilkan oleh elemen pemanas yang dialiri arus listrik.



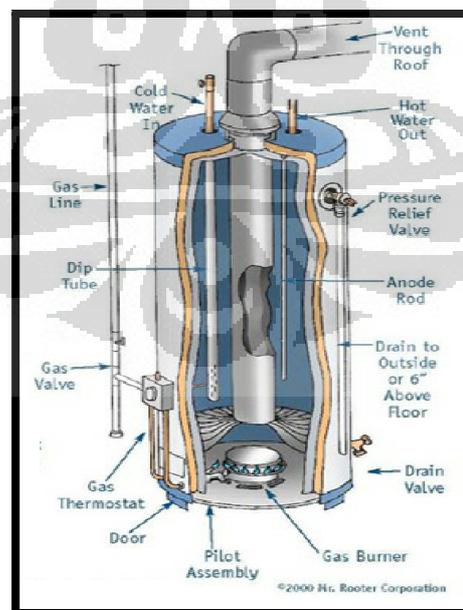
Gambar 2.1 Pemanas Air Listrik

Sumber: http://www.renovateyourworld.com/HowTo_Library/Fixing_Electric_Water_Heaters-F2171.html

2.1.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

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

Kelebihan pemanas ini adalah harga yang murah dan pemanasan yang relatif lebih cepat yaitu setengah jam untuk memanaskan air sebanyak 20 liter. Namun kekurangannya adalah banyak terjadi masalah yang kerap terjadi pada tabung gas, seperti kerusakan pada regulator, saluran air yang tersumbat dan tekanan air yang kurang sehingga mesin tidak dapat bekerja. Selain itu juga dibutuhkan sistem ventilasi yang baik untuk menyediakan asupan oksigen yang cukup agar pembakaran yang terjadi di dalam tangki berlangsung sempurna. Karena jika ventilasi tidak baik, pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan karbon monoksida yang berbahaya jika terhirup oleh manusia dan dapat menyebabkan keracunan.



Gambar 2.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

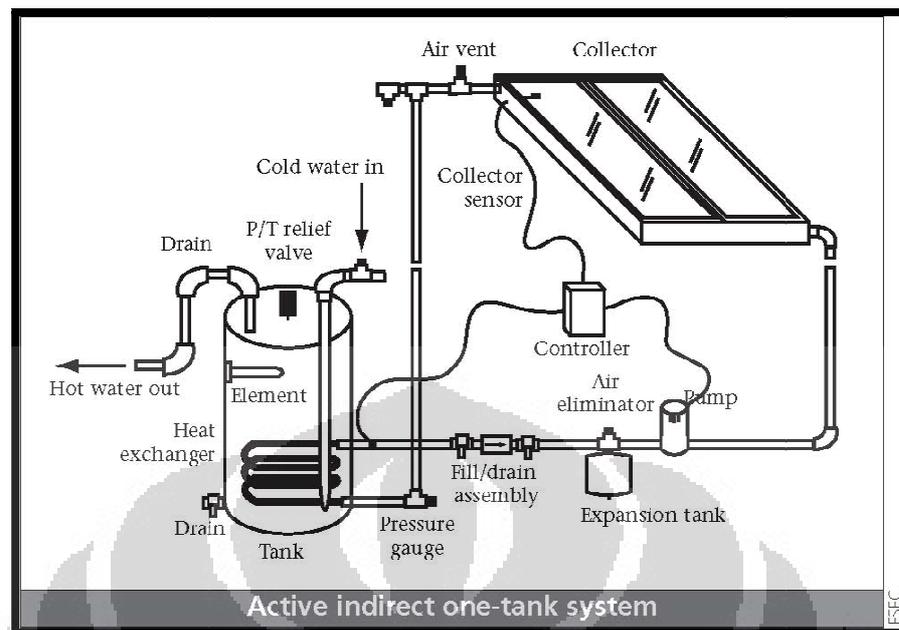
Sumber: <http://www.yourmrrooter.com/plumber/yourmrrooter-waterheaters.html>

2.1.3 Pemanas Air Tenaga Surya

Cara kerja pemanas air tenaga surya pada dasarnya memanfaatkan energi radiasi matahari yang diserap oleh absorber, kemudian air panas ditampung di dalam tangki yang diisolasi. Komponen utamanya adalah lempengan pemanas dan tangki penampung. Panas matahari diterima oleh lempengan pemanas, disalurkan untuk memanaskan air di dalam tangki penampung kemudian air dialirkan melalui pipa menuju ke keran-keran untuk digunakan.

Menurut cara kerjanya pemanas air tenaga surya dibedakan menjadi dua, yaitu sistem aktif dan pasif. Sistem aktif menggunakan pompa untuk mensirkulasikan air. Cara kerja pompanya pun dibagi menjadi dua, yang pertama air secara langsung dipompakan ke kolektor panas untuk dipanaskan kemudian dialirkan ke langsung ke tangki penampung. Cara kedua adalah air disirkulasikan ke kolektor panas hingga temperaturnya merata untuk kemudian baru disimpan ke dalam tangki penampung. Sedangkan cara kerja sistem pasif lebih sederhana, dimana tangki air berfungsi sebagai kolektor panas dan penampung air. Pergerakan air dikendalikan oleh gaya gravitasi dimana terjadi pertukaran antara air yang sudah dipanaskan dengan air dingin dari sumber air secara konveksi.

Beberapa sistem pemanas telah dilengkapi dengan heater tambahan sehingga dapat memanaskan air walaupun tidak ada sinar matahari. Pemanas air tenaga surya yang paling umum adalah jenis pemanas air tenaga surya plat datar (*flat plate solar water heater*). Kekurangannya adalah pemasangan yang lebih rumit (diletakkan di atas atap rumah) dan panas yang dihasilkan akan tergantung dari panas matahari yang ada. Apabila panas matahari yang dibutuhkan tidak cukup untuk memanaskan air yang ada, maka pemanas listrik yang ada bekerja untuk memanaskan air. Hal ini mengakibatkan diperlukan energi listrik tambahan untuk memanfaatkan pemanas tipe ini.

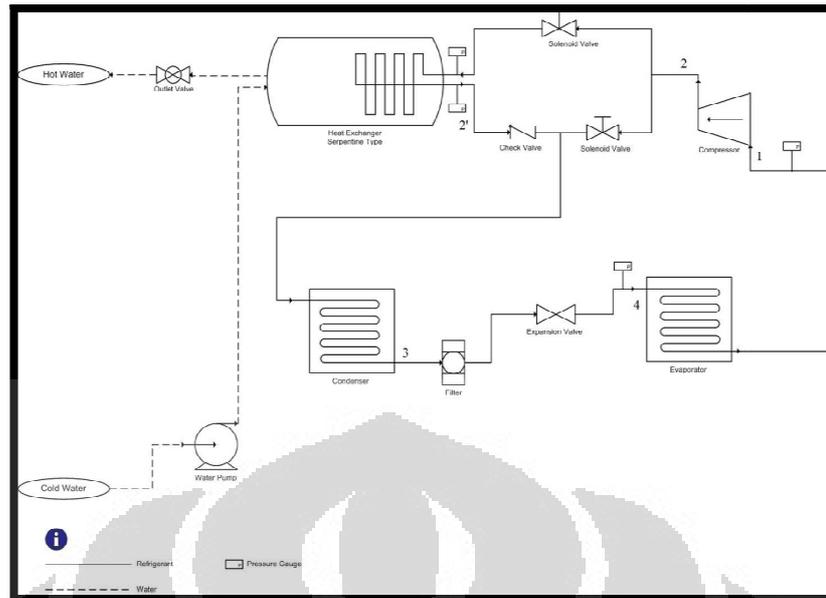


Gambar 2.3 Pemanas Air Tenaga Surya

Sumber : <http://www.solardev.com/FSEC-solar-heating.php>

2.1.4 Air Conditioner Water Heater

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



Gambar 2.4 Siklus ACWH

Prinsip kerja ACWH adalah:

- Proses 1-2:
Uap refrigeran dihisap kompresor kemudian ditekan sehingga tekanan dan temperatur refrigeran naik.
- Proses 2-2':
Panas refrigeran ditransfer kepada air di dalam penukar kalor sehingga air mengalami kenaikan temperatur sedangkan refrigeran mengalami penurunan dan sebagian telah berubah fasa menjadi cairan.
- Proses 2-3:
Refrigeran didinginkan pada kondensor seperti pada siklus pendinginan biasa
- Proses 3-4:
Refrigeran keluaran kondensor dan penukar kalor digabungkan sebelum diekspansi. Cairan refrigeran dengan tekanan dan temperatur tinggi diekspansikan sehingga mengalami penurunan tekanan dan temperatur.
- Proses 4-1:
Refrigeran di evaporator dalam keadaan temperatur rendah sehingga dapat menyerap kalor ruangan. Cairan refrigeran menguap secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan. Selama proses

penguapan di dalam pipa terdapat campuran refrigeran fase cair dan uap. Proses ini berlangsung pada tekanan tetap sampai mencapai derajat *superheat*.

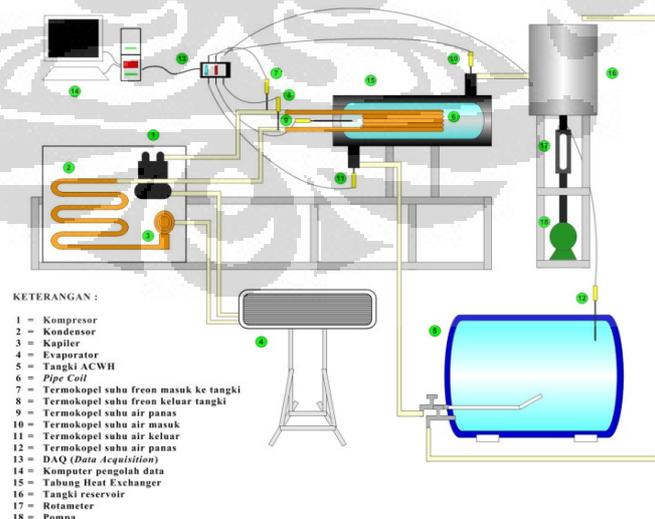
2.2 Penelitian ACWH Sebelumnya

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

2.2.1 ACWH dengan Pipa Koil 1 Shell Pass

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

Air Conditioning Water Heater dengan Pipa Koil 1 Shell Pass menghasilkan temperatur air keluar sebesar 44,95°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

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

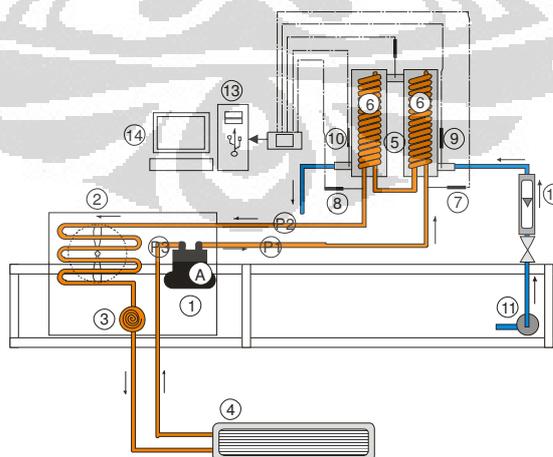
Air Conditioning Water Heater dengan Pipa Helical 1 Shell Pass menghasilkan air panas pada temperatur $53,91^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran 50 L/hr dan $37,17^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran 200 L/hr. Permasalahan akan penggunaan ruang yang besar masih sama terjadi pada penelitian ini.

2.2.3 ACWH dengan Pipa Koil 2 Shell Pass

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

2.2.4 ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass

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

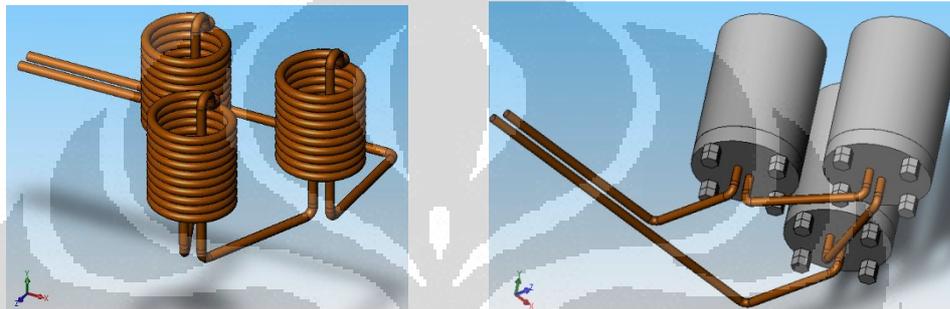


Gambar 2.6 Skema ACWH dengan Pipa Helical 2 Shell Pass

2.2.5 ACWH dengan Pipa Helical 3 Lualan

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

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



Gambar 2.7 Skema ACWH dengan Pipa Helical 3 Lualan

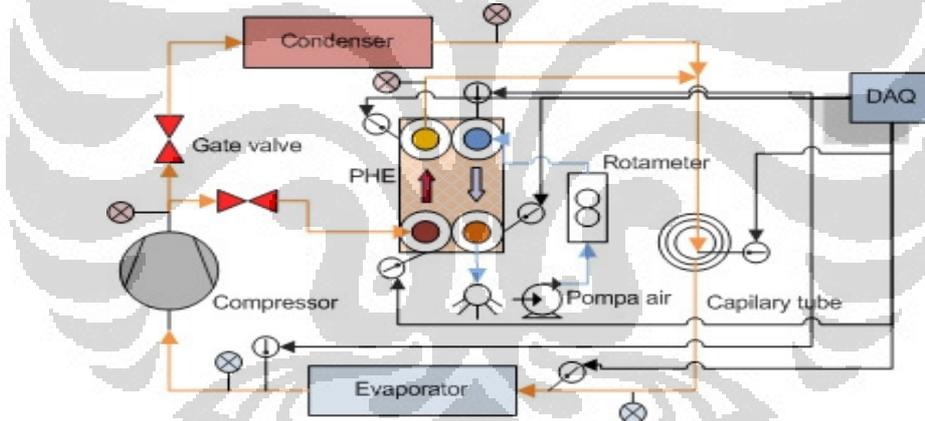
2.2.6 ACWH dengan Alat Penukar Kalor Plat 14 Lembar

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 $46,59^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran air 50 L/hr dan $35,34^{\circ}\text{C}$ pada laju aliran 200 L/hr. Harga PHE terbilang cukup mahal. Karena untuk 1 set PHE seharga Rp 2.500.000,00.

Tabel 2.1 Spesifikasi PHE CB26-14H

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



Gambar 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.

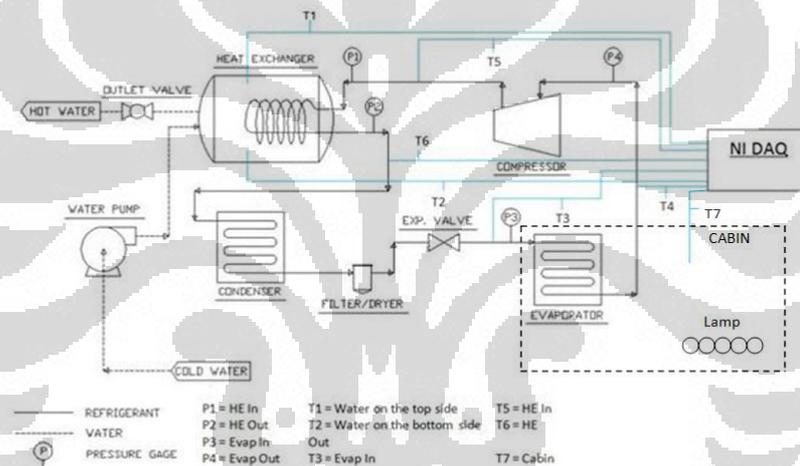
Tabel 2.2 Spesifikasi PHE CB26-30H

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
Flowrate max	8,1 m ³ /h
Tinggi	310 mm
Lebar	112 mm
Jarak sambungan per <i>port</i> vertikal	250 mm
Jarak sambungan per <i>port</i> horizontal	50 mm
<i>Plate pack length</i>	(n*2,4)+9 mm
Berat kosong	(n*0,13)+2,4 kg
Sambungan ulir standar	1 inch
Material <i>plate</i>	AISI 316
Material sambungan	AISI 316
Material <i>brazing</i>	Tembaga

2.2.8 ACWH dengan Helical Coil Water Storage

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

Pengujian yang dilakukan, dengan AC berdaya 1 PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur $49\text{-}56^{\circ}\text{C}$. Kemudian, dengan AC berdaya $3/4$ PK, dapat menghasilkan air panas dengan temperatur $47\text{-}52^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2.10 Skema pengujian ACWH HCWS



Gambar 2.11 Skema dan alat ACWH dengan Helical Coil Water Storage

2.3 Dasar Sistem Kontrol

2.3.1 Kontroler Otomatis, Aktuator dan Sensor

Kontroler otomatis mendeteksi sinyal kesalahan aktuasi, yang biasanya mempunyai tingkat daya yang cukup rendah, dan kemudian memperkuatnya menjadi cukup tinggi. Kontroler otomatis terdiri dari detektor kesalahan dan penguat sinyal atau biasa disebut amplifier. Aktuator adalah alat daya yang menghasilkan masukan sinyal kedalam sistem sesuai dengan sinyal kontrol sehingga sinyal umpan balik akan berkaitan dengan sinyal masukan yang diberikan sebagai acuan. Keluaran dari kontroler otomatis dimasukkan ke aktuator, seperti katup pneumatik, motor hidrolik atau motor listrik. Sensor atau elemen pengukur adalah alat yang digunakan untuk mengubah variabel keluaran menjadi variabel yang sesuai, seperti perpindahan, tekanan, tegangan, temperatur yang digunakan untuk membandingkan keluaran dengan sinyal masukan acuan. Karakteristik dinamik dan statik dari sensor memberikan petunjuk nilai sebenarnya dari variabel keluaran, maka sensor mempunyai peranan penting dalam menentukan unjuk kerja sistem secara keseluruhan [12].

Aplikasi penggunaan sistem kontrol otomatis dalam sebuah industri biasanya dipisahkan dalam tiap unit komponen kontrol, dimana aktuator, alat pengukur dipisahkan dalam sistem yang berbeda. Tetapi dalam kasus sederhana, elemen kontrol disatukan dalam satu unit, dimana elemen pengukur atau sensor dan aktuator berada dalam satu komponen yang utuh dan saling terintegrasi.

Klasifikasi sistem kontrol berdasarkan aksi pengontrolannya adalah:

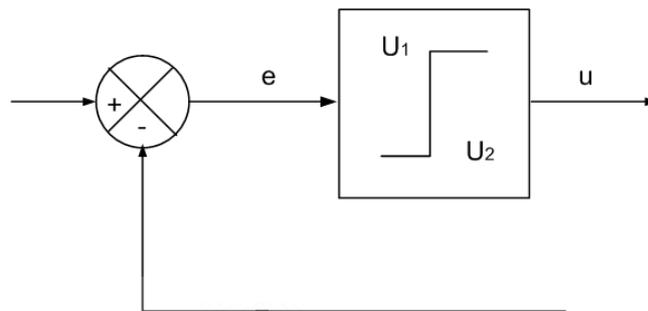
1. Kontroler dua posisi atau ‘on-off’

Dalam sistem kontrol dua posisi, elemen pembangkit hanya mempunyai dua posisi tertentu, yaitu on dan off. Harganya yang relatif lebih murah serta sistem perawatan yang mudah menjadikan kontroler jenis ini banyak digunakan dalam sistem kontrol, baik dalam industri maupun dalam lingkup yang lebih kecil.

Penentuan sinyal keluaran dari kontroler $u(t)$ tergantung pada nilai maksimum atau minimum yang diberikan pada penyetelan batas sinyal pembangkit, sehingga:

$$u(t) = U_1 \quad \text{untuk } e(t) > 1 \quad (2.1)$$

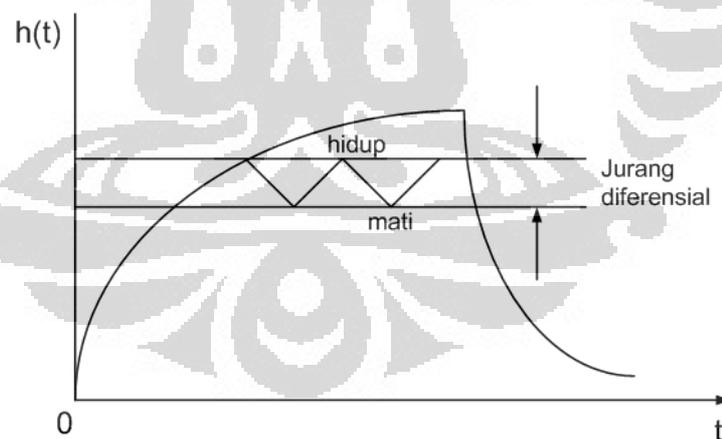
$$u(t) = U_2 \text{ untuk } e(t) < 1 \quad (2.2)$$



Gambar 2.12 Diagram blok kontroler on-off

dengan nilai U_1 dan U_2 konstan. Kontroler dua posisi umumnya merupakan perangkat listrik dan sebuah katup yang dioperasikan dengan solenoida.

Gambar di atas menunjukkan diagram blok kontroler dua posisi. Daerah dengan sinyal pembangkit yang digerakkan sebelum terjadi switching disebut jurang diferensial. Suatu jurang diferensial menyebabkan keluaran kontroler $u(t)$ tetap pada nilai awal sampai sinyal pembangkit telah bergerak mendekati nilai yang diberikan ketika proses penyetelan pada kontroler.



Gambar 2.13 Kurva tinggi $h(t)$ versus t

Sistem kontrol jenis ini dapat digunakan untuk mengontrol laju aliran masuk fluida. Katup solenoida sebagai aktuator dapat berada pada posisi tertutup atau terbuka. Sinyal keluaran dari kontroler secara terus-menerus bergerak antara dua batas yang diperlukan untuk membuat elemen

pembangkit bergerak dari satu posisi ke posisi lainnya. Kurva sinyal keluaran mengikuti satu dari dua kurva eksponensial, satu berhubungan dengan kurva pengisian dan satu kurva pengosongan. Osilasi keluaran antara dua batas merupakan karakteristik tanggapan khusus dari sistem kontrol dua posisi.

2. Kontroler proporsional

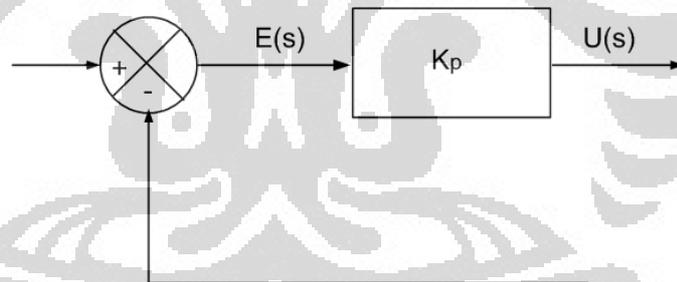
Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara masukan kontroler $u(t)$ dengan sinyal pembangkit $e(t)$ adalah:

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.2)$$

besaran nilai K_p dapat dihitung dengan rumusan transformasi Laplace

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.3)$$

dengan K_p adalah suku penguatan proporsional. Pada dasarnya operasi kontroler proporsional dilengkapi suatu penguat sinyal yang dapat disetel.



Gambar 2.14 Diagram blok kontroler proporsional

3. Kontroler integral

Kontroler dengan aksi kontrol integral nilai masukan $u(t)$ diubah pada laju proporsional dari sinyal pembangkit $e(t)$, sehingga

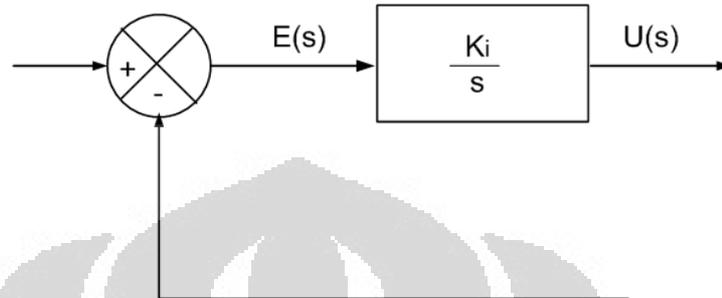
$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2.4)$$

atau

$$e(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2.5)$$

dengan K_i adalah konstanta yang dapat diubah. Maka fungsi alih dari kontroler integral adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p}{s} \quad (2.6)$$



Gambar 2.15 Diagram blok kontroler integral

Jika nilai $e(t)$ ada dua, maka nilai $u(t)$ bervariasi dua kali secara cepat. Untuk pembangkit yang bernilai nol maka nilai $u(t)$ tetap konstan. Aksi kontrol integral biasanya disebut kontrol reset.

4. Kontroler proporsional ditambah integral

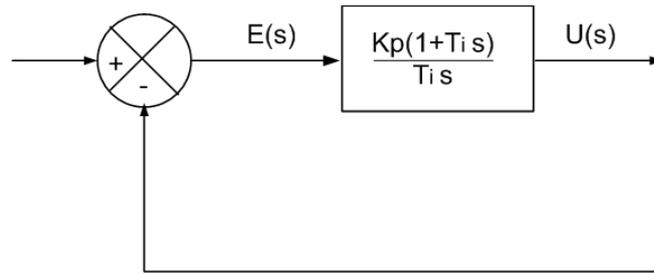
Aksi kontroler proporsional ditambah integral didefinisikan dengan persamaan berikut

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.7)$$

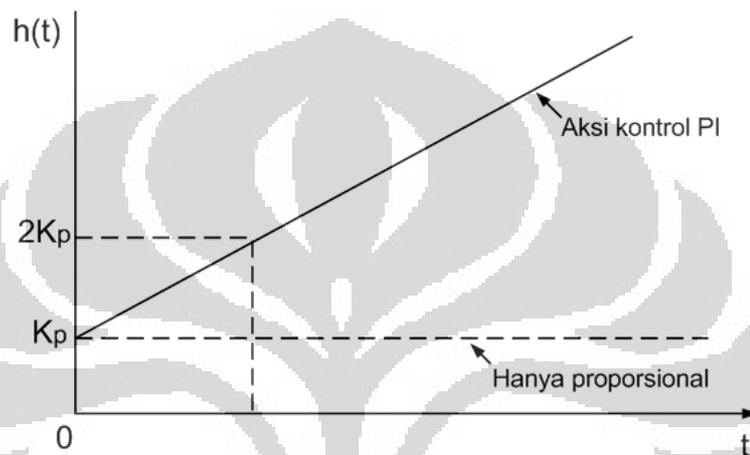
dengan fungsi alih kontroler adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2.8)$$

dimana K_p adalah penguatan proporsional dan T_i disebut waktu integral. Waktu integral mengatur aksi kontrol internal sedangkan perubahan nilai K_p berakibat pada bagian aksi kontrol proporsional maupun integral. Kebalikan dari waktu integral T_i disebut laju reset. Laju reset adalah bilangan yang menunjukkan berapa kali dalam setiap menit bagian proporsional dari aksi kontrol diduplikas. Laju reset diukur dalam pengulangan per menit.



Gambar 2.16 Gambar kontroler proporsional ditambah integral



Gambar 2.17 Diagram masukan langkah unit dan keluaran kontroler

5. Kontroler proporsional ditambah turunan
Aksi kontroler proporsional ditambah turunan didefinisikan dengan persamaan berikut

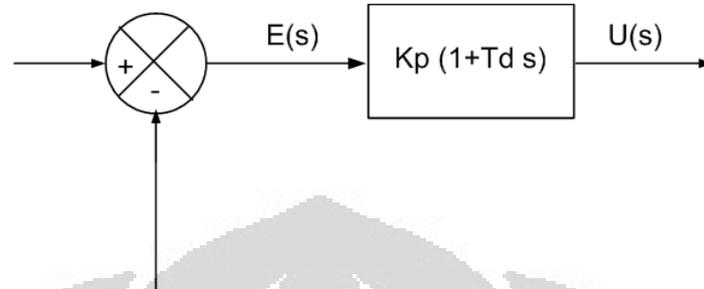
$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.9)$$

dan fungsi alih kontroler adalah

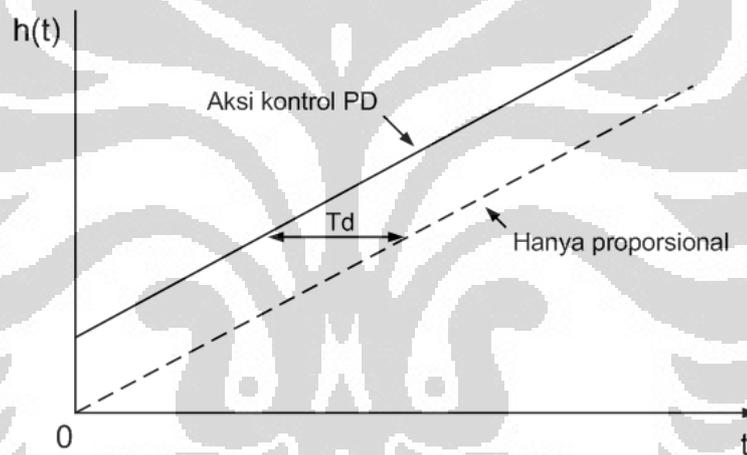
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad (2.10)$$

dimana K_p adalah penguatan proporsional dan T_d disebut waktu turunan. Waktu turunan adalah waktu interval dengan laju kontrol dengan laju aksi yang memberikan pengaruh pada aksi kontrol proporsional. Aksi kontrol turunan disebut juga sebagai laju kontrol dengan besaran keluaran kontroler proporsional ke laju perubahan sinyal pembangkit. Keuntungan dari aksi

kontrol ini adalah memiliki karakter mengantisipasi, namun kelemahannya adalah adanya gangguan sinyal penguatan yang dapat menyatu dan bercampur dengan sinyal aktuator.



Gambar 2.18 Diagram blok kontroler ditambah turunan



Gambar 2.19 Diagram yang menggambarkan unit masukan fungsi landai dan keluarannya

6. Kontroler proporsional ditambah integral ditambah turunan

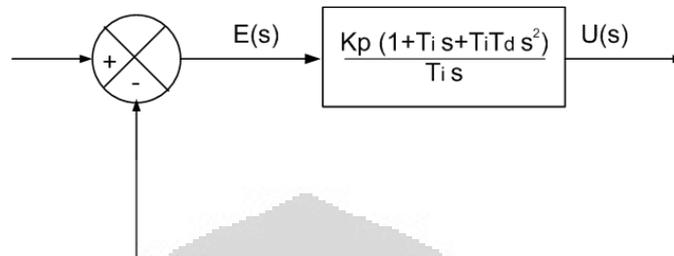
Kombinasi dari aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral, dan aksi kontrol turunan disebut sebagai aksi kontrol proporsional ditambah integral ditambah turunan (PID). Persamaan dengan tiga kombinasi ini diberikan oleh

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

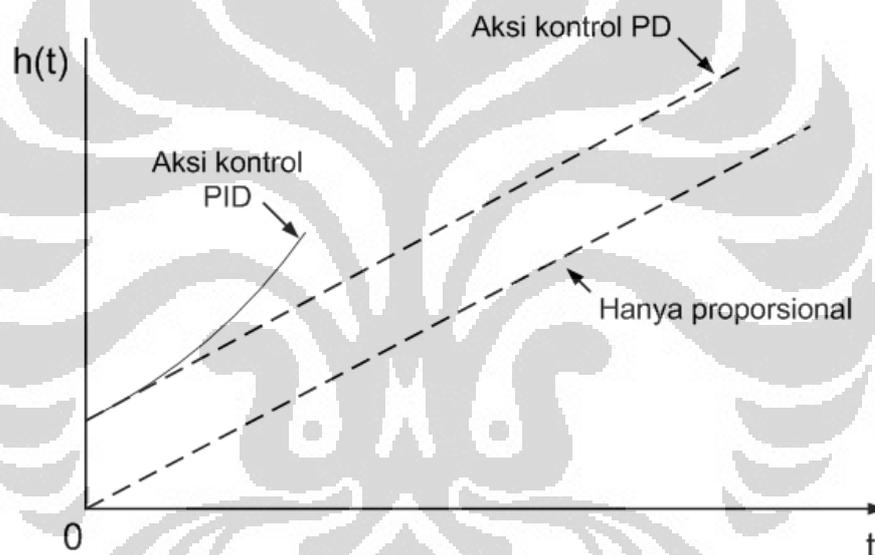
dengan fungsi alih

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.12)$$

K_p adalah penguatan proporsional, T_i waktu integral, T_d waktu turunan. Diagram blok kontroler proporsional ditambah integral ditambah turunan ditunjukkan oleh gambar berikut ini



Gambar 2.20 Diagram blok kontroler proporsional ditambah integral ditambah turunan



Gambar 2.21 Diagram yang menggambarkan unit masukan fungsi landai dan keluaran kontroler

Sebagian besar kontroler yang digunakan menggunakan listrik, fluida tekan seperti minyak atau udara sebagai sumber daya penggerakannya. Berdasarkan jenis daya sistem kontrol otomatis diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Kontroler pneumatik
2. Kontroler hidrolik
3. Kontroler elektronika

Penggunaan sistem kontrol bergantung pada kondisi kerja, seperti keamanan, biaya, ketersediaan, keandalan, ketelitian, berat dan ukuran.

2.4 Kenyamanan Thermal

Kenyamanan thermal seseorang akan kebutuhan air panas untuk mandi berbeda antara satu orang dengan yang lainnya. Namun sebuah kajian yang dilakukan, data statistik menyatakan untuk temperatur permukaan kulit sebesar 35°C, rata-rata kenyamanan thermal untuk kebutuhan mandi seseorang adalah 40,754°C dengan nilai maksimum 51,2°C [13]. Atas dasar inilah penelitian dilakukan pada penyetelan kontrol temperatur sebesar 45°C sebagai nilai tengah dari batas kenyamanan thermal untuk temperatur air panas yang digunakan ketika mandi.

Tabel 2.3 Kenyamanan thermal temperatur air mandi [13]

Parameter	Air temperature	Bath water temperature
Mean	22.676	40.754
SD	4.2491	4.3633
Variance	18.055	19.038
Minimum	8.9	26.6
Median	23.9	40.500
Maximum	31.00	51.200

BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari sistem ACWH tipe serpentine dengan adanya penambahan sistem kontrol by-pass. Sistem ACWH pada dasarnya memanfaatkan perpindahan kalor antara refrigeran dengan suhu yang tinggi setelah keluar dari kompresor dengan air dengan suhu yang lebih rendah pada tangki penyimpanan air.

Penambahan desain sistem kontrol temperatur pada ACWH ini dibuat berdasarkan beberapa rangkaian komponen kontrol. Dengan adanya sistem kontrol *by-pass* maka arah laju aliran dari refrigeran dapat dikendalikan. Aplikasi sistem kontrol ini diharapkan dapat menentukan laju arah refrigeran untuk tidak masuk ke dalam tangki penyimpanan secara otomatis jika suhu air yang diinginkan dalam tangki penyimpanan sudah tercapai. Sehingga ketika terjadi *by-pass* maka refrigeran pada sistem AC kembali melakukan siklus refrigerasi pada umumnya tanpa melalui tangki penyimpanan air.

3.1 Instalasi Alat Pengujian

Alat pengujian pada penelitian ini terdiri dari sebuah sistem ACWH dengan alat penukar tipe serpentine pada tangki penyimpanan air, dan ditambahkan aplikasi sistem kontrol yang dipasang antara sistem AC dengan alat penukar kalor. Sehingga proses perpindahan panas antara refrigeran dengan temperatur yang lebih tinggi ke air dengan temperatur lebih rendah dapat dikontrol.



Gambar 3.1 Rangkaian sistem kontrol

Sistem kontrol terdiri dari dua buah solenoide valve yang dipasang pada percabangan jalur *by-pass* refrigeran. Sebuah check valve juga diaplikasikan untuk agar arah laju aliran refrigeran tidak kembali masuk pada alat penukar kalor yang terletak di dalam tangki penyimpanan air. Kemudian komponen kontrol ini dihubungkan pada relay dan thermostat.

Dari gambar skema instalasi di atas, terdapat termokopel dipasang pada titik-titik masuk dan keluar fluida-fluida kerja. Termokopel tersebut dihubungkan pada data akusisi untuk membaca temperatur fluida kerja. Sebuah termokopel juga dihubungkan langsung ke thermostat sebagai sensor untuk membuka atau menutup *solenoide valve*. Tekanan refrigeran diukur dengan menggunakan *pressure gauge* tipe *bourdon tube* pada beberapa titik yaitu, tekanan *discharge* kompresor atau inlet alat penukar kalor tipe serpentine, tekanan keluar alat penukar kalor tipe serpentine, tekanan keluar pipa kapiler atau inlet evaporator, dan tekanan *suction* kompresor atau outlet evaporator. Arus listrik yang masuk kompresor diukur menggunakan *clamp meter*.

3.2 Komponen Alat Pengujian

3.2.1 Sistem Air Conditioner

Dalam pengujian ini air conditioner (AC) yang digunakan memiliki daya sebesar 1 PK dengan tipe *split*. Sistem ini terdiri dari dua bagian, yaitu *indoor unit* dan *outdoor unit*. *Indoor unit* terdiri atas evaporator, sedangkan *outdoor unit* terdiri atas kompresor, kondenser dan katup ekspansi. Terdapat modifikasi pada sistem pemipaan dalam sistem ini yaitu, penambahan jalur *by-pass* yang dipasang antara *outdoor unit* dengan tangki penyimpanan air.

Spesifikasi AC dalam pengujian adalah sebagai berikut:

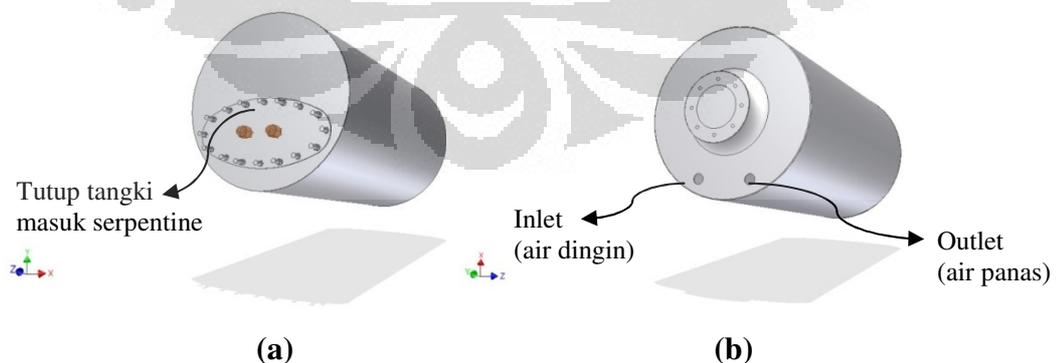
- Merek: Samsung
- Model: AS07RLX
- Power Input: 800 Watt
- Voltage/Freq: 200-220 V/50 Hz
- Current: 4 A
- Refrigerant: R 22 (360 g)



Gambar 3.2 Air Conditioner

3.2.2 Tangki Air

Tangki air yang digunakan adalah hasil modifikasi dari penilitan yang telah dilakukan sebelumnya. Proses modifikasi meliputi proses pemotongan, pengelasan dan pembubutan. Bagian belakang dari tangki dipotong dan dibuatkan sebuah tutup yang dapat dibuka yang berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan alat penukar kalor. Sebanyak 16 buah baut berukuran 8 mm digunakan untuk mengencangkan tutup. Gasket dengan material karet diletakkan antara tangki dan tutup untuk mencegah kebocoran air. Tangki ini memiliki kapasitas daya tampung sebesar 50 liter air dengan dimensi diameter luar 47 cm dan panjang 52 cm.



Gambar 3.3 Tangki 3 dimensi (a) tampak belakang, (b) tampak depan



Gambar 3.4 Tangki penyimpanan air

3.2.3 Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor yang digunakan adalah tipe serpentine yang dibuat menggunakan pipa tembaga berdiameter $\frac{1}{4}$ inch dengan panjang total 8.1229 meter. Alat penukar dalam penititan menggunakan alat penukar lama yang digunakan pada penelitian sebelumnya. Akan tetapi dilakukan pengelasan ulang pada bagian tertentu karena mengalami kebocoran.



Gambar 3.5 Alat penukar kalor tipe serpentine

3.2.4 Data Akusisi

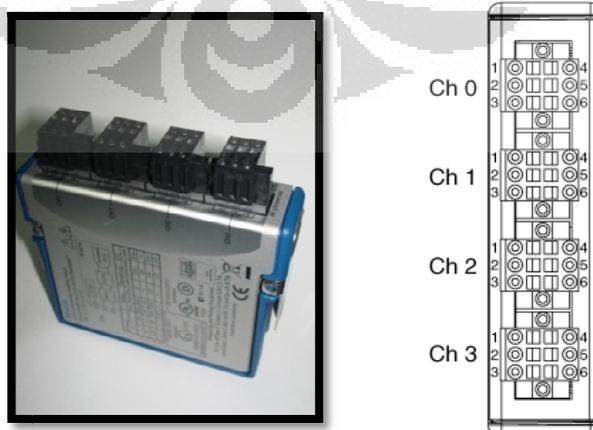
Data akusisi (DAQ) digunakan untuk pembacaan tegangan keluaran termokopel tipe K. Untuk dapat digunakan, DAQ dihubungkan dengan komputer melalui *USB port* dan menggunakan *power supply* DC 12V. Untuk proses pembacaan tegangan yang kemudian dikonversikan dalam pembacaan temperatur,

dibutuhkan software sebagai medianya. Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah LabVIEW 8.5.

DAQ terdiri dari dua komponen yaitu, modul dan *chassis*. *Chassis* tipe NIcDAQ-9174 dengan 4 port digunakan dalam pengambilan data. Sedangkan modul yang digunakan adalah modul NI DAQ-9219, dimana setiap modul memiliki 4 *channel*. Untuk mengukur temperatur dalam setiap modul dapat menggunakan 4 *channel* tersebut. Total termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur adalah 7 buah, sehingga dibutuhkan 2 buah modul dalam pembacaan temperatur dalam penelitian ini, dimana satu modul menggunakan 4 *channel* pengukuran temperatur dan satu modul lainnya menggunakan 3 *channel* untuk mengukur temperatur. Modul yang digunakan adalah modul universal yang dapat digunakan untuk mengukur temperatur, arus, dll.



Gambar 3.6 Chassis NIcDAQ-9174



Gambar 3.7 Modul NI DAQ-9219

3.2.5 Termokopel

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

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

3.2.6 Beban Pendingin

Beban pendinginan adalah besarnya kalor yang harus dipindahkan dari suatu ruangan yang dikondisikan oleh sebuah mesin pendingin. Pada dasarnya beban pendinginan sebuah ruangan ditentukan oleh dua faktor, yaitu *internal load* dan *eksternal load*. Internal load adalah beban kalor yang berasal dari ruangan itu, seperti lampu, benda-benda yang memiliki konduktifitas termal, dan orang. Sedangkan eksternal load adalah beban kalor yang masuk dari luar ruangan tersebut, seperti kalor yang masuk melalui atap, dinding, lantai, pintu, dsb.

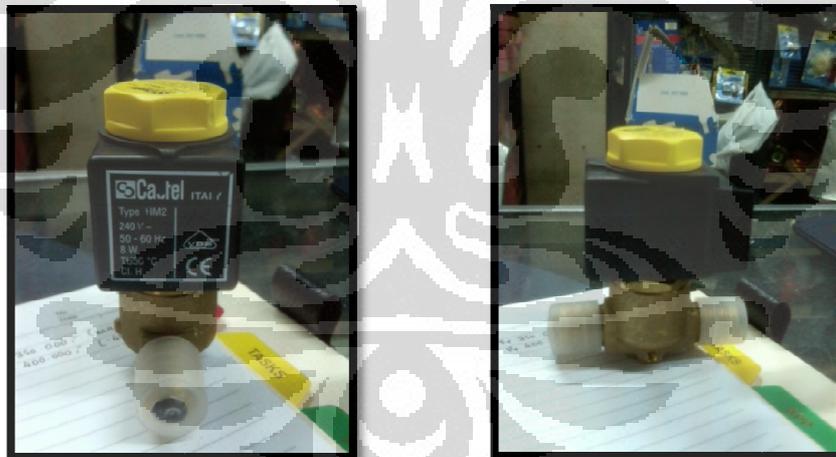


Gambar 3.8 Lampu pijar yang digunakan sebagai beban pendinginan

Dalam penelitian kali ini beban pendingin yang digunakan sebagai variabel yang divariasikan adalah beban kalor yang berasal dari lampu pijar. Lampu pijar yang digunakan masing-masing memiliki daya 100 Watt dan jumlahnya ditentukan berdasarkan beban pendinginan dalam pengujian.

3.2.7 Solenoide valve

Solenoide valve adalah sebuah katup yang berfungsi membuka atau menutup aliran, baik liquid maupun gas. Katup ini bekerja menggunakan prinsip elektromagnetik. Komponen utama dari katup ini adalah sebuah *helical coil* dimana di dalamnya mengalir arus listrik dan piston yang biasanya terbuat dari besi. Ketika *coil* tidak diberi arus, posisi piston berada diluar area *helical coil*, artinya katup menutup. Sebaliknya ketika *coil* diberikan arus, maka piston akan ditarik oleh efek elektromagnetik sehingga katup akan terbuka. Ketika arus diputus kembali, sebuah pegas akan mendorong piston untuk kembali dalam posisi menutup.

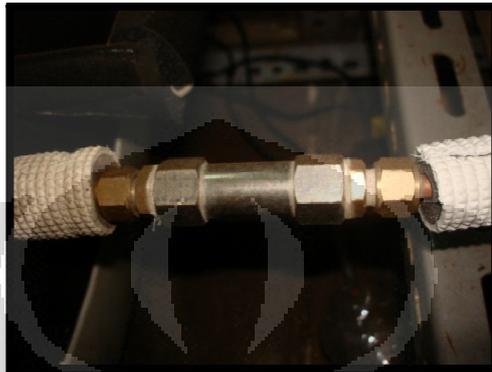


Gambar 3.9 Solenoide valve 1/4"

Pada dasarnya solenoide valve terdiri dari dua tipe, yaitu *normally close* (NC) dan *normally open* (NO). Pada tipe NC, katup akan terbuka ketika *coil* diberikan arus dan akan menutup ketika tidak diberikan arus. Sebaliknya pada tipe NO, katup akan terbuka ketika *coil* tidak diberikan arus dan akan menutup ketika diberikan arus.

3.2.8 Check valve

Check valve digunakan untuk mengalirkan suatu fluida dalam satu arah. Oleh karena itu, *check valve* digunakan untuk menghindari refrigeran kembali masuk dalam alat penukar kalor yang diletakkan di dalam tangki ketika sistem *bypass* dilakukan.



Gambar 3.10 Check valve

3.2.9 Relay

Prinsip kerja relay sama seperti prinsip kerja pada solenoide valve, hanya saja aplikasi relay digunakan sebagai kontrol *switch*. Ketika tidak dialirkan arus, sebuah pegas akan menarik plat untuk menjauh dari kontak elektrik. Sebaliknya ketika arus mengalir pada *coil*, plat akan mengalami kontak elektrik akibat adanya gaya tarik efek elektromagnetik.



Gambar 3.11 Relay

3.2.10 Thermostat

Kontrol temperatur pada sistem pendinginan dan pemanasan biasanya menggunakan thermostat. Sebuah teknologi semikonduktor digunakan untuk membuat mikroprosesor dalam alat ini untuk memberikan kemudahan dalam mengatur temperatur yang diinginkan.



Gambar 3.12 Thermostat

Dalam penelitian ini, thermostat digunakan untuk mengontrol temperatur air pada proses pemanasan. Temperatur air panas digunakan sebagai sensor bagi thermostat untuk melakukan proses kontrol. Ketika temperatur air sudah tercapai, maka thermostat akan memberikan arus pada relay sehingga terjadi kontak elektrik dengan solenoid valve yang mengarahkan refrigeran langsung menuju kondenser dan refrigeran melewati sistem *by-pass*. Sebaliknya ketika temperatur air panas belum tercapai, maka refrigeran tidak melalui sistem *by-pass*. Tipe thermostat yang digunakan adalah Autonics TZN4S.

3.2.11 Clamp meter

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



Gambar 3.13 Clamp meter

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

3.2.12 Pressure Gauge

Pressure gauge digunakan untuk menghitung tekanan kerja refrigeran pada sistem percobaan ini. Tekanan refrigeran yang diukur adalah tekanan *discharge* kompresor (inlet alat penukar kalor tipe serpentine), tekanan keluar alat penukar kalor tipe serpentine, tekanan keluar TXV, dan tekanan *suction* kompresor. Dua jenis pressure gauge yang digunakan yaitu *low pressure* dengan rentang tekanan sebesar 0-120 psi dan *high pressure* dengan rentang tekanan 0-500 psi.

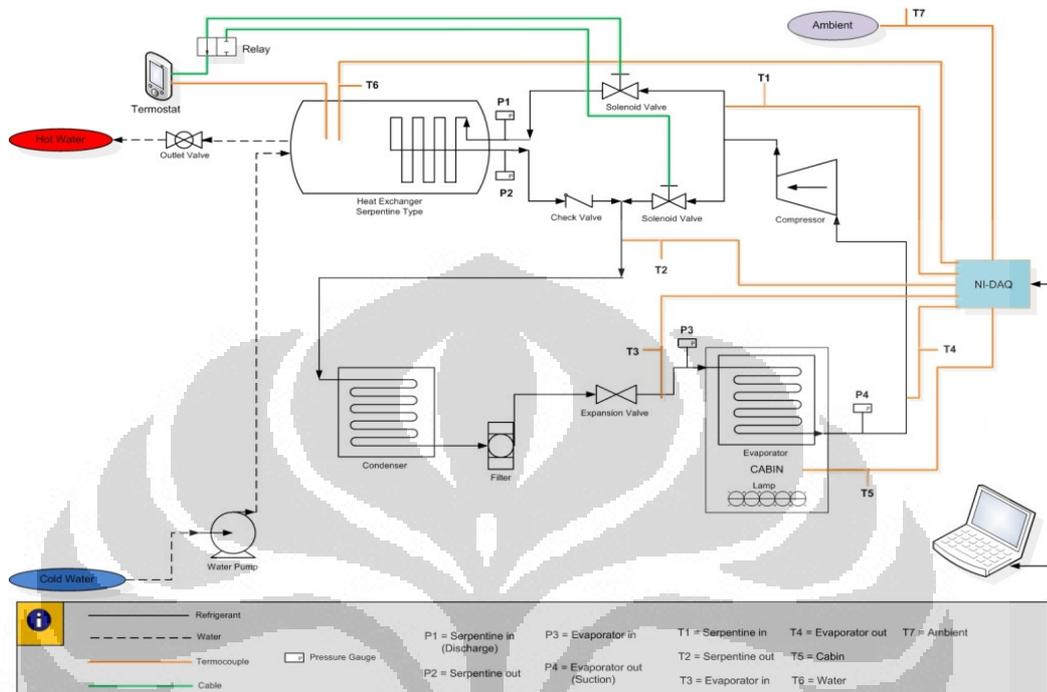
3.3 Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan menggunakan dua variasi variabel, yaitu variasi beban pendinginan dan variasi temperatur air panas. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data sistem ACWH dengan penambahan aplikasi sistem kontrol adalah sebagai berikut:

1. Menyambungkan selang dari sumber air ke tangki penyimpanan air dan mulai melakukan proses pengisian air
2. Menghubungkan sistem kontrol (solenoid valve, relay, thermostat) dengan *power supply*

3. Melakukan input data pada thermostat untuk temperatur air panas yang diinginkan (45°C pada beban pendinginan 1800, 2000, 2200 Watt dan 55°C hanya pada beban pendinginan 1800 Watt)
4. Mempersiapkan dan merakit DAQ serta memasang termokopel pada modul DAQ sesuai channel yang telah ditentukan
5. Menghubungkan DAQ dengan *power supply* dan menyambungkan USB dengan komputer serta membuka software LabVIEW 8.5 untuk memulai proses pengambilan data
6. Menyalakan lampu pijar sesuai variasi beban pendinginan (1800, 2000, 2200 Watt)
7. Menyalakan AC dan melakukan pengaturan temperatur minimum pada 16°C
8. Menekan tombol *write to file* dan memulai proses penyimpanan data secara otomatis pada direktori yang telah ditentukan pada komputer
9. Mencatat besarnya tekanan refrigeran yang terbaca pada *low* dan *high pressure gauge* secara manual setiap setiap 5 menit untuk kemudian dirata-rata
10. Mencatat besarnya arus yang dibutuhkan kompresor pada *clamp meter* secara manual setiap setiap 5 menit untuk kemudian dirata-rata
11. Menunggu tercapainya kondisi *steady* pada pembacaan temperatur pada sistem data akusisi. Kondisi *steady* tercapai ketika pembacaan temperatur relatif stabil dan tidak terjadi perubahan
12. Mematikan sistem AC, menyalakan dan mengarahkan fan yang terdapat pada laboratorium agar temperatur pada sistem (khususnya pipa kerja dengan temperatur tinggi seperti keluaran kompresor dan tangki air) dapat lebih cepat kembali dalam keadaan normal. Menunggu sekian waktu hingga tekanan dan temperatur pada keseluruhan sistem kembali dalam kondisi awal
13. Mengulangi percobaan dengan variasi beban pendinginan dan variasi temperatur air panas yang berbeda

Gambar di bawah ini menunjukkan skema pengambilan data ketika uji coba pengambilan data dilakukan



Gambar 3.14 Skema pengujian dan pengambilan data

Berdasarkan skema pengujian di atas, variabel P1 dan P2 masing-masing menyatakan pengukuran tekanan masuk dan keluar dari alat penukar kalor. Variabel P3 dan P4 menyatakan tekanan masuk dan keluar dari kondenser.



(a)

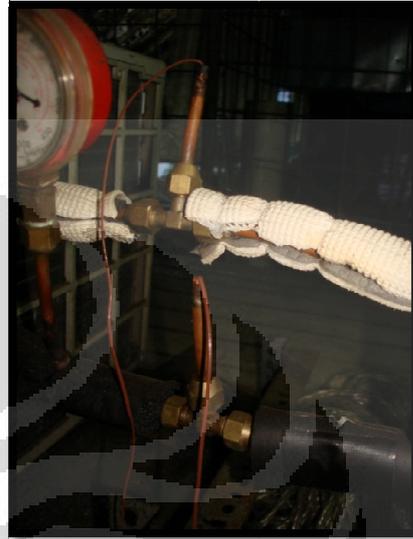
(b)

Gambar 3.15 (a) High pressure gauge, (b) low pressure gauge

Variabel yang digunakan termokopel yaitu T1, T2, T3 dan T4 masing-masing menunjukkan pengukuran temperatur masuk dan keluar pada serpentine, serta temperatur masuk dan keluar evaporator.



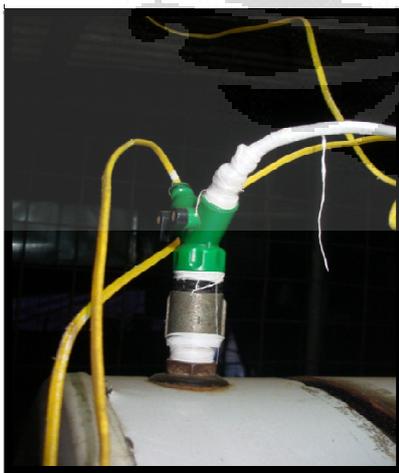
(a)



(b)

Gambar 3.16 (a) Termokopel 1 & 2, (b) Termokopel 3 & 4

T5 dan T6 dalam skema pengujian menyatakan pengukuran temperatur oleh termokopel pada air di dalam tangki dan pengukuran suhu kabin.



(a)



(b)

Gambar 3.17 (a) Termokopel 5, (b) Termokopel 6

Dan variabel T7 menunjukkan posisi termokopel untuk pengukuran temperatur lingkungan/ambient.



Gambar 3.18 Termokopel 7

3.4 Prosedur Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan:

- Kalor yang diterima air dapat dihitung dari massa air pada tangki penyimpanan dikalikan dengan kalor spesifik dan perbedaan temperatur air awal & akhir air. Jika dirumuskan maka dapat dituliskan dalam bentuk berikut:

$$Q_{air} = m.c_p.\Delta T \quad (3.1)$$

- Kalor yang diserap kondenser dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{kondenser} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (3.2)$$

- Efek refrigerasi merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator untuk setiap satu satuan massa refrigeran. Dituliskan dalam rumus:

$$ER = (h_1 - h_4) \quad (3.3)$$

- Total kalor yang diterima kondenser dapat dikalkulasi dengan menghitung selisih antara kalor yang diserap kondenser dengan kalor yang diserap air

- 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. Nilai efektifitas didapatkan dengan menggunakan perhitungan, sebagai berikut:

$$\epsilon = \left| \frac{T_{1,in} - T_{1,out}}{T_{1,in} - T_{2,in}} \right| \quad (3.3)$$

dimana angka 1 menunjukkan fluida dingin air dan angka 2 menunjukkan fluida kerja panas refrigeran.

- Kerja kompresor didapatkan dari perkalian arus listrik yang dikonsumsi dengan tegangan listrik PLN. Untuk pengujian di laboratorium pengambilan data, tegangan listrik PLN hanya sebesar 198 V.
- Beban pendinginan aktual yang dipancarkan oleh lampu pijar dalam suatu ruangan, dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q_{lampu} = P.3,413.0,2931(\text{Watt}) \quad (3.4)$$

- *Coefficient of Performance* (COP) menyatakan rasio antara manfaat yang dicapai dengan kerja/usaha yang dilakukan untuk mendapatkan manfaat tersebut. Manfaat yang didapatkan pada ACWH adalah efek pendinginan pada bagian indoor unit dan pemanasan air panas. Sedangkan usaha yang dilakukan adalah kerja kompresor yang memutar refrigeran. Dalam perhitungan COP dibedakan menjadi dua, yaitu COP *cooling* (evaporator) dan COP *cooling+heating* (sistem secara keseluruhan) dengan menggunakan rumus:

$$COP_{cooling} = \frac{\text{Cooling Load}}{\text{Compressor Work}} \quad (3.5)$$

$$COP_{cooling+heating} = \frac{\text{Cooling Load} + Q_{water}}{\text{Compressor Work}} \quad (3.6)$$

BAB 4

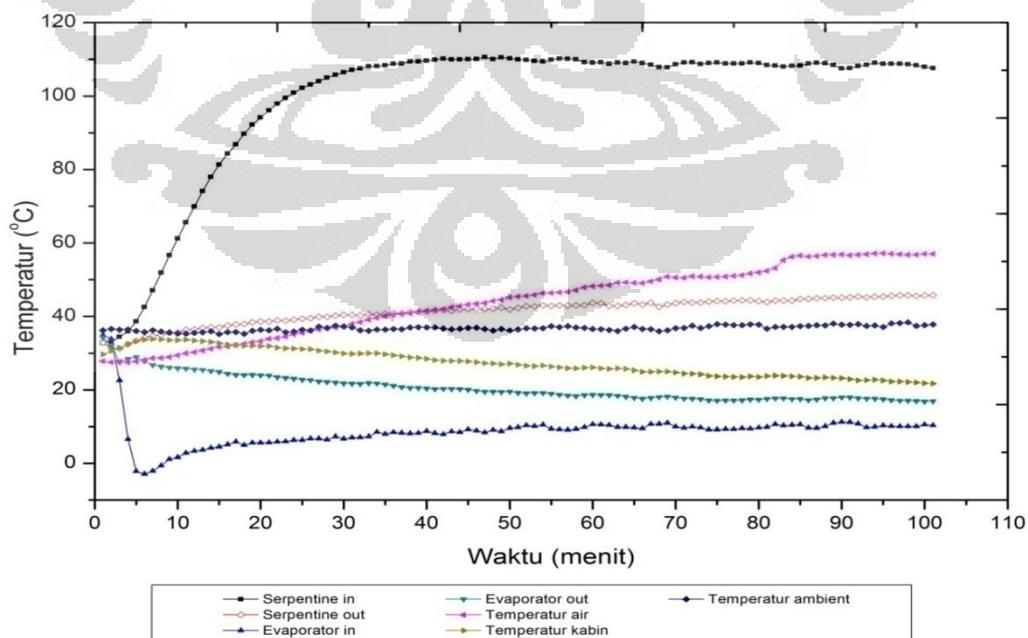
ANALISA DATA PENELITIAN

Data-data yang dihasilkan dari penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik sesuai dengan metode penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pengolahan data bertujuan untuk mencari karakteristik dari sistem ACWH dengan adanya penambahan sistem kontrol temperatur. Untuk mendapatkan perbandingan dengan sistem ACWH tanpa menggunakan sistem kontrol maka dilakukan pengambilan data ulang tanpa sistem kontrol untuk kemudian dibandingkan dengan ACWH yang menggunakan sistem kontrol. Selain itu juga pengambilan data ulang pada ACWH tanpa sistem kontrol dilakukan untuk mengetahui karakteristik secara keseluruhan terhadap pengaruh penambahan pipa tembaga pada sistem *by-pass*.

Fluida yang digunakan dalam sistem refrigerasi adalah R22 yang melewati pipa-pipa tembaga yang telah dirancang. Sedangkan air sebagai fluida dingin dialirkan ke dalam tangki penampung air dengan menggunakan selang.

4.1 Analisa Karakteristik ACWH Tanpa Sistem Kontrol

Grafik 1800 watt

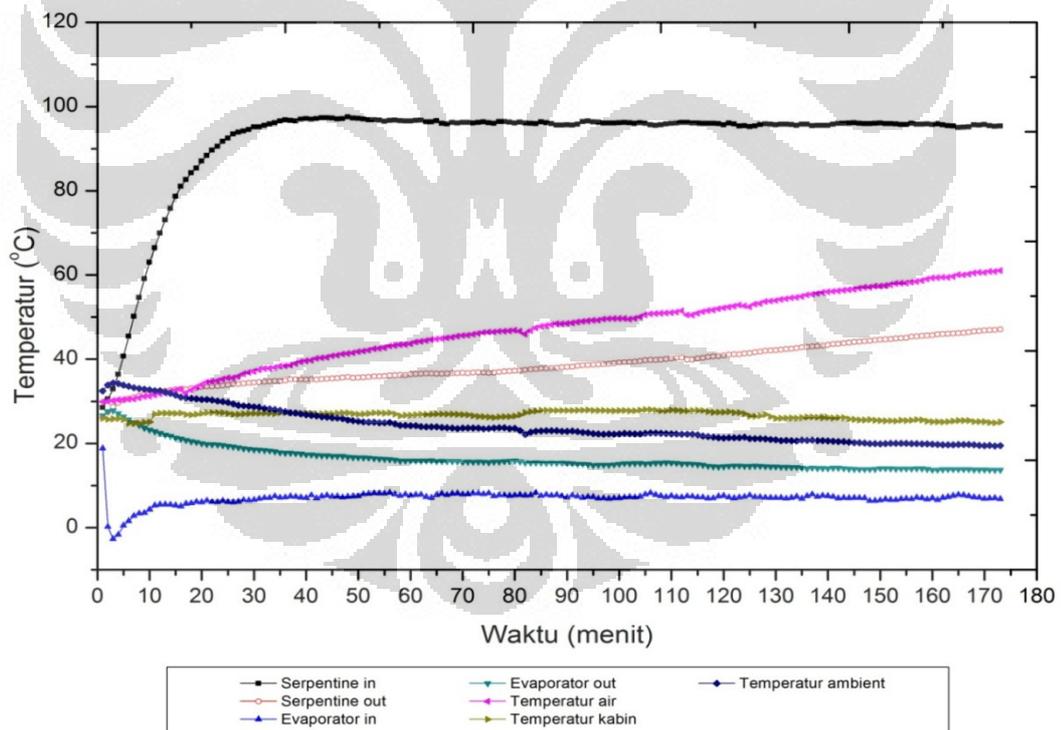


Gambar 4.1 Grafik karakteristik 1800 watt

Pengambilan data pertama kali dilakukan dengan variasi pembebanan 1800 Watt tanpa sistem kontrol. Kondisi temperatur ambient ketika pengambilan data stabil pada 36-37°C. Temperatur air yang dihasilkan adalah 57,03°C dan temperatur refrigeran berada pada kondisi *steady* pada 108°C. Temperatur maksimum kabin yang tercapai adalah 21,7°C.

Grafik 2000 watt

Variasi pengambilan data selanjutnya dilakukan pada beban pendinginan 2000 watt. Pada variasi beban pendinginan ini dilakukan tanpa sistem kontrol dan dengan kontrol temperatur air dalam tangki yang hanya diset pada temperatur 45°C. Untuk selanjutnya tidak dilakukan pengambilan data dengan kontrol temperatur air dalam tangki 55°C, karena telah terbukti berhasil dilakukan pada beban pendinginan 1800 watt.



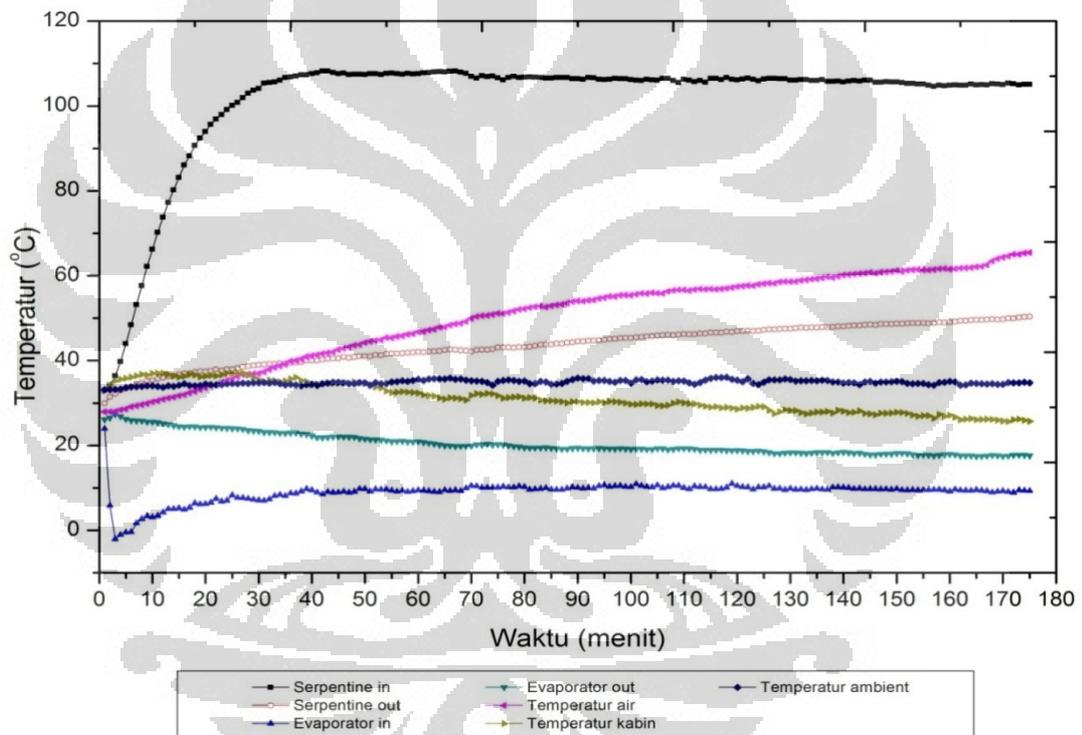
Gambar 4.2 Grafik karakteristik 2000 watt

Pada pembebanan 2000 watt tanpa sistem kontrol *by-pass* yang dilakukan pada kondisi lingkungan dengan rentang temperatur 25-27°C ini mampu

menghasilkan air panas dengan temperatur 61,04°C. Temperatur dalam kabin menunjukkan temperatur 19,4°C dengan temperatur maksimum refrigeran sebesar 97,53°C.

Grafik 2200 watt

Pengambilan data selanjutnya dilakukan pada beban pendinginan sebesar 2200 watt. Pada variasi ini pengambilan data juga hanya dilakukan untuk ACWH tanpa sistem kontrol dan dengan kontrol temperatur air dalam tangki yang diset sebesar 45°C.

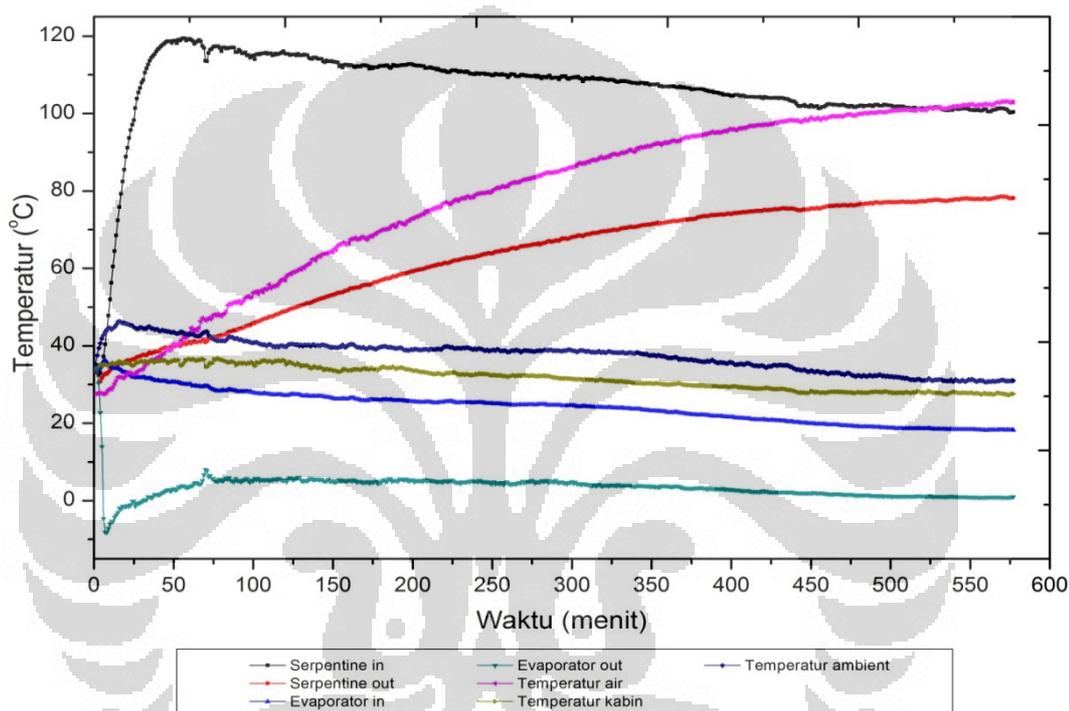


Gambar 4.3 Grafik karakteristik 2200 watt

Grafik yang disajikan di atas menunjukkan karakteristik ACWH 2200 watt tanpa sistem kontrol temperatur *by-pass*. Pengambilan data dilakukan pada ambient dengan temperatur berkisar antara 33-34°C. Temperatur air maksimum tercapai pada suhu 65,48°C dengan temperatur maksimum refrigeran sebesar 108,2°C. Temperatur kabin pada pembebanan 2200 watt mencapai 25,7°C.

Grafik 2200 watt pada kondisi ekstrim

Untuk mengetahui kondisi sebenarnya ketika diaplikasikan di hunian apartemen, maka dilakukan pengambilan data pada kondisi waktu ekstrim. Pengambilan data ini dilakukan tanpa adanya sistem kontrol temperatur *by-pass* dalam kurun waktu sekitar 9,5 jam. Hal ini didasari asumsi yang diperhitungkan bahwa ACWH di hunian apartemen dinyalakan mulai pukul 21.00 hingga pukul 06.00.



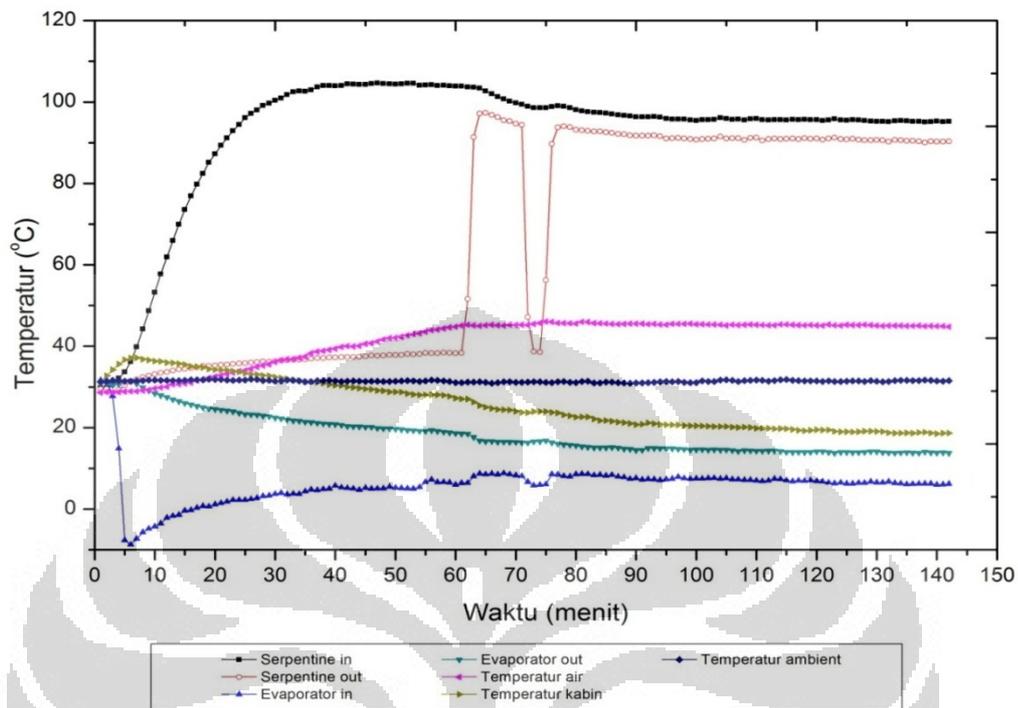
Gambar 4.4 Grafik karakteristik 2200 watt ekstrim

Pengambilan data dilakukan pada ambient dengan temperatur berkisar antara 27-36°C. Temperatur air maksimum tercapai pada suhu 102,98°C dengan temperatur maksimum refrigeran sebesar 119,47°C. Temperatur kabin pada pembebanan 2200 watt dengan waktu ekstrim mencapai 30,9°C.

Pengukuran dilakukan pada kondisi ambient dengan rentang yang cukup besar karena dilakukan dari siang sampai malam hari. Temperatur air dapat mencapai temperatur di atas titik didih air dikarenakan tekanan kerja di dalam tangki air mencapai 3 bar atau sekitar 2,96 atm berdasarkan perhitungan desain tangki.

4.2 Analisa Karakteristik ACWH dengan Sistem Kontrol

Grafik 1800 watt by pass 45°C

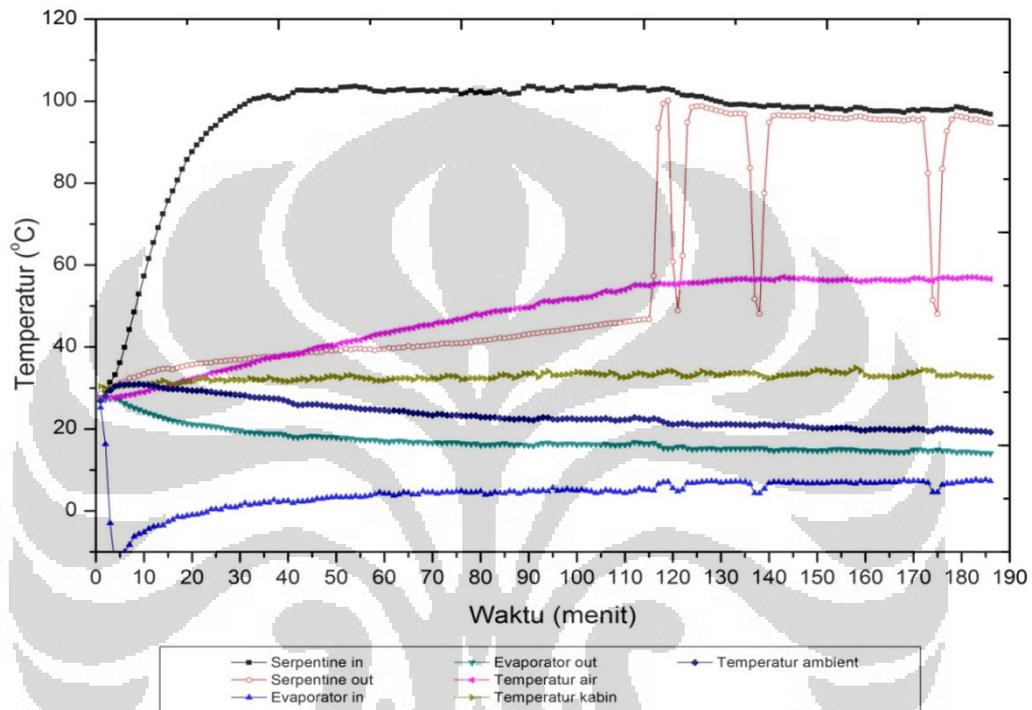


Gambar 4.5 Grafik karakteristik 1800 *by-pass* 45°C

Pada pembebanan 1800 watt dengan kontrol temperatur diset pada 45°C, menunjukkan keluaran air yang stabil di temperatur tersebut. Temperatur refrigeran maksimum tercapai pada 104,6°C kemudian relatif stabil pada temperatur 95°C ketika temperatur air telah tercapai. Temperatur ambient ketika pengambilan data adalah 31°C. Waktu yang dibutuhkan air untuk mencapai temperatur 45°C adalah \pm 60 menit. Dengan kondisi ini, temperatur kabin menyentuh angka 18,66°C.

Grafik 1800 watt by pass 55°C

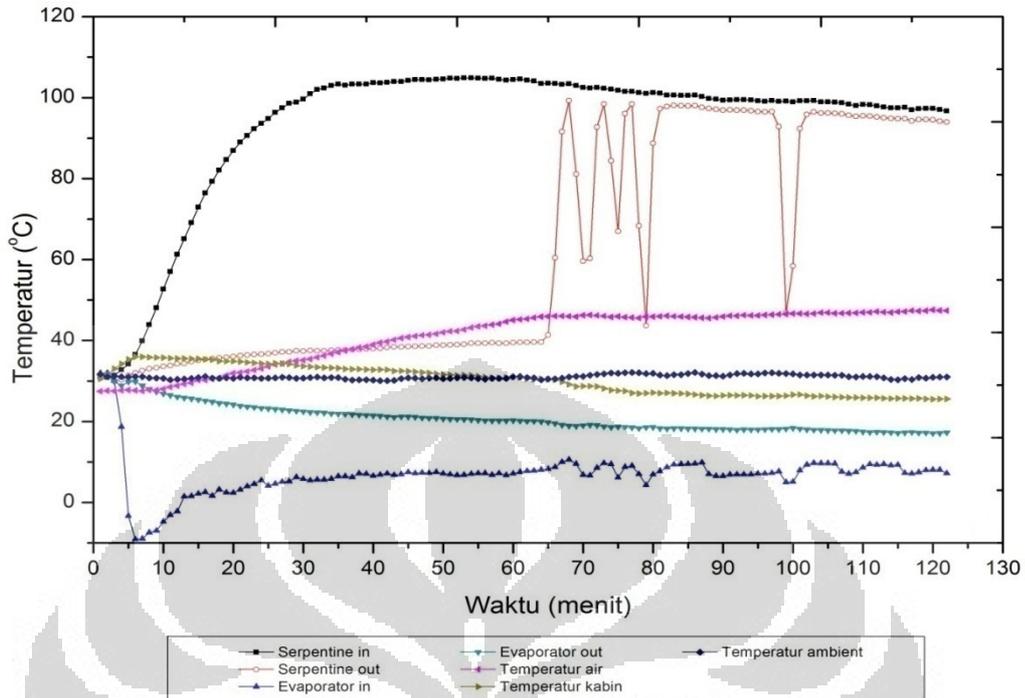
Untuk memastikan sistem kontrol pada ACWH dapat dilakukan pada konfigurasi penyetelan temperatur berapa pun yang diinginkan, maka dilakukan pengambilan data untuk kontrol temperatur air dalam tangki sebesar 55°C. Waktu efektif untuk memanaskan air sebesar 55°C adalah 110 menit.



Gambar 4.6 Grafik karakteristik 1800 by-pass 55°C

Ketika kontrol 55°C diset pada thermostat, diperoleh data temperatur maksimum refrigeran sebesar 103,706°C. Temperatur ambient berkisar antara 30-34°C ketika dilakukan pengambilan data. Meskipun kondisi ambient relatif tidak stabil, tetapi temperatur dalam kabin dapat mencapai temperatur 19,15°C.

Grafik 2000 watt by pass 45°C

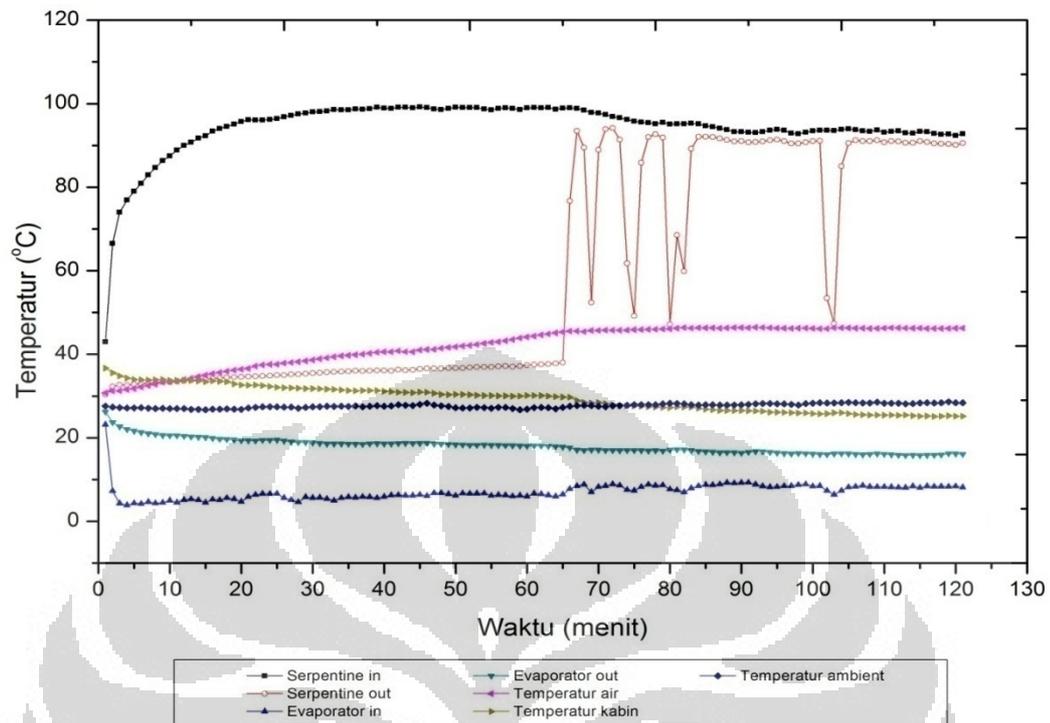


Gambar 4.7 Grafik karakteristik 2000 by-pass 45°C

Pengambilan data 2000 watt dilakukan pada temperatur lingkungan yang berkisar antara 30-31°C. Kondisi temperatur ambient yang cukup tinggi ini membuat temperatur kabin hanya mencapai temperatur 25,5°C. Maksimum temperatur refrigeran tercapai pada 104,88°C dan relatif menunjukkan keadaan stabil di temperatur 97°C ketika temperatur air dalam tangki telah tercapai.

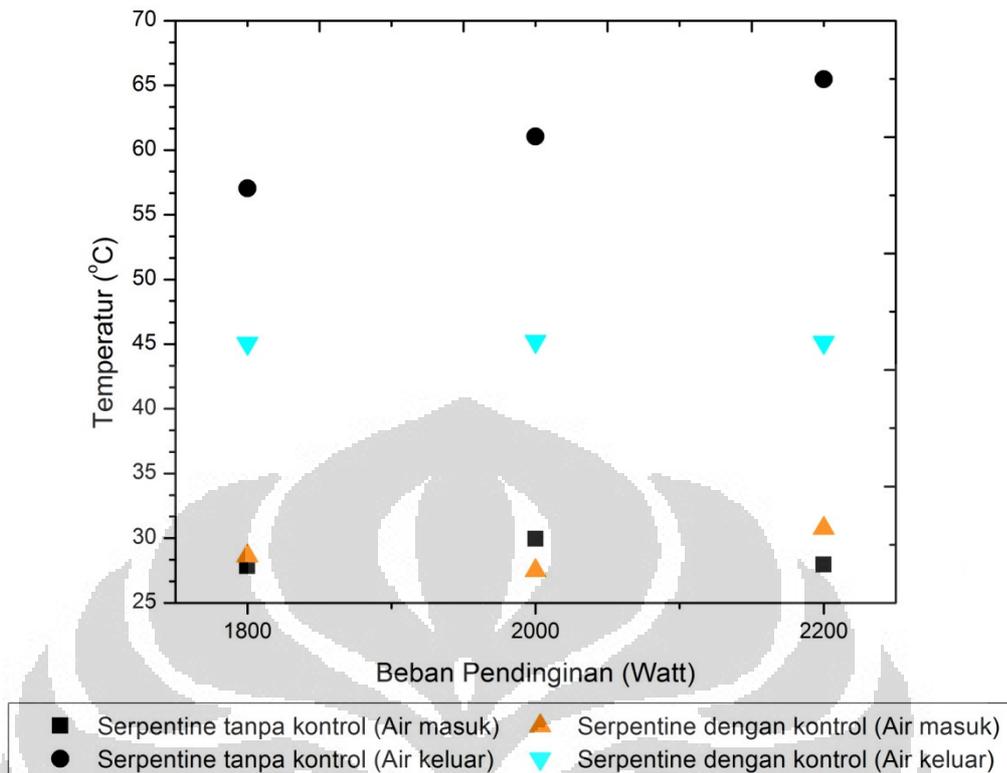
Terlihat dari grafik di atas bahwa temperatur refrigeran yang keluar dari alat penukar kalor tipe serpentine mengalami fluktuasi yang terjadi berulang-ulang. Hal ini terjadi karena katup solenoid membuka dan menutup laju aliran refrigeran serta mengalihkan aliran pada jalur *by-pass*. Proses membuka dan menutupnya katup solenoid secara otomatis dilakukan untuk mencapai dan mempertahankan temperatur air di dalam tangki.

Grafik 2200 watt by pass 45°C



Gambar 4.8 Grafik karakteristik 2200 *by-pass* 45°C

Pengambilan terakhir dilakukan pada variasi pembebanan 2200 watt dengan kontrol temperatur air dalam tangki dilakukan penyetelan pada temperatur 45°C. Refrigeran berada pada kondisi maksimum dengan temperatur sebesar 99,17°C, dan akan stabil pada temperatur 93°C ketika temperatur air stabil di temperatur 45°C. Temperatur kabin tercatat sebesar 25,11°C dengan kondisi temperatur lingkungan sebesar 27-28°C.



Gambar 4.9 Grafik temperatur air terhadap variasi beban pendingin

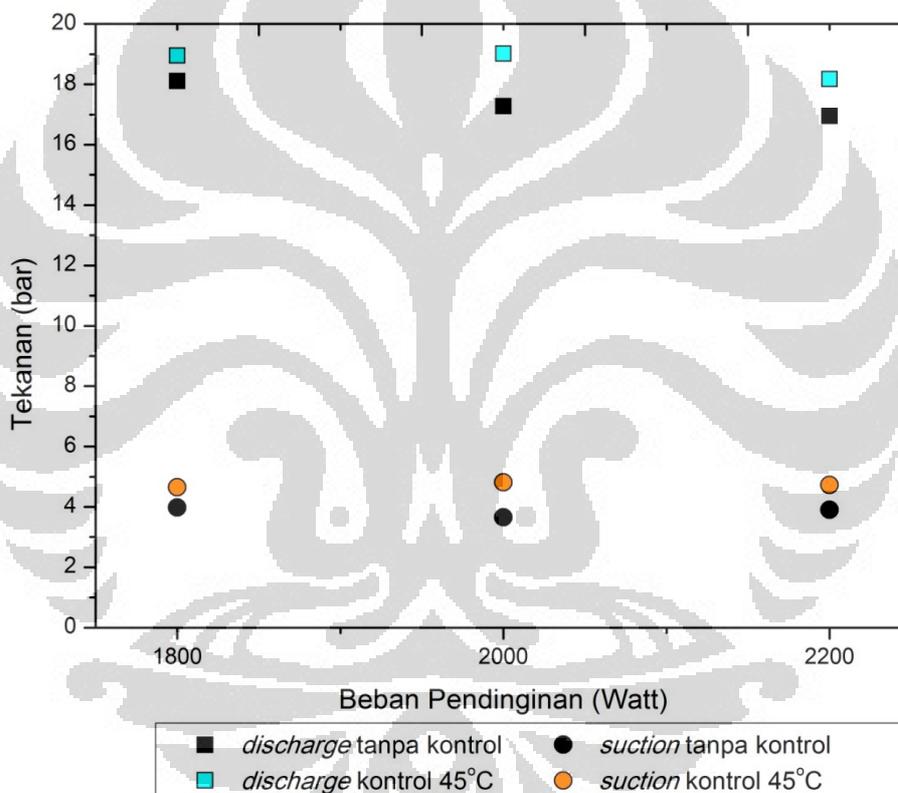
Terlihat dari grafik di atas, bahwa untuk ACWH tanpa sistem kontrol variasi beban pendinginan mempengaruhi temperatur keluaran air panas. Semakin tinggi beban pendinginan maka temperatur air panas yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya temperatur refrigeran ketika beban pendinginan ditambahkan. Dengan meningkatnya temperatur refrigeran, maka perpindahan panas yang terjadi secara konveksi antara refrigeran dengan alat penukar kalor tipe serpentine dengan air di dalam tangki akan semakin besar. Maka, temperatur air di dalam tangki pun akan bertambah. Temperatur air panas yang dihasilkan dengan penambahan jalur *by-pass*, namun tanpa diberi kontrol temperatur air dalam tangki ini berkisar antara 57-65°C.

Ketika sistem ini diberi kontrol temperatur sebesar 45°C pada setiap beban pendinginan diperlukan waktu yang relatif sama yaitu ± 60 menit. Namun semakin besar beban pendinginan yang diberikan maka fluktuasi dari temperatur refrigeran yang keluar dari alat penukar kalor akan semakin banyak. Pada pembebanan 1800 watt, fluktuasi kenaikan dan penurunan temperatur refrigeran

terjadi 2 kali. Pada pembebanan 2000 watt, fluktuasi terjadi sebanyak 5 kali, dan 6 kali fluktuasi terjadi pada pembebanan 2200 watt. Analisa yang dapat dilakukan adalah semakin besar beban pendinginan yang diberikan pada sistem ACWH, maka kemampuan tangki air dalam mengisolasi temperatur akan semakin berkurang. Oleh karena itulah fluktuasi yang diakibatkan oleh bukaan serta menutupnya katup solenoide untuk mempertahankan temperatur dalam air terjadi.

4.3 Analisa Unjuk Kerja Kompresor

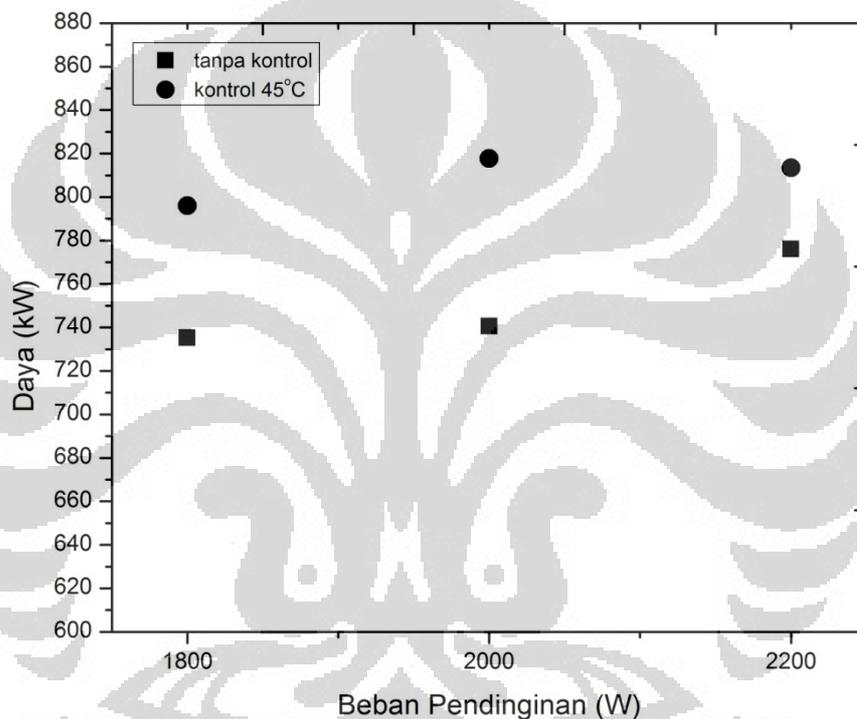
Grafik tekanan dan daya kompresor



Gambar 4.10 Grafik tekanan terhadap variasi beban pendinginan

Secara umum tekanan *suction* dan *discharge* kompresor pada ACWH tanpa sistem kontrol lebih kecil dibandingkan dengan tekanan kompresor pada ACWH dengan adanya sistem kontrol *by-pass*. Dapat dilihat dari grafik di atas, pada ACWH tanpa kontrol temperatur air, tekanan *suction* kompresor berkisar antara rentang 3,6-3,9 bar dan 16-18 bar pada tekanan *discharge* kompresor. Sedangkan dengan adanya aplikasi penambahan sistem kontrol temperatur terjadi

kenaikan tekanan pada *suction* dan *discharge* kompresor. Tekanan pada *suction* kompresor 4,6-4,8 bar dan tekanan *discharge* kompresor tercatat sebesar 18-19 bar. Kenaikan tekanan ini disebabkan karena meningkatnya temperatur pada kondenser yang mengakibatkan bergesernya titik embun dan titik penguapan pada siklus refrigeran menjadi lebih tinggi, sehingga tekanan dalam kondenser dan evaporator pun akan meningkat. Meningkatnya tekanan pada kondenser dan evaporator inilah yang mempengaruhi kenaikan tekanan pada kompresor.



Gambar 4.11 Grafik kerja kompresor terhadap variasi beban pendinginan

Daya kompresor pada grafik yang disajikan di atas dipengaruhi oleh arus listrik yang digunakan untuk menyalakan kompresor dan tegangan listrik pada laboratorium. Semakin tinggi beban pendinginan yang diberikan maka daya kompresor akan lebih besar seperti terlihat pada grafik yang menunjukkan sistem ACWH tanpa adanya sistem kontrol temperatur, dikarenakan semakin besar kalor yang harus dipindahkan dari dalam ruangan, maka kerja kompresor pun akan semakin besar.

Pada grafik yang menunjukkan sistem ACWH dengan penambahan kontrol temperatur yang diset pada suhu 45°C terjadi penambahan kerja kompresor dengan daya 1 PK yang digunakan berkisar antara 795-817 watt. Pada pembebanan 2200 watt terjadi penurunan daya kompresor yang seharusnya secara teoritis akan meningkat seiring bertambahnya beban pendinginan. Penurunan daya kompresor ini terjadi karena pengambilan data 2200 watt dengan sistem kontrol temperatur, suhu lingkungan berkisar antara $27-28^{\circ}\text{C}$, dimana pengambilan data lainnya dilakukan pada suhu lingkungan $30-31^{\circ}\text{C}$. Penurunan temperatur lingkungan ketika pengambilan data mengakibatkan turunnya temperatur maksimum dari refrigeran. Hal ini terbukti dengan temperatur maksimum refrigeran yang dicapai adalah 99°C , dimana pengambilan data 1800 dan 2000 watt tercapai temperatur refrigeran maksimum sebesar 104°C . Penurunan temperatur berakibat pada turunnya tekanan pada evaporator dan kondenser, analisa inilah yang menyebabkan kerja kompresor menurun.

Penambahan sistem kontrol temperatur menghasilkan maksimum kerja kompresor sebesar 817,74 watt, dimana spesifikasi standar manufaktur adalah 800 watt. Maka aplikasi penambahan sistem kontrol temperatur ini mengakibatkan kerja kompresor meningkat sebesar 17,74 watt dibandingkan dengan standar AC konvensional.

4.4 P-h Diagram

1800 watt

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

- Tekanan discharge/masuk serpentine (rata-rata) = 18,4 bar = 1840 kPa
- Tekanan suction/masuk evap (rata-rata) = 4,4 bar = 440 kPa
- Temperatur masuk serpentine 99°C
- Temperatur keluar evapurator 20°C
- Temperatur keluar kondenser 45°C

Tabel 4.1 Data properties evaporator pada software coolpack (1800 watt)

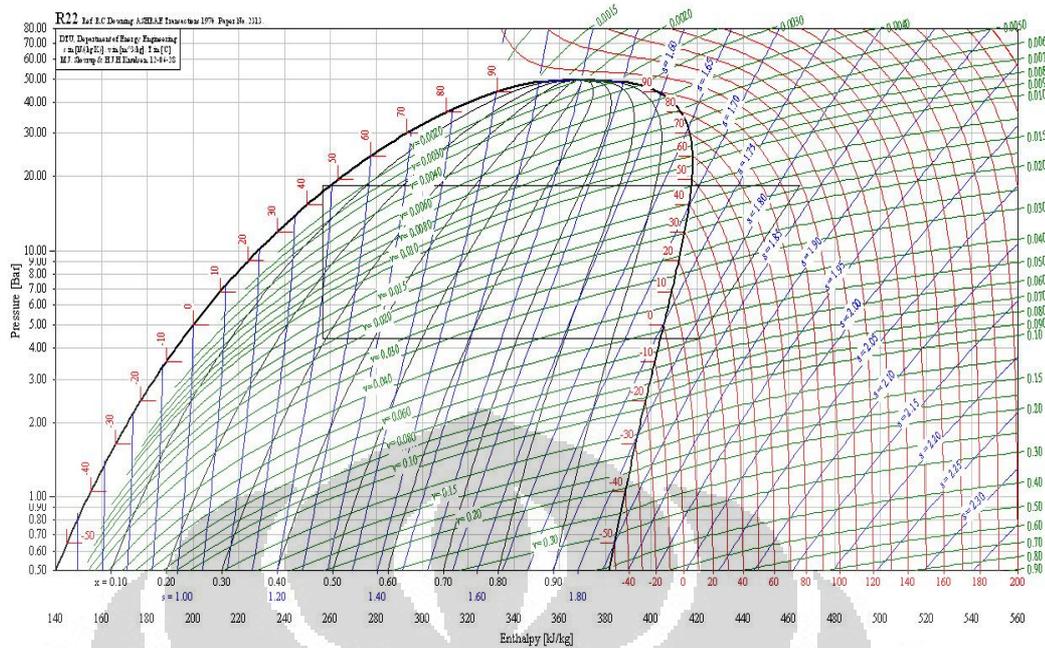
T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
20.000	4.400	420.7524991
20.000	5.400	419.0130836
20.000	6.400	417.2068917
20.000	7.400	415.3254953
20.000	8.400	413.3603531
20.000	9.400	411.2956494
20.000	10.400	409.1160081
20.000	11.400	406.7995762
20.000	12.400	404.3165506
20.000	13.400	401.6244237
20.000	14.400	398.6587976
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

Tabel 4.2 Data properties kondenser pada software coolpack (1800 watt)

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

Tabel 4.3 Data properties kompresor pada software coolpack (1800 watt)

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



Gambar 4.12 P-h diagram untuk beban pendinginan 1800 watt

Berdasarkan p-h diagram di atas, maka nilai enthalpy adalah:

$$H1=420,75 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$H2=464,82 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$H3=256,38 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$H4=256,38 \text{ kJ/(kg.K)}$$

1800 Watt by-pass 45°C

Data yang diperoleh dari pengujian S-ACWH pada pembebanan 1800 Watt *by-pass*:

- Tekanan discharge/masuk serpentine (rata-rata) = 18,4 bar = 1840 kPa
- Tekanan suction/masuk evaporator (rata-rata) = 4,2bar = 420 kPa
- Temperatur masuk serpentine 96°C
- Temperatur keluar evaporator 21°C
- Temperatur keluar kondenser 45°C

Tabel 4.4 Data properties evaporator pada software coolpack (1800 watt *by-pass*)

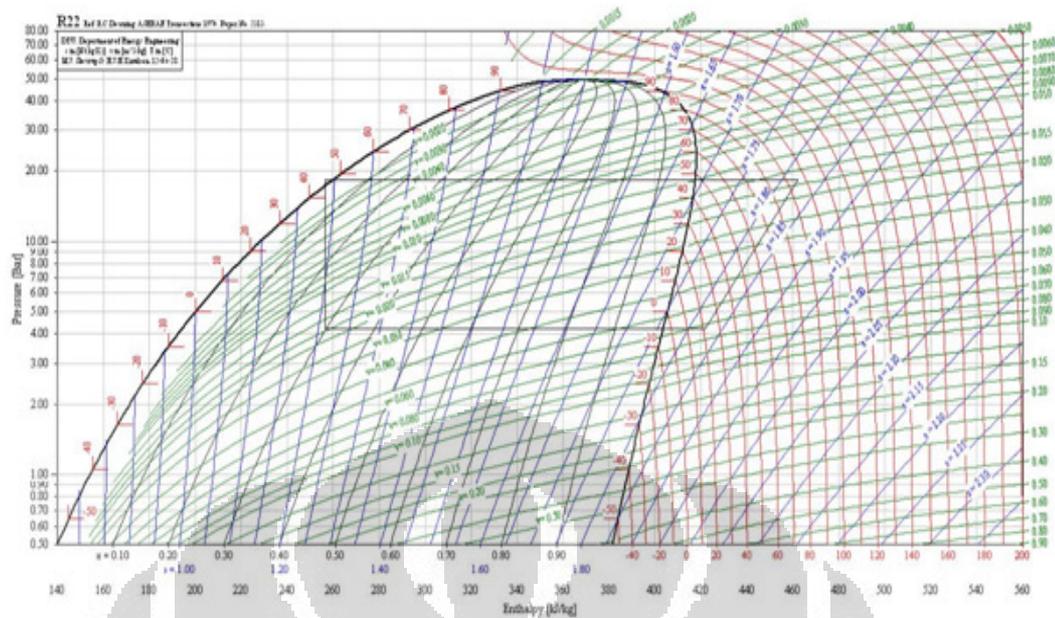
T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
21.000	4.200	421.7967605
21.000	4.400	421.4598137
21.000	4.600	421.1205421
21.000	4.800	420.7788964
21.000	5.000	420.4348254
21.000	5.200	420.0882762
21.000	5.400	419.739194
21.000	5.600	419.3875218
21.000	5.800	419.0332004
21.000	6.000	418.6761686
21.000	6.200	418.3163626
21.000	6.400	417.953716
21.000	6.600	417.5881598
21.000	6.800	417.2196223
21.000	7.000	416.8480287
21.000	7.200	416.4733008
21.000	7.400	416.0953575
21.000	7.600	415.7141137
21.000	7.800	415.3294808
21.000	8.000	414.941366
21.000	8.200	414.551297
21.000	8.400	414.1560533
21.000	8.600	413.7570298
21.000	8.800	413.3541149
21.000	9.000	412.9471916
21.000	9.200	412.5361368
21.000	9.400	412.1208207
21.000	9.600	411.7011072

Tabel 4.5 Data properties kondenser pada software coolpack (1800 watt *by-pass*)

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

Tabel 4.6 Data properties kompresor pada software coolpack (1800 watt *by-pass*)

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
96.000	13.000	467.8363943
96.000	13.200	467.6373656
96.000	13.400	467.4377123
96.000	13.600	467.2374288
96.000	13.800	467.0365097
96.000	14.000	466.8349493
96.000	14.200	466.6327419
96.000	14.400	466.4298815
96.000	14.600	466.2263625
96.000	14.800	466.0221787
96.000	15.000	465.8173241
96.000	15.200	465.6117925
96.000	15.400	465.4055776
96.000	15.600	465.1986732
96.000	15.800	464.9910727
96.000	16.000	464.7827696
96.000	16.200	464.5737573
96.000	16.400	464.3640289
96.000	16.600	464.1535776
96.000	16.800	463.9423965
96.000	17.000	463.7304784
96.000	17.200	463.5178162
96.000	17.400	463.3044025
96.000	17.600	463.0902299
96.000	17.800	462.8752909
96.000	18.000	462.6615066
96.000	18.200	462.4450797
96.000	18.400	462.2278646



Gambar 4.13 P-h diagram untuk beban pendinginan 1800 watt by-pass 45°C

Berdasarkan p-h diagram di atas, maka nilai enthalpy adalah:

$$H_1 = 421,79 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$H_2 = 462,23 \text{ kJ/(kg.K)}$$

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

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

2000 Watt

Data yang diperoleh dari pengujian S-ACWH pada pembebanan 2000 Watt:

- Tekanan discharge/masuk serpentine (rata-rata) = 18,2 bar = 1820 kPa
- Tekanan suction/masuk evaporator (rata-rata) = 4,2 bar = 420 kPa
- Temperatur masuk serpentine 97°C
- Temperatur keluar evaporator 16°C
- Temperatur keluar kondenser 45°C

Tabel 4.7 Data properties evaporator pada software coolpack (2000 watt)

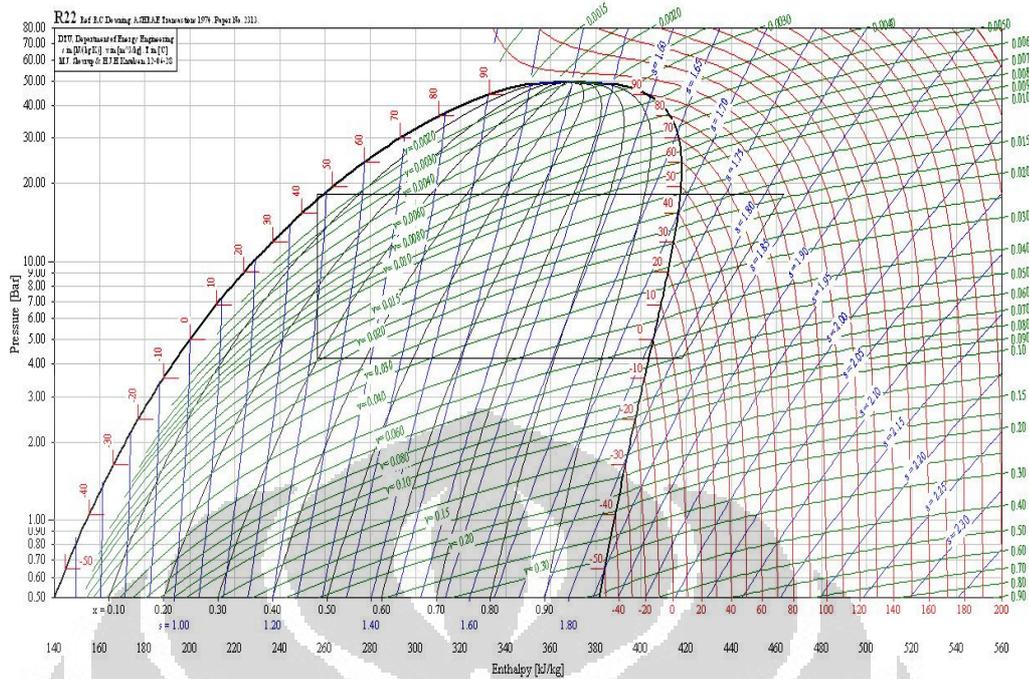
T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
16.000	4.200	418.2804475
16.000	4.400	417.9250975
16.000	4.600	417.5670794
16.000	4.800	417.2063313
16.000	5.000	416.8427891
16.000	5.200	416.4763859
16.000	5.400	416.1070524
16.000	5.600	415.7347162
16.000	5.800	415.3593021
16.000	6.000	414.9807316
16.000	6.200	414.5989226
16.000	6.400	414.2137899
16.000	6.600	413.825244
16.000	6.800	413.4331917
16.000	7.000	413.0375351
16.000	7.200	412.6381721
16.000	7.400	412.2349954
16.000	7.600	411.8278925
16.000	7.800	411.4183985
16.000	8.000	411.0032232
16.000	8.200	410.5837572
16.000	8.400	410.1598632
16.000	8.600	409.7313965
16.000	8.800	409.2982042
16.000	9.000	408.8601248
16.000	9.200	408.4169875
16.000	9.400	407.968611
16.000	9.600	407.5148031

Tabel 4.8 Data properties kondenser pada software coolpack (2000 watt)

T	p	H saturated liquid
°C	Bar	kJ/kg
45.000	16.300	256.384214
45.000	16.400	256.384214
45.000	16.500	256.384214
45.000	16.600	256.384214
45.000	16.700	256.384214
45.000	16.800	256.384214
45.000	16.900	256.384214
45.000	17.000	256.384214
45.000	17.100	256.384214
45.000	17.200	256.384214
45.000	17.300	256.384214
45.000	17.400	256.384214
45.000	17.500	256.384214
45.000	17.600	256.384214
45.000	17.700	256.384214
45.000	17.800	256.384214
45.000	17.900	256.384214
45.000	18.000	256.384214
45.000	18.100	256.384214
45.000	18.200	256.384214
45.000	18.300	256.384214
45.000	18.400	256.384214
45.000	18.500	256.384214
45.000	18.600	256.384214
45.000	18.700	256.384214
45.000	18.800	256.384214
45.000	18.900	256.384214
45.000	19.000	256.384214

Tabel 4.9 Data properties kompresor pada software coolpack (2000 watt)

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
97.000	12.800	468.8467963
97.000	13.000	468.6501137
97.000	13.200	468.4528263
97.000	13.400	468.2549288
97.000	13.600	468.0564161
97.000	13.800	467.8572826
97.000	14.000	467.6575232
97.000	14.200	467.4571321
97.000	14.400	467.2561039
97.000	14.600	467.0544329
97.000	14.800	466.8521134
97.000	15.000	466.6491396
97.000	15.200	466.4455055
97.000	15.400	466.2412051
97.000	15.600	466.0362324
97.000	15.800	465.8305812
97.000	16.000	465.6242452
97.000	16.200	465.417218
97.000	16.400	465.2094932
97.000	16.600	465.0010642
97.000	16.800	464.7919244
97.000	17.000	464.5820669
97.000	17.200	464.371485
97.000	17.400	464.1601715
97.000	17.600	463.9481195
97.000	17.800	463.7353217
97.000	18.000	463.5217708
97.000	18.200	463.3094024



Gambar 4.14 P-h diagram untuk beban pendinginan 2000 watt

Berdasarkan p-h diagram di atas, maka nilai enthalpy adalah:

$H_1=418,28 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

$H_2=463,30 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

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

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

2000 Watt by-pass 45°C

Data yang diperoleh dari pengujian S-ACWH pada pembebanan 2000 Watt *by-pass*:

- Tekanan discharge/masuk serpentine (rata-rata) = 18,4 bar = 1840 kPa
- Tekanan suction/masuk evaporator (rata-rata) = 4,3 bar = 430 kPa
- Temperatur masuk serpentine 98°C
- Temperatur keluar evaporator 20°C
- Temperatur keluar kondenser 45°C

Tabel 4.10 Data properties evaporator pada software coolpack (2000 watt *by-pass*)

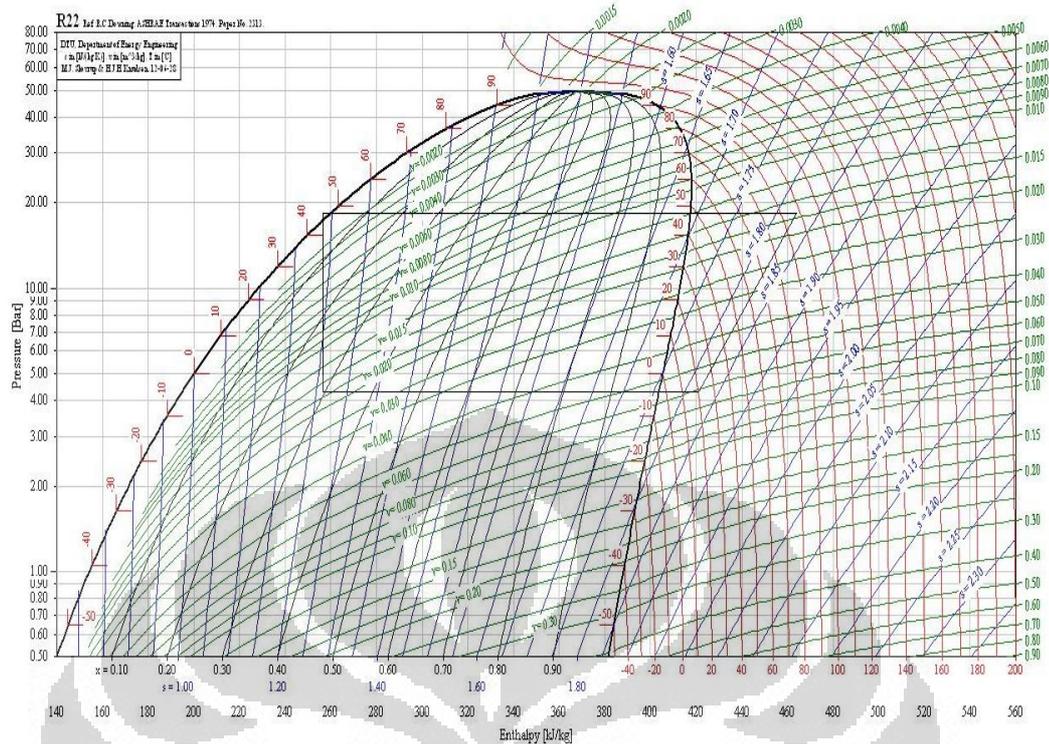
T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
20.000	4.300	420.9230469
20.000	4.400	420.7524991
20.000	4.500	420.5813542
20.000	4.600	420.4096057
20.000	4.700	420.2372471
20.000	4.800	420.0642719
20.000	4.900	419.8906732
20.000	5.000	419.7164442
20.000	5.100	419.5415779
20.000	5.200	419.3660673
20.000	5.300	419.1899049
20.000	5.400	419.0130836
20.000	5.500	418.8355956
20.000	5.600	418.6574335
20.000	5.700	418.4785892
20.000	5.800	418.2990549
20.000	5.900	418.1188225
20.000	6.000	417.9378836
20.000	6.100	417.7562297
20.000	6.200	417.5738524
20.000	6.300	417.3907427
20.000	6.400	417.2068917
20.000	6.500	417.0222902
20.000	6.600	416.8369289
20.000	6.700	416.6507982
20.000	6.800	416.4638884
20.000	6.900	416.2761896
20.000	7.000	416.0876914

Tabel 4.11 Data properties kondenser pada software coolpack (2000 watt *by-pass*)

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

Tabel 4.12 Data properties kompresor pada software coolpack (2000 watt *by-pass*)

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
98.000	15.700	466.7715232
98.000	15.800	466.6695725
98.000	15.900	466.5674549
98.000	16.000	466.4651697
98.000	16.100	466.3627161
98.000	16.200	466.2600932
98.000	16.300	466.1573005
98.000	16.400	466.054337
98.000	16.500	465.9512019
98.000	16.600	465.8478946
98.000	16.700	465.7444141
98.000	16.800	465.6407597
98.000	16.900	465.5369305
98.000	17.000	465.4329258
98.000	17.100	465.3287447
98.000	17.200	465.2243865
98.000	17.300	465.1198501
98.000	17.400	465.0151349
98.000	17.500	464.9102399
98.000	17.600	464.8051643
98.000	17.700	464.6999073
98.000	17.800	464.5944679
98.000	17.900	464.4888453
98.000	18.000	464.3830386
98.000	18.100	464.277047
98.000	18.200	464.1708694
98.000	18.300	464.0664286
98.000	18.400	463.9599098



Gambar 4.15 P-h diagram untuk beban pendinginan 2000 watt 45°C

Berdasarkan p-h diagram di atas, maka nilai enthalpy adalah:

$H_1=420,92 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

$H_2=463,96 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$

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

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

2200 Watt

Data yang diperoleh dari pengujian S-ACWH pada pembebanan 2200 Watt:

- Tekanan discharge/masuk serpentine (rata-rata) = 18,4 bar = 1840 kPa
- Tekanan suction/masuk evaporator (rata-rata) = 4,4 bar = 440 kPa
- Temperatur masuk serpentine in 94°C
- Temperatur keluar evaporator 18°C
- Temperatur keluar kondenser 45°C

Tabel 4.13 Data properties evaporator pada software coolpack (2200 watt)

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
18.000	4.400	419.3384617
18.000	4.500	419.1636181
18.000	4.600	418.9881367
18.000	4.700	418.8120102
18.000	4.800	418.6352315
18.000	4.900	418.4577932
18.000	5.000	418.2796878
18.000	5.100	418.1009076
18.000	5.200	417.9214447
18.000	5.300	417.7412912
18.000	5.400	417.5604391
18.000	5.500	417.3788799
18.000	5.600	417.1966053
18.000	5.700	417.0136066
18.000	5.800	416.8298751
18.000	5.900	416.6454018
18.000	6.000	416.4601775
18.000	6.100	416.2741929
18.000	6.200	416.0874384
18.000	6.300	415.8999043
18.000	6.400	415.7115807
18.000	6.500	415.5224574
18.000	6.600	415.332524
18.000	6.700	415.14177
18.000	6.800	414.9501844
18.000	6.900	414.7577563
18.000	7.000	414.5644743
18.000	7.100	414.3703267

Tabel 4.14 Data properties kondenser pada software coolpack (2200 watt)

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

Tabel 4.15 Data properties kompresor pada software coolpack (2200 watt)

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
94.000	15.700	463.4162805
94.000	15.800	463.3103872
94.000	15.900	463.2043088
94.000	16.000	463.0980446
94.000	16.100	462.9915935
94.000	16.200	462.8849547
94.000	16.300	462.7781271
94.000	16.400	462.6711099
94.000	16.500	462.5639022
94.000	16.600	462.4565029
94.000	16.700	462.3489112
94.000	16.800	462.241126
94.000	16.900	462.1331464
94.000	17.000	462.0249714
94.000	17.100	461.9165999
94.000	17.200	461.8080311
94.000	17.300	461.6992639
94.000	17.400	461.5902972
94.000	17.500	461.4811301
94.000	17.600	461.3736605
94.000	17.700	461.2641236
94.000	17.800	461.1543834
94.000	17.900	461.0444391
94.000	18.000	460.9342896
94.000	18.100	460.8239336
94.000	18.200	460.7133703
94.000	18.300	460.6025984
94.000	18.400	460.4916168

Tabel 4.16 Data properties evaporator pada software coolpack (2200 watt *by-pass*)

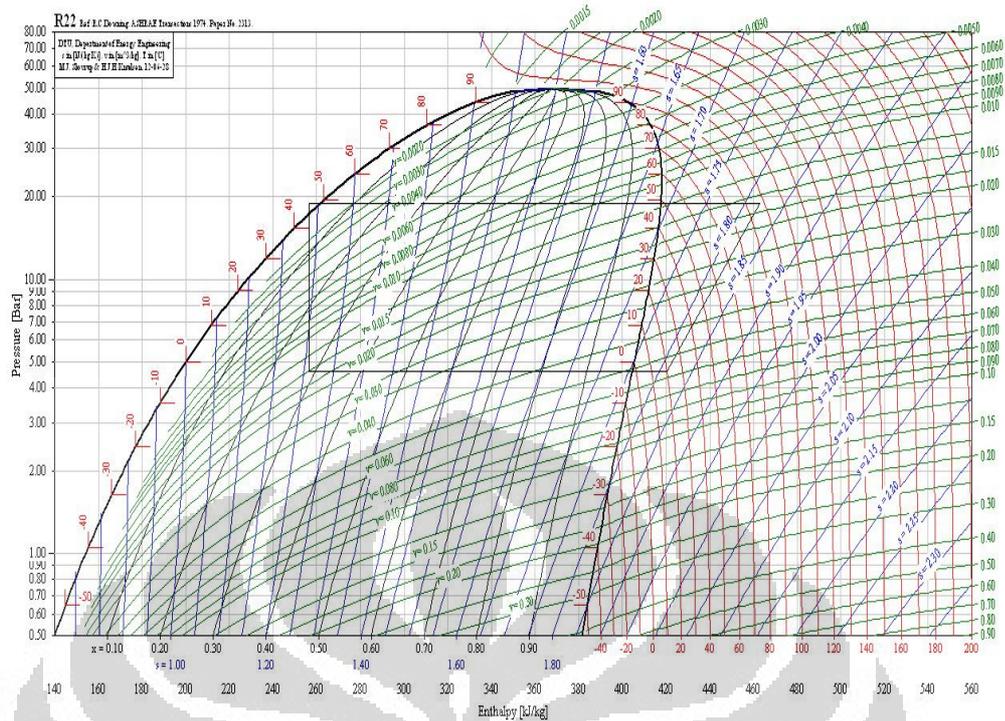
T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
20.000	4.600	420.4096057
20.000	4.700	420.2372471
20.000	4.800	420.0642719
20.000	4.900	419.8906732
20.000	5.000	419.7164442
20.000	5.100	419.5415779
20.000	5.200	419.3660673
20.000	5.300	419.1899049
20.000	5.400	419.0130836
20.000	5.500	418.8355956
20.000	5.600	418.6574335
20.000	5.700	418.4785892
20.000	5.800	418.2990549
20.000	5.900	418.1188225
20.000	6.000	417.9378836
20.000	6.100	417.7562297
20.000	6.200	417.5738524
20.000	6.300	417.3907427
20.000	6.400	417.2068917
20.000	6.500	417.0222902
20.000	6.600	416.8369289
20.000	6.700	416.6507982
20.000	6.800	416.4638884
20.000	6.900	416.2761896
20.000	7.000	416.0876914
20.000	7.100	415.8983837
20.000	7.200	415.7082557
20.000	7.300	415.5172966

Tabel 4.17 Data properties kondenser pada software coolpack (2200 watt *by-pass*)

T	p	H saturated liquid
°C	Bar	kJ/kg
45.000	16.300	256.384214
45.000	16.400	256.384214
45.000	16.500	256.384214
45.000	16.600	256.384214
45.000	16.700	256.384214
45.000	16.800	256.384214
45.000	16.900	256.384214
45.000	17.000	256.384214
45.000	17.100	256.384214
45.000	17.200	256.384214
45.000	17.300	256.384214
45.000	17.400	256.384214
45.000	17.500	256.384214
45.000	17.600	256.384214
45.000	17.700	256.384214
45.000	17.800	256.384214
45.000	17.900	256.384214
45.000	18.000	256.384214
45.000	18.100	256.384214
45.000	18.200	256.384214
45.000	18.300	256.384214
45.000	18.400	256.384214
45.000	18.500	256.384214
45.000	18.600	256.384214
45.000	18.700	256.384214
45.000	18.800	256.384214
45.000	18.900	256.384214
45.000	19.000	256.384214

Tabel 4.18 Data properties kompresor pada software coolpack (2200 watt *by-pass*)

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
101.000	16.300	468.6855552
101.000	16.400	468.5854501
101.000	16.500	468.4851861
101.000	16.600	468.3847626
101.000	16.700	468.2841788
101.000	16.800	468.1834341
101.000	16.900	468.0825278
101.000	17.000	467.981459
101.000	17.100	467.8802272
101.000	17.200	467.7788315
101.000	17.300	467.6772713
101.000	17.400	467.5755458
101.000	17.500	467.4736543
101.000	17.600	467.371596
101.000	17.700	467.2693702
101.000	17.800	467.1669761
101.000	17.900	467.0644129
101.000	18.000	466.9616799
101.000	18.100	466.8587763
101.000	18.200	466.7557013
101.000	18.300	466.6524542
101.000	18.400	466.5490341
101.000	18.500	466.4454402
101.000	18.600	466.3416718
101.000	18.700	466.2377281
101.000	18.800	466.1355378
101.000	18.900	466.0312732
101.000	19.000	465.9268311



Gambar 4.17 P-h diagram untuk beban pendinginan 2200 watt by-pass 45°C

Berdasarkan p-h diagram di atas, maka nilai enthalpy adalah:

$$H_1 = 420,4 \text{ kJ/(kg.K)}$$

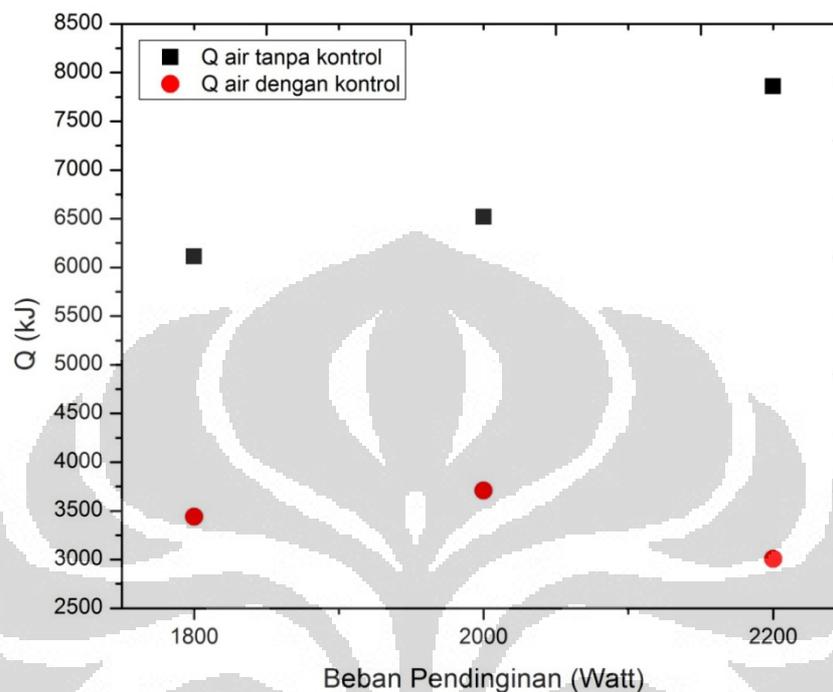
$$H_2 = 462,92 \text{ kJ/(kg.K)}$$

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

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

4.5 Analisa Perpindahan Panas

Grafik penyerapan kalor pada air

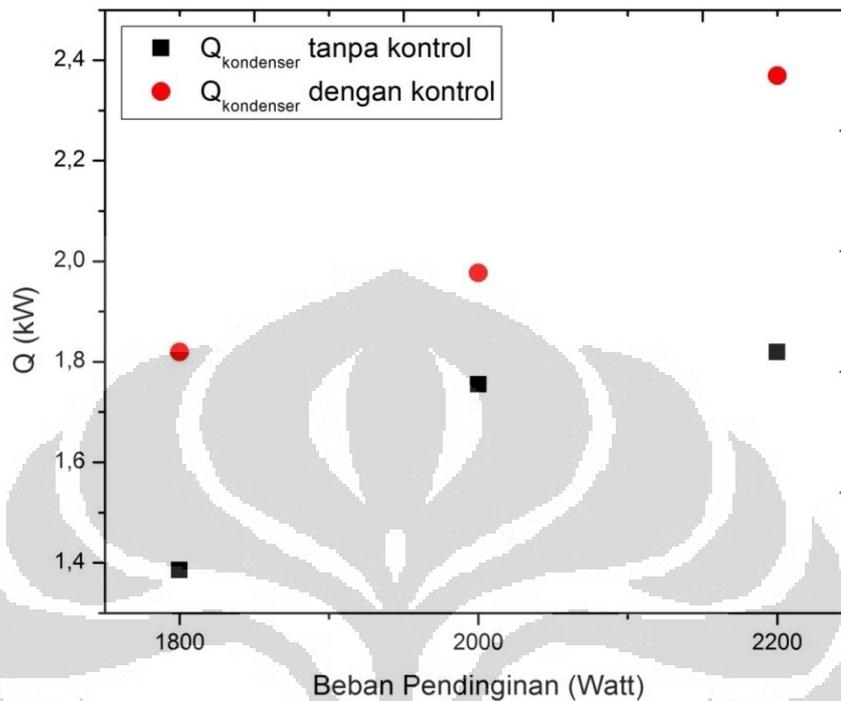


Gambar 4.18 Grafik penyerapan kalor pada air terhadap variasi beban pendinginan

Penambahan beban pendinginan mengakibatkan refrigeran menyerap kalor lebih banyak untuk memindahkannya ke luar kabin atau ruangan. Kalor yang dipindahkan tersebut terlebih dahulu melewati tangki air yang kemudian diserap oleh air. Grafik di atas menyajikan data yang memperlihatkan hubungan antara beban pendinginan dengan kalor yang diserap oleh air.

ACWH tanpa sistem kontrol temperatur air dalam tangki menghasilkan kalor yang diserap air berkisar antara 6000-8000 kJ. Sedangkan dengan adanya penambahan sistem kontrol temperatur, kalor yang diserap air berkisar antara 3000-3700 kJ. Rendahnya penyerapan kalor pada ACWH dengan sistem kontrol temperatur dikarenakan temperatur air diset stabil pada suhu 45°C, sehingga selisih temperatur antara air dingin yang masuk dan air panas yang dihasilkan semakin kecil, sehingga penyerapan kalor pun akan berkurang.

Grafik perpindahan kalor pada kondenser

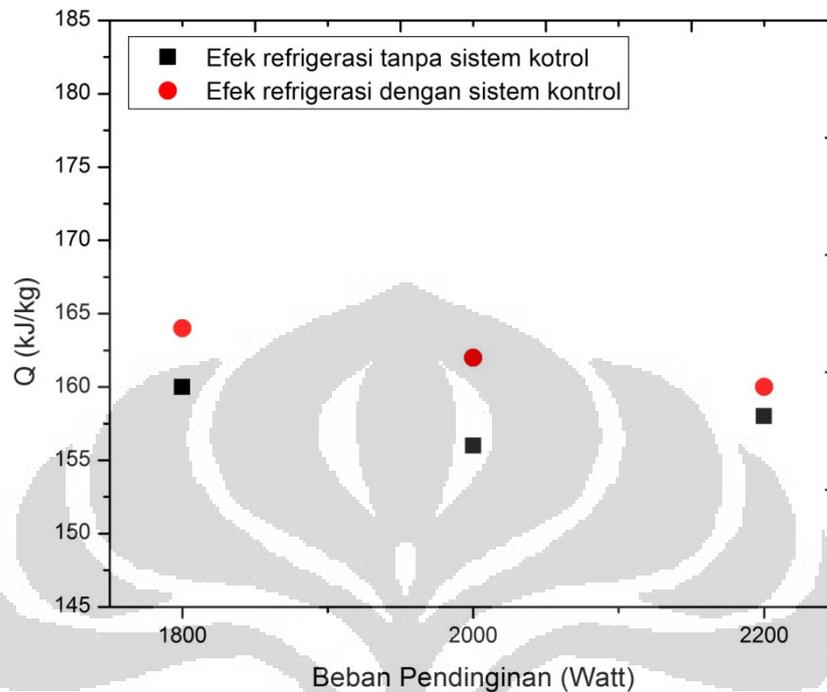


Gambar 4.19 Grafik penyerapan kalor pada kondenser terhadap variasi beban pendinginan

Grafik di atas menampilkan hubungan antara kalor yang diserap kondensator terhadap variasi beban pendinginan yang dilakukan ketika pengambilan data. Ketika sistem kontrol temperatur digunakan maka kalor yang diserap oleh kondensator berkisar antara 1,4-1,8 kW, sedangkan ketika sistem kontrol temperatur air tidak digunakan maka kalor yang diserap oleh kondensator akan bertambah dengan rentang 1,8-2,4 kW. Semakin besar beban pendinginan maka jumlah kalor di dalam kabin pun akan besar untuk dipindahkan, hal ini menyebabkan kalor yang diserap kondensator akan semakin besar pula.

Ketika sistem kontrol *by-pass* tidak aktif, refrigeran melewati alat penukar kalor tipe serpentine di dalam tangki. Sebagian besar kalor dari refrigeran berpindah ke air, yang menyebabkan penyerapan kalor di kondensator berkurang. Namun sebaliknya, ketika temperatur di dalam air tercapai dan sistem kontrol *by-pass* aktif, refrigeran dengan temperatur tinggi langsung melewati kondensator. Hal ini menyebabkan penyerapan kalor di dalam kondensator meningkat.

Grafik perpindahan kalor pada evaporator (efek refrigerasi)

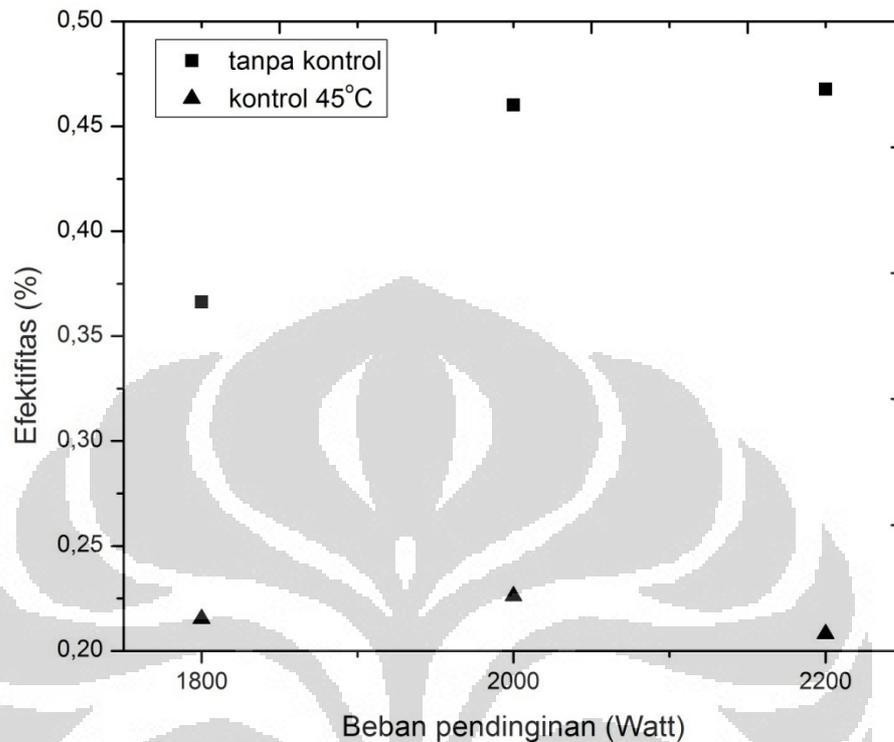


Gambar 4.20 Grafik efek refrigerasi pada evaporator terhadap variasi beban pendinginan

Perhitungan efek refrigerasi dalam sistem ACWH dilakukan untuk membandingkan banyaknya kalor yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator pada sistem ACWH tanpa kontrol dan sistem ACWH ketika adanya penambahan sistem kontrol temperatur *by-pass*. Semakin banyak kalor yang diserap oleh refrigeran untuk proses evaporasi, maka kapasitas pendinginan menjadi lebih baik.

Berdasarkan grafik, data perpindahan panas pada evaporator di setiap variasi beban pendinginan mengalami peningkatan sebesar 2-8 kJ setiap massa satu kilogram refrigeran, dibandingkan dengan sistem tanpa menggunakan sistem kontrol. Akibat dari peningkatan efek refrigerasi ini menyebabkan temperatur kabin menjadi lebih dingin ketika dilakukannya penambahan sistem kontrol temperatur *by-pass* pada ACWH.

4.6 Analisa Unjuk Kerja ACWH

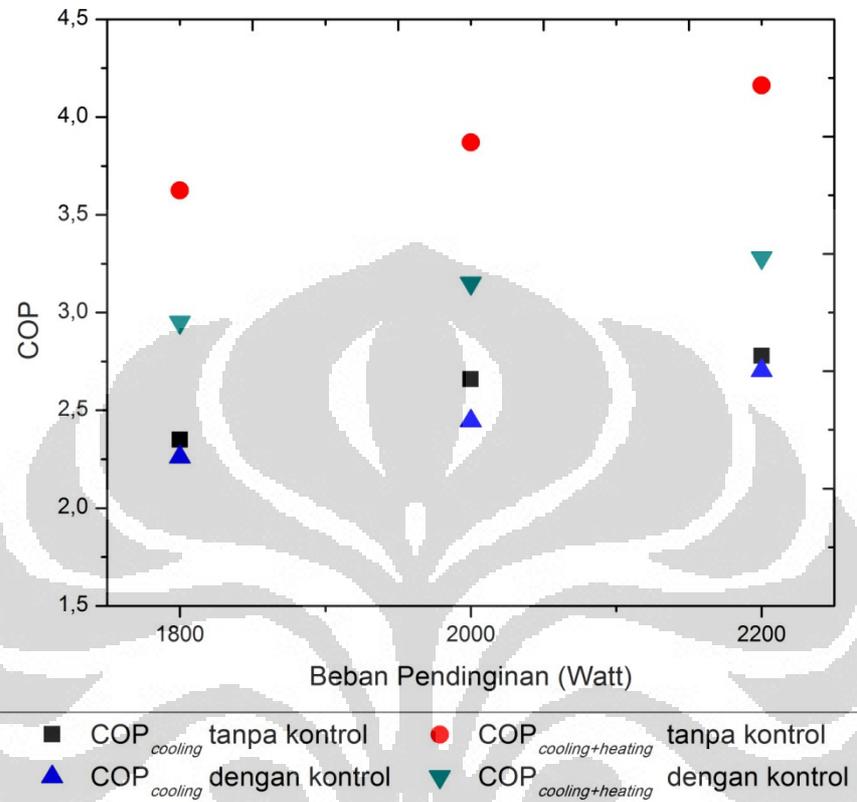


Gambar 4.21 Grafik efektifitas terhadap variasi beban pendingin

Efektifitas adalah perbandingan temperatur pemanasan antara kenaikan temperatur aktual dengan kemungkinan kenaikan temperatur maksimum secara teoritis. Grafik efektifitas yang disajikan di atas adalah perbandingan antara ACWH tanpa sistem kontrol dengan ACWH yang dilengkapi sistem kontrol temperatur air panas. Sistem ACWH dengan daya 1PK tanpa sistem kontrol temperatur menghasilkan efektifitas sebesar 36-47%. Sedangkan dengan adanya pembatasan temperatur air panas sebesar 45°C, efektifitasnya menurun pada rentang 20-22%.

Perhitungan efektifitas temperatur ini berdasarkan temperatur maksimum refrigeran, temperatur air dingin yang masuk ke dalam tangki dan temperatur air panas yang dihasilkan. Sehingga dengan adanya pembatasan temperatur air panas yang diinginkan delta temperatur air semakin kecil, sedangkan jika tanpa pembatasan temperatur delta temperatur akan semakin besar. Kecilnya perubahan

temperatur air serta pembatasan potensi kenaikan temperatur inilah yang membuat efektifitas pemanasan dengan sistem kontrol menjadi lebih kecil.



Gambar 4.22 Grafik COP terhadap variasi beban pendinginan

Grafik yang ditampilkan di atas menggambarkan hubungan antara COP *cooling* dan *heating* terhadap beban pendinginan. Karakteristik kinerja sistem pendingin ruangan dan pemanas air disajikan secara terpisah. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara lebih detail. COP *cooling* menggambarkan kinerja sistem pendingin untuk memindahkan kalor dari dalam ruangan yang ditentukan oleh kerja kompresor. Sedangkan COP *heating* digunakan untuk mengetahui seberapa besar kinerja sistem pemanas air untuk menyerap banyaknya kalor yang akan digunakan untuk memanaskan air berdasarkan kerja yang dilakukan kompresor.

Besarnya nilai COP *cooling* untuk ACWH tanpa sistem kontrol berkisar antara 2,3-2,7. Ketika temperatur air dalam tangki tercapai dan sistem kontrol secara otomatis telah aktif maka COP *cooling* akan sedikit menurun dengan

kisaran 2,2-2,7. Penurunan nilai COP ketika sistem *by-pass* aktif ini dikarenakan kerja kompresor menjadi lebih besar untuk beban pendinginan yang sama. Sehingga perbandingan antara beban pendinginan yang konstan untuk setiap variasi dengan kerja kompresor yang semakin besar menghasilkan nilai COP *cooling* yang lebih kecil. Jika dibandingkan dengan COP *cooling* pada AC konvensional sebesar 2,2-2,4 maka COP *cooling* pada ACWH mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh kerja kompresor yang berkurang dari efek pemanasan air.

COP *cooling+heating* ketika ACWH tanpa sistem kontrol adalah 3,6-4,2 dan ketika sistem kontrol aktif besarnya COP *cooling+heating* akan berkurang menjadi 2,9-3,3. Penurunan COP dipengaruhi oleh kerja kompresor dan pembatasan temperatur air panas yang diinginkan ketika penyetelan temperatur di thermostat.

4.7 Analisa Penggunaan ACWH dengan Sistem Kontrol di Hunian Apartemen

Hasil dari penelitian dengan pembatasan masalah yang cukup sempit membuat sistem yang sudah dirancang tidak bisa langsung diaplikasikan di hunian apartemen. Perlu dilakukan kajian secara lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.

Untuk dapat diaplikasikan secara nyata, perlu diperhatikan beberapa hal berikut:

- Kenyamanan setiap penghuni di dalam sebuah ruangan dengan alat pendingin ruangan berbeda-beda. Oleh karena itu, dimungkinkan dilakukannya penyetelan temperatur yang nyaman untuk mengkondisikan ruangan secara lebih bervariasi
- Sistem pemanasan air sangat bergantung pada kerja kompresor, dimana kerja kompresor bergantung pada sensor temperatur di dalam kabin. Jika temperatur di dalam ruang telah terpenuhi maka kompresor akan mati secara otomatis. Hal ini dapat mengganggu proses pemanasan air di dalam tangki penyimpanan air

- Aplikasi sistem kontrol temperatur *by-pass* pada sistem ACWH meningkatkan kerja kompresor. Peningkatan kerja kompresor secara tidak langsung berdampak pada peningkatan biaya listrik

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis di atas, perlu dilakukan pengaplikasian sebuah kontroler dengan *time switch* sehingga sistem dapat bekerja secara optimal. Kontroler yang dilengkapi dengan *time switch* memberikan keleluasaan kepada penghuni untuk melakukan penyetelan waktu pengaktifan kontrol terhadap temperatur air. Jadi, tanpa mengganggu kenyamanan di dalam ruangan, kinerja dari sistem pemanasan air akan lebih efektif. Terlebih dari itu, kerja dari kompresor dapat direduksi, karena durasi pengaktifan kontrol temperatur dapat diminimalisir. Dengan pengurangan kerja kompresor, maka penggunaan daya listrik akan berkurang yang secara langsung mengurangi biaya listrik. Sehingga konsep efisiensi penghematan energi dapat tercapai ketika penambahan sistem kontrol temperatur *by-pass* pada ACWH dengan alat penukar kalor tipe serpentine digunakan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan proses analisa data, pengolahan data serta analisa hasil pengolahan data, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

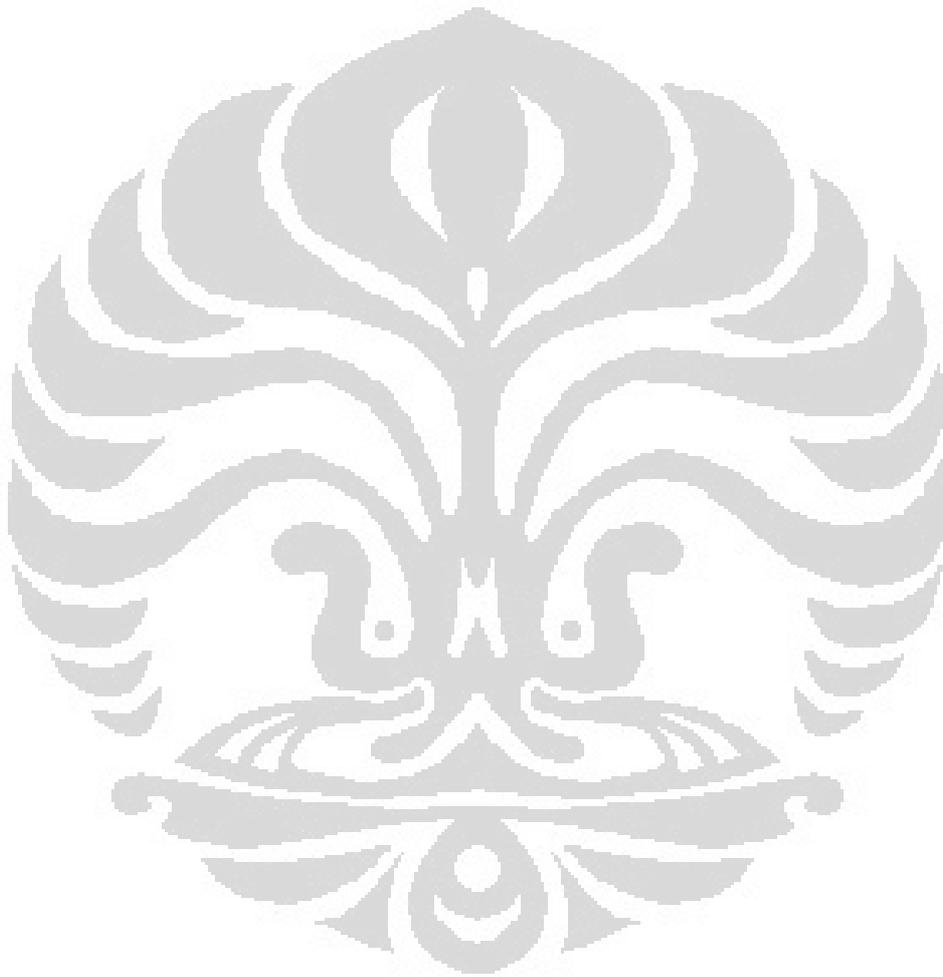
1. ACWH dengan daya kompresor 1 PK yang dilengkapi sistem kontrol temperatur air sebesar 45°C memerlukan waktu pemanasan ± 60 menit untuk setiap variasi beban pendinginan 1800, 2000 dan 2200 watt
2. Aplikasi penambahan sistem kontrol membuat kerja kompresor menjadi 7% lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan sistem kontrol. Akan tetapi keuntungan yang dapat diperoleh adalah:
 - temperatur keluaran air panas dapat dikontrol pada suhu yang diinginkan, sehingga tidak lagi dibutuhkan *mixing valve* untuk mencampurkan air dingin dan air panas
 - temperatur di dalam kabin dapat mencapai temperatur yang lebih rendah, sehingga tidak mengganggu kenyamanan di dalam ruangan
 - penggunaan desain tangki baru memudahkan aktivitas perawatan, karena alat penukar tipe serpentine dapat dengan mudah dilepas dan dimasukkan kembali ke dalam tangki penyimpanan air
3. Sistem kontrol temperatur *by-pass* menghasilkan efektifitas pemanasan air sebesar 20-22%
4. $\text{COP}_{\text{cooling+heating}}$ dengan menggunakan sistem kontrol untuk variasi pembebanan antara 1800, 2000, 2200 watt adalah sebesar 2,9-3,3

5.2 Saran

Atas dasar analisa yang telah dilakukan, maka dengan ini penulis memberikan saran untuk perbaikan penelitian ke depannya agar:

1. Untuk pengambilan data yang lebih valid dan akurat, pengujian sebaiknya dilakukan pada temperatur ambient yang konstan. Karena temperatur ambient sangat mempengaruhi hasil data pengukuran

2. Perlu dibuatnya sistem kontrol yang terintegrasi dengan *remote* pendingin ruangan untuk memudahkan proses penyetelan temperatur
3. Untuk aplikasi penggunaan secara nyata di hunian apartemen diperlukan pengujian secara lebih mendalam, diantaranya perhitungan beban pendinginan aktual dan akurat, serta perhitungan kebutuhan kapasitas pendingin yang tepat untuk beban pendinginan tersebut



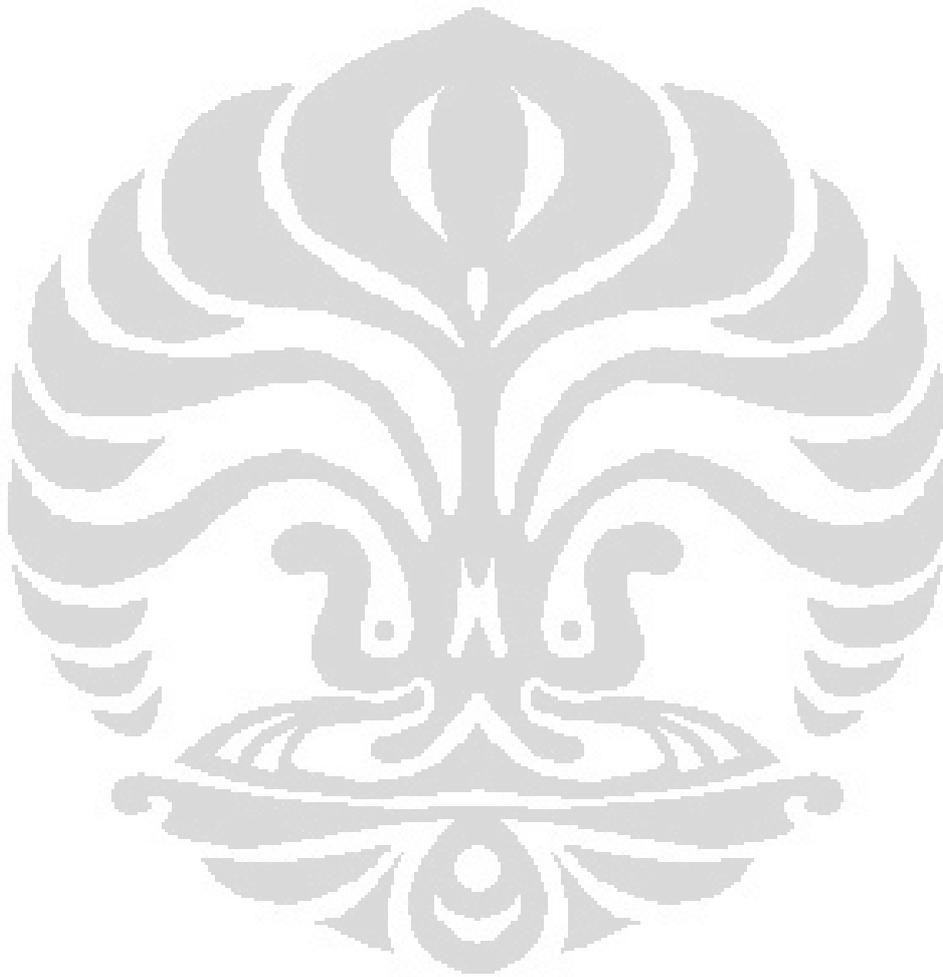
REFERENSI

- [1] Shahriar Shafiee and Erkan Topal, "When will Fossil Fuel reserves be Diminished," *Energy Policy*, pp. 181-189, September 2008.
- [2] (2007, Oktober) Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. [Online]. <http://geo.ugm.av.id/archives/28>
- [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] Prajit K. Dutta and Roy Radner, "A Strategic Analysis of Global Warming: Theory and Some Numbers," *Journal of Economics Behavior and Organization*, pp. 187-209, January 2009.
- [5] 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.
- [6] A. Widiyanto, S. Kato, N. Maruyama, A. Nishimura, and S. Sampattagu, "Environmental Impact Evaluation of Electricity Grid Mix Systems in Four Selected Countries Using LCA Point of View," in *Proceeding of Ecodesign*, Tokyo, 2003.
- [7] Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian, *Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia*, Cetakan Pertama ed., Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian Deputi Bidang Infrastruktur dan Pengembangan Wilayah, Ed. Jakarta, Indonesia: Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian, 2011.
- [8] Indonesian Stastical Bureu (BPS), *Value of Construction Completes by Type of Construction 2001-2005*. Indonesia, 2007.
- [9] Central Java Stastical Bureu (BPS). (2006, February) BPS. [Online]. http://bps.jakarta.go.id/P3_Stat/P3K_Perumahan/P3K22_tabel2.html
- [10] S.H. Gheewala A. Utama, "Life Cycle of Energy of Single Landed Houses in Indonesia," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 1911-1916, April 2008.
- [11] Huimin Jiang, Yiqiang Jiang, Yang Wang, Zuiliang Ma, and 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.

[12] Katsuhiko Ogata, *Teknik Kontrol Automatik*, 2nd ed., Ir. Purnomo Wahyu Indarto, Ed. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1996.

[13] B.W. Zingano, "A Discussion on Thermal Comfort with Reference to Bath Water Temperature to Deduce A Midpoint of The Thermal Comfort Temperature Zone," *Renewable Energy*, vol. 23, pp. 41-47, April 2000.



LAMPIRAN

