



UNIVERSITAS INDONESIA

**AUDIT SISTEM VAC PADA LABORATORIUM PENGUJIAN MESIN
(INTERNAL COMBUSTION ENGINE)**

SKRIPSI

BHAKTI NURYADIN

0806368446

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**AUDIT SISTEM VAC PADA LABORATORIUM PENGUJIAN MESIN
(INTERNAL COMBUSTION ENGINE)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

BHAKTI NURYADIN

0806368446

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bhakti Nuryadin

NPM : 0806368446

Tanda Tangan :



Tanggal : Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Bhakti Nuryadin
NPM : 0806368446
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : audit sistem vac pada laboratorium pengujian mesin
(*internal combustion engine*)

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Rusdy Malin, MME.

Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. Ing

Penguji : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng.

Penguji : Ir. Agung Subagio, Dipl. Ing

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan nikmat, rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “audit sistem VAC pada laboratorium pengujian mesin (*internal combustion engine*)”.

Penulis menyadari bahwa bantuan dan saran dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai masa penyusunan skripsi ini, sangat menunjang penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu sebagai ungkapan rasa syukur penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibuku tercinta yang telah memberikan segala supportnya baik moril maupun materiil untuk anakmu ini, anakmu ini selalu minta doa restu kepadamu untuk kesuksesannya baik dunia maupun akhiratnya kelak.
2. Ir. Rusdy Malin, MME sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan pemikirannya dan segala bentuk bantuan lainnya yang tak terhingga dalam penyusunan skripsi ini.
3. Tim penguji skripsi, atas koreksi perbaikan dan sarannya.
4. Seluruh staff di lembaga pengujian mesin yang telah membantu dan menyediakan tempat untuk pengambilan data di laboratorium pengujian mesin.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan.
6. Istriku yang tercinta yang telah memberikan segala supportnya baik moril maupun materiil untuk suami tercinta.
7. Dedek yang masih dalam kandungan Umminya semoga engkau kelak menjadi insan yang bertaqwa dan bermanfaat bagi agama, nusa dan bangsanya.
8. Adikku yang masih mengambil kuliah tetap semangat ya, belajar terus, raih cita-citamu setinggi mungkin yang engkau mampu.
9. Pejuang skripsi angkatan 2008 atas bantuan dan doanya.
10. Teman-teman PPSE 2008 atas semangat dan kekompakan kalian.
11. Teman-teman kerja, staff TPK, staff ST dan MP yang selalu memberikan bantuan dan dukungannya.

12. Seluruh teman-teman yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih untuk semangat dan dukungannya.

Depok, Juni 2011



Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Bhakti Nuryadin
NPM : 0806368446
Program Studi : Ekstensi 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

AUDIT SISTEM VAC PADA LABORATORIUM PENGUJIAN MESIN (INTERNAL COMBUSTION ENGINE)

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 : Juni 2011

Yang menyatakan,



(Bhakti Nuryadin)

Abstrak

Nama : Bhakti Nuryadin
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : audit sistem vac pada laboratorium pengujian mesin
(*internal combustion engine*)

Penggunaan mesin pengkondisi udara banyak dimanfaatkan oleh pengguna perkantoran, laboratorium maupun industri proses sebagai suatu kebutuhan. Mesin pengkondisi udara ini menjadi sangat penting terutama di laboratorium dan industri proses sebagai akibat dari beberapa prosesnya memerlukan kondisi udara yang dapat diatur maupun karena spesifikasi dari alat yang mensyaratkan pada kondisi udara yang tertentu. Dengan kondisi Indonesia yang sampai saat ini masih krisis energi dimana energi yang dihasilkan PLN tidak lebih besar dari beban total yang ada di seluruh negeri ini maka langkah dalam penghematan energi adalah sangat penting terutama dalam mengaudit peralatan-peralatan yang sudah lama beroperasi. Salah satu peralatan yang membutuhkan energi yang besar dalam suatu laboratorium maupun industri proses adalah sistem VAC yaitu yang berupa *chilled water system*. Dalam penelitian ini data yang diambil meliputi data pemakaian daya, data kondisi udara serta data dari *unit control module (UCM)* yang berada pada panel chiller. Audit sistem VAC ini ditujukan agar memperoleh data seberapa efisienkah alat tersebut dibandingkan dengan pemakaian energi dan performa yang dihasilkan. Dari hasil pengambilan data dan analisa data maka kondisi udara yang dihasilkan pun telah keluar dari spesifikasi desain untuk *engine test cell* yang bernilai 25 ± 2 °C. Faktor yang menyebabkan tidak sesuai lagi dengan spesifikasi desain untuk *engine test cell* adalah *flow* udara yang hanya $1,89 \text{ m}^3/\text{s}$ dari $5 \text{ m}^3/\text{s}$ yang dibutuhkan untuk *air supply* serta *flow extract fan* yang tidak *balance* dengan *air supply*. Selain faktor tersebut adalah faktor sensor dan kontrol serta faktor *infiltrasi* yang besar dari pintu serta perlunya dicek *flow chilled water* yang menuju *air handling unit (AHU)*.

Kata kunci:

Audit sistem VAC, laboratorium pengujian mesin, performa, kondisi udara.

Abstract

Name : Bhakti Nuryadin
Study Program : Mechanical Engineering
Title : vac system audit on a laboratory testing machine (internal combustion engine)

The use of air conditioning machines used by many users of offices, laboratories and industrial processes as a necessity. Air conditioner has become very important especially in the laboratory and industrial processes as a result of some process requires an adjustable air condition as well as the specifications of the tool requires in certain weather conditions. With the condition of Indonesia that is still an energy crisis where the energy generated PLN is not greater than the total load in the entire country is a step in energy saving is very important especially in auditing the equipment that has long operated. One of the tools require a large energy in a laboratory and industrial processes are the VAC system is a form of chilled water system. In this study the data taken include power consumption data, data of air conditions as well as data from the unit control module (UCM), which are on the chiller panel. Audit VAC system is intended to obtain efficiency data what are these tools compared to energy usage and the performance. From the results of data retrieval and analysis of data produced by the air condition was already out of the design specifications for the engine test cell that is worth 25 ± 2 °C. Factors that cause the incompatibility again with the design specifications for the engine test cell is the air flow is only $1.89 \text{ m}^3/\text{s}$ of $5 \text{ m}^3/\text{s}$ is needed for air supply and extract flow fan that does not balance with the air supply. In addition to these factors is a factor as well as sensors and control a large infiltration factor of the door and checked the need for chilled water flow toward the air handling unit (AHU).

Keyword:

VAC system audits, laboratory testing machines, performance, air condition.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 BATASAN PENELITIAN	2
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 SISTEM VAC	5
2.1.1 Standard Kenyamanan	5
2.2 Kondisi Eksisting	5
2.2.1 Laboratorium dan <i>Office</i>	5
2.2.2 Chiller	6
2.2.3 <i>Engine Test Cell</i>	8
2.2.4 <i>Air Handling Unit</i>	11
2.2.5 Ventilasi	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 AUDIT SISTEM VAC	13
3.2 PERALATAN UJI	13
3.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA	17
3.3.1 Persiapan pengujian	17
3.3.2 Persiapan Pengukuran Temperatur, <i>Air Flow</i> dan RH	17
3.3.3 Persiapan Pengukuran Daya Yang Terpakai	17
3.3.4 Persiapan Pengukuran Daya Yang Terpakai dengan <i>Clamp</i> <i>Meter</i>	18
3.3.5 Persiapan Pengukuran Temperatur Permukaan	18
3.3.6 Lokasi Pengambilan	18
3.4 PENGAMBILAN DATA	23
3.4.1 Data Komponen <i>Engine Test Cell</i> #6	23

3.4.2 Data Pengukuran Arus	23
3.4.3 Data Pengukuran Kondisi Udara	24
3.4.4 Data <i>Report</i> Panel Chiller	26
3.4.5 Data Berdasarkan <i>Name Plate</i>	26
BAB IV ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA	27
4.1 PERHITUNGAN <i>COOLING LOAD</i>	27
4.1.1 <i>Cooling Load</i>	27
4.2 ANALISA DAYA YANG TERPAKAI	29
4.2.1 Analisa Daya Chiller	30
4.2.2 Analisa Daya Pompa <i>Chilled Water</i>	30
4.2.3 Analisa Daya <i>Air Handling Unit</i> (AHU)	30
4.2.4 Analisa Daya <i>Extract Fan</i>	31
4.2.5 Total Daya yang Terpakai Sistem	31
4.3 ANALISA KONDISI UDARA	31
4.3.1 Analisa Kondisi Udara Ruang <i>Engine Test Cell</i>	32
4.4 ANALISA FLOW UDARA	32
4.4.1 <i>Flow</i> Udara dari <i>Air Supply Plenum Box</i> Aktual Versus Desain	32
4.4.2 <i>Flow</i> Udara <i>Extract Fan</i>	33
4.5 ANALISA DATA NAME PLATE	33
4.5.1 Analisa Pompa <i>Chilled Water</i>	33
4.5.2 Analisa Kompresor	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 KESIMPULAN	34
5.2 SARAN	34
DAFTAR REFERENSI	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Chiller	6
Tabel 2.2 Data <i>Performance</i> Chiller di 50 Hz	7
Tabel 2.3 Spesifikasi <i>Air Handling Unit</i>	11
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Kanomax Clinonaster A531</i>	13
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>HIOKI PQA 3197</i>	14
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Fluxe 336 Clamp Meter</i>	16
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>FLIR E 25</i>	17
Tabel 3.5 Daftar Komponen <i>Engine Test Cell#6</i>	23
Tabel 3.6 Data Hasil Pengukuran Arus Chiller	23
Tabel 3.7 Data Hasil Pengukuran Arus Pompa <i>Chilled Water</i>	24
Tabel 3.8 Data Hasil Pengukuran Arus <i>Air Handling Unit (AHU)</i>	24
Tabel 3.9 Data Hasil Pengukuran Arus <i>Extract Fan</i>	24
Tabel 3.10 Data Hasil Pengukuran Kondisi Udara Sebelum Pengujian ...	24
Tabel 3.11 Data Hasil Pengukuran Kondisi Udara diluar Laboratorium ..	24
Tabel 3.12 Data Hasil Pengukuran Temperatur Ducting <i>in & out AHU</i> ..	24
Tabel 3.13 Data Hasil Pengukuran Kondisi Udara Pada Saat Pengujian Mesin.....	25
Tabel 3.14 Data <i>Report Panel Chiller</i>	26
Tabel 3.15 Data <i>Name Plate</i> Kompresor	26
Tabel 3.16 Data <i>Name Plate</i> Pompa <i>Chilled Water</i>	26
Tabel 4.1 Perhitungan <i>Cooling Load</i>	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Layout</i> Gedung Laboratorium Pengujian Mesin.....	6
Gambar 2.2 <i>Typical Part Load Performance</i>	7
Gambar 2.3 <i>Electronic Expansion Valve</i>	8
Gambar 2.4 Desain Sistem VAC di <i>Engine Test Cell</i>	9
Gambar 3.1 <i>Kanomax Clinomaster Model A531 Series</i>	14
Gambar 3.2 <i>HIOKI PQA 3197</i>	15
Gambar 3.3 <i>Fluxe 336 Clamp Meter</i>	16
Gambar 3.4 <i>FLIR E25</i>	19
Gambar 3.5 <i>Extract Plenum Box Bawah</i>	19
Gambar 3.6 <i>Extract Plenum Box Atas</i>	19
Gambar 3.7 <i>Dyno Dan Engine Test</i>	20
Gambar 3.8 <i>Air Supply Plenum Box Fresh Air Unit</i>	20
Gambar 3.9 <i>Engine Test Cell</i> Dari Pandangan Atas	20
Gambar 3.10 Sistem Ventilasi	21
Gambar 3.11 Pompa <i>Chilled Water</i>	21
Gambar 3.12 Panel MCB Chiller.....	22
Gambar 3.13 <i>Unit Control Module Chiller</i>	22
Gambar 3.14 <i>Air Handling Unit (AHU)</i>	23
Gambar 4.1 <i>Engine Test cell#6</i>	27
Gambar 4.2 <i>Section Z-Z Engine Test cell#6</i>	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>R Values for Bulding Material</i>	37
Lampiran 2 <i>Effective thermal resitanc, Visible Transmission, U Factor, SC, SHGF for Unshaded Windows</i>	38
Lampiran 3 <i>SC For Windows with Interior Shades</i>	39
Lampiran 4 <i>Uncorrected CLTDs for Walls</i>	40
Lampiran 5 <i>Uncorrected Glass Door and Windows CLTD, Uncorrected Roof /Ceiling CLTD</i>	41
Lampiran 6 <i>SCL Factors</i>	42
Lampiran 7 <i>CLTD for People and Unhooded Equipment, CLTD for Hooded Equipment</i>	43
Lampiran 8 <i>Heat Gain Rates for Equipment</i>	44
Lampiran 9 <i>Power Consumption of Selected Lighting Types, Incandescent Light Performance, Cooling Load Factor for Lights</i>	45
Lampiran 10 <i>Drawing Bundle</i>	
• <i>Schematic Chiller</i>	
• <i>Section 1-1 & 2-2</i>	
• <i>Section 1-1 & 2-2</i>	
• <i>Section 3-3 & 4-4</i>	
• <i>Section 5-5 & 6-6</i>	
• <i>AHU and Ventilating layout</i>	
• <i>Section A-A to F-F</i>	
• <i>ETC #6</i>	
• <i>Section Z-Z</i>	

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Seiring dengan perkembangan teknologi, *trend lifestyle* dan akibat dari pemanasan global maka kebutuhan akan mesin pengkondisi udara (*air conditioning*) semakin banyak diminati. Untuk pengguna individu saja mengalami peningkatan yang signifikan untuk jumlah pemakaian mesin pengkondisi udaranya seiring dengan *trend lifestyle* maupun karena pemanasan global yang terjadi saat ini terutama di daerah perkotaan. Selain untuk pengguna individu, pengguna lainnya adalah perkantoran, laboratorium maupun industri proses yang banyak menggunakan mesin pengkondisi udara sebagai suatu kebutuhan. Mesin pengkondisi udara ini menjadi sangat penting terutama di laboratorium dan industri proses sebagai akibat dari beberapa prosesnya memerlukan kondisi udara yang dapat diatur maupun spesifikasi dari alatnya yang harus berada pada kondisi udara yang tertentu. Sebagai contohnya adalah industri garmen yang memerlukan kondisi udara dengan RH yang tinggi yang mana ini dimaksudkan agar kapuk sebagai bahan pembuat benangnya terikat oleh kandungan air yang dihasilkan oleh mesin penyejuk udara sehingga kapuk tidak berterbangan kemana-mana yang akan mengganggu kondisi kesehatan operator mesinnya. Kondisi contoh diatas akan sangat berbeda bila dibandingkan dengan tempat untuk server komputer dimana kondisi udara yang diperlukan adalah dengan RH yang kecil yang mana dimaksudkan agar piranti komputer tidak mudah rusak karena kondisi udaranya yang mengandung banyak air sehingga dapat mengakibatkan timbulnya karat pada komponen.

Untuk pemakaian yang luas terutama untuk laboratorium maupun industri proses banyak yang menggunakan mesin pengkondisi udara tipe sentral seperti *chilled water system*. Tipe *chilled water system* ini dianggap yang lebih praktis daripada model yang split AC karena lebih mudah dalam perawatan dan penanganannya namun dengan sistem yang lebih rumit dan harga yang lebih mahal tentunya. *Chilled water system* secara umum beroperasi dengan menggunakan kompresi uap walaupun untuk dekade sekarang sudah ada yang menggunakan siklus *absorpsi* untuk operasinya.

Dengan kondisi Indonesia yang sampai saat ini masih krisis energi dimana energi yang dihasilkan PLN tidak lebih besar dari beban total yang ada di seluruh negeri ini maka pemadaman bergilir adalah solusi yang sering kita dengar. Oleh karena itu langkah-langkah dalam penghematan energi adalah sangat penting terutama dalam mengaudit peralatan-peralatan yang sudah lama beroperasi. Salah satu peralatan yang membutuhkan energi yang besar dalam suatu laboratorium maupun industri proses adalah sistem VAC yaitu yang berupa *chilled water system*. Audit sistem VAC ini ditujukan agar memperoleh data seberapa efisienkah alat tersebut dibandingkan dengan pemakaian energi dan performa yang dihasilkan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Untuk mengaplikasikan ilmu tentang audit sistem VAC di laboratorium pengujian mesin ditengah kondisi krisis energi listrik yang sedang terjadi di negeri ini serta sebagai sarana optimasi energi agar tidak terjadi pemborosan energi.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan sebagai studi untuk mengetahui apakah performa sistem VAC di laboratorium pengujian mesin yang menggunakan alat yang dapat mengukur kapasitas mesin yang diuji masih mempunyai performa yang baik dibandingkan antara aktual dengan desain dari manufakturnya.

1.4 BATASAN PENELITIAN

Adapun batas-batas terhadap penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Audit terbatas pada sistem VACnya saja tidak termasuk sistem yang lainya.
2. Audit sistem VAC dilakukan di laboratorium pengujian mesin.
3. Audit sistem VAC ini ditujukan untuk *engine test cell* saja.
4. Tempat yang akan diambil datanya adalah pada *engine test cell#6* saja mengingat jadwal pengujian engine yang ada. Pada aktualnya hampir tidak pernah *engine test cell* berjalan secara bersamaan mengingat dari keterbatasan dari tenaga ahli yang ada dan teknisi.
5. Untuk *engine test cell* yang lainya dianggap sama dalam pengambilan datanya namun yang membedakan adalah kapasitas beban yang akan diuji (dalam hal ini disebut mesin *dyno*).

6. Besarnya beban *cooling load* tergantung dari mesin dan spesifikasi *engine test cell*.
7. COP actual tidak diperhitungkan melainkan hanya pemakaian energi yang terpakai saja.
8. Pengambilan data ini dilakukan pada tanggal 23 Mei 2011 dari pukul 14:04 hingga pukul 16:00 WIB.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Pada pelaksanaannya penelitian ini dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

a. Studi literatur

Pada penelitian ini mengambil dari berbagai sumber seperti buku maupun literatur sebagai dasar untuk melakukan audit sistem VAC pada laboratorium pengujian mesin.

b. Pengambilan data

Pada tahap ini pengambilan data dilakukan dengan mengukur beberapa parameter pengambilan seperti *flow* udara, temperatur yang keluar maupun masuk ke chiller dan kondisi udara yang dihasilkan oleh *air handling unit* (AHU). Data lainnya yang diambil adalah arus yang terpakai oleh chiller, pompa *chilled water*, *air handling unit* (AHU), sistem ventilasi melalui *extract fan*.

c. Analisa data

Pada tahap ini dari beberapa parameter pengambilan data yang diambil diolah dan dianalisa untuk mengetahui performa sistem VAC yang diaudit.

d. Kesimpulan dan saran

Pada tahap ini hasil dari analisa dan pengolahan data akan menghasilkan kesimpulan dan saran-saran yang penulis berikan untuk perbaikan-perbaikan sebagai hasil dari audit sistem VAC yang telah dilakukan.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini disusun menjadi 5 bagian pokok, yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori-teori penunjang atau hal-hal yang menjadi pendukung topik penelitian.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini akan dijelaskan urutan proses instalasi alat ukur, persiapan pengukuran, tahapan pengukuran, serta prosedur pengambilan data.

- **BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini dijelaskan mengenai data hasil dari pengukuran, perhitungan dan pengolahan dari data yang telah diambil dari pengukuran. Hasil pengolahan data akan ditampilkan dalam bentuk tabel yang terpadu untuk digunakan sebagai alat bantu analisa terhadap hasil pengolahan data tersebut sehingga dapat bermanfaat untuk mengetahui performa *chilled water system* secara keseluruhan.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk perbaikan yang lebih baik.

BAB II DASAR TEORI

2.1 SISTEM VAC

Sistem VAC adalah sistem yang hanya menyajikan ventilasi dan pengkondisi udara saja tanpa ada *heating*nya didalam suatu sistem yang terintegrasi. *Heating* ini biasanya di pakai di negara yang mempunyai musim dingin dimana *heating* ini akan difungsikan menggantikan sistem refrigerasinya. Dalam bab ini penulis hanya membahas VAC saja karena aktual di negara yang tropis seperti indonesia tidak pernah menggunakan *heating* dalam sistem HVACnya.

2.1.1 Standard kenyamanan

Dalam hal ini temperatur ruangan bukanlah satu-satunya faktor yang dapat menyebabkan berfungsinya alat uji (*dyno*) dengan baik. Kondisi udara yang dihasilkan oleh *air handling unit* (AHU) seperti temperatur harus berada dalam rentang yang disyaratkan oleh alat uji. Persyaratan yang diminta oleh alat uji dipengaruhi oleh beberapa variabel lingkungan yaitu sebagai berikut :

- Suhu dan kelembaban
- *Flow* udara
- Ventilasi
- Kualitas udara

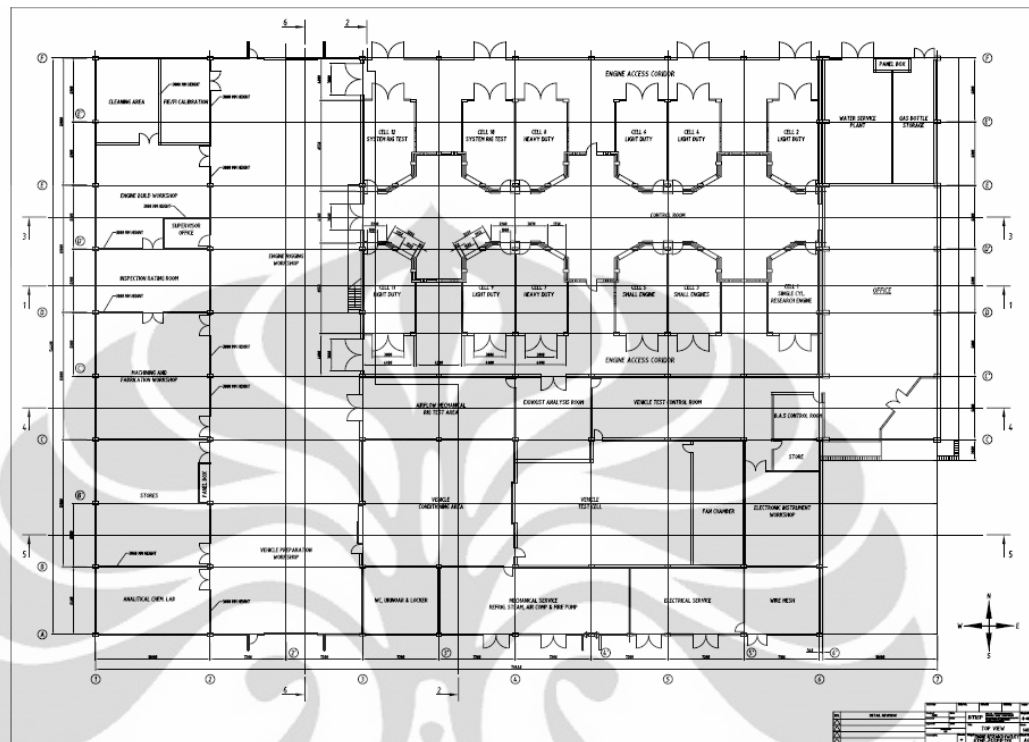
2.2 KONDISI EKSISTING

Laboratorium pengujian mesin yang dijadikan sebagai tempat penelitian penulis dibangun pada tahun 1996 yang merupakan proyek pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terletak di Serpong, Tangerang Selatan Propinsi Banten. Laboratorium ini dilengkapi dengan fasilitas uji mesin baik performa, *durability* serta uji emisi yang terintegrasi.

2.2.1 Laboratorium dan office

Secara keseluruhan laboratorium pengujian mesin ini terdiri dari laboratorium pengujian mesin, pengujian kendaraan, kalibrasi instrumen pendukung, *workshop*, kalibrasi *fuel injection*, ruang kontrol dan *office*. Ukuran dari laboratorium ini berkisar antara (79,44x54,4) meter. Untuk *layout* gedung

dapat dilihat seperti pada gambar 2.1 dibawah ini dan pada lampiran untuk gambar yang lebih detailnya.



Gambar 2.1 *Layout* gedung laboratorium pengujian mesin.

2.2.2 Chiller

Di laboratorium pengujian mesin ini menggunakan 3 chiller untuk mensupport fasilitas yang ada di laboratorium ini. Namun pada perkembangannya chiller tersebut hanya untuk mendinginkan ruangan *engine test cell* dan *vehicle test cell*. Ketiga chiller tersebut akan bekerja sesuai dengan beban pendinginan yang dibutuhkan jika laboratorium tersebut bekerja *full load* maka ketiga chillernya akan bekerja. Spesifikasi chiller dapat dilihat di tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Chiller

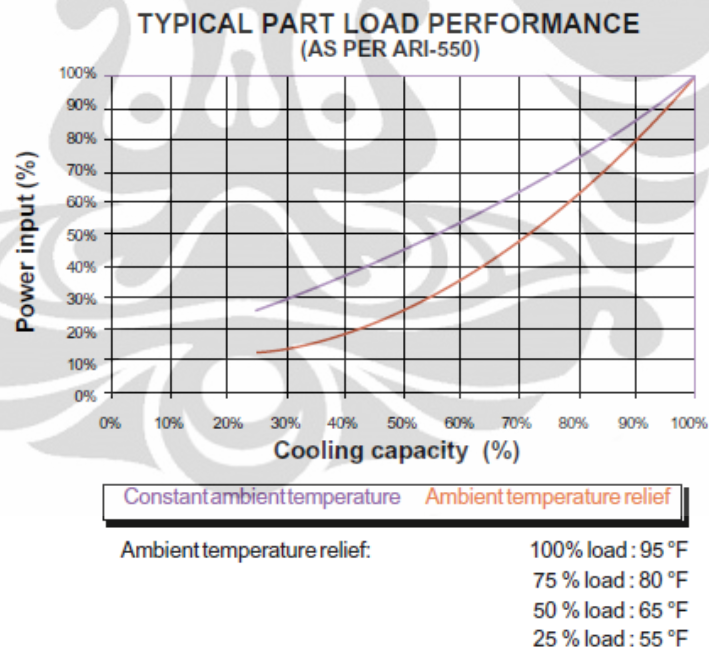
Spesifikasi Chiller	
Manufacturer	TRANE
Type	RTAA 322
Model	Air Cooled
Jumlah Chiller	3 Unit
Jenis kompresor	Rotary helirotor
Unit kompresor	2 (70 Tons) + 1 (85 Tons)

Secara desain chiller tersebut diatas mempunyai performance di 50 Hz seperti pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Data *performance* chiller di 50 Hz.

Model	LWT (°C)	AMBIENT TEMPERATURE (°C)											
		35			40			43			46		
		CAP kW	INP kW	COP	CAP kW	INP kW	COP	CAP kW	INP kW	COP	CAP kW	INP kW	COP
RTAA 322	5	650	219	2.8	612	239	2.4	589	252	2.2	565	266	2.0
	6	671	221	2.8	632	242	2.4	608	255	2.2	583	269	2.0
	7	695	225	2.9	654	245	2.5	629	258	2.3	604	272	2.1
	8	714	227	2.9	672	248	2.5	646	261	2.3	620	275	2.1
	9	735	231	3.0	692	251	2.6	665	264	2.4	639	276	2.2
	10	757	234	3.0	713	254	2.6	685	268	2.4	658	281	2.2
RTAA 324	5	748	251	2.8	709	274	2.4	685	289	2.2	660	304	2.1
	6	775	255	2.9	732	277	2.5	707	292	2.3	682	307	2.1
	7	796	258	2.9	758	281	2.5	732	296	2.3	706	311	2.2
	8	810	260	2.9	779	284	2.6	753	299	2.4	726	314	2.2
	9	831	262	3.0	803	288	2.6	776	303	2.4	748	318	2.2
	10	873	269	3.1	828	292	2.7	799	307	2.5	771	322	2.3

Chiller TRANE RTAA mempunyai efisiensi *part load* yang tinggi dengan menggunakan kompresor *rotary helirotor* dan *electronic expansion valve* sebagai kontrolnya. Kontrol *part load* pada kompresor adalah dengan menggunakan *slide valve* sebagai pengontrol beban *cooling*nya. Dibawah ini adalah *typical part load performance* dari chiller.

Gambar 2.2 *Typical part load performance*.

Electronic expansion valve secara signifikan menaikkan *part load performance* dengan meminimalkan kondisi *superheat* di *evaporator* dan membolehkan chiller untuk bekerja dengan kondisi mengurangi temperatur kondensasinya. Berbeda dengan chiller yang menggunakan konvensional TXV

yang harus bekerja pada tekanan yang lebih tinggi dan memakan lebih banyak daya daripada yang dibutuhkan di *part load*nya.

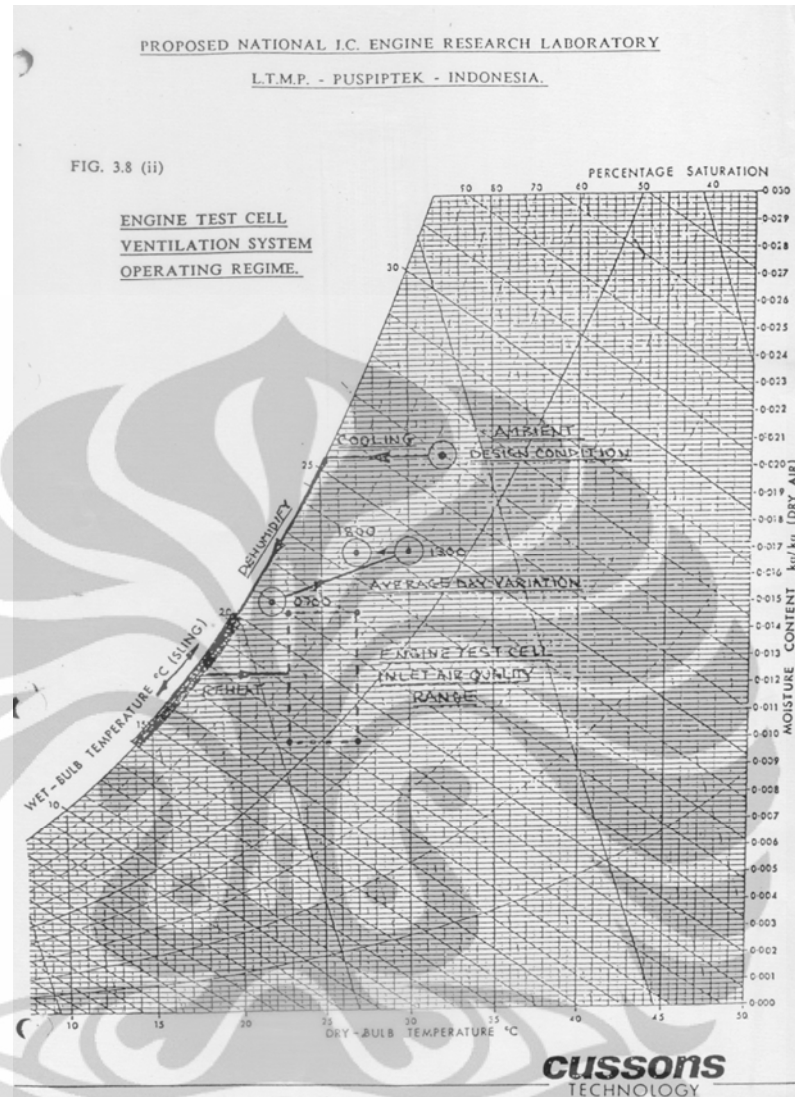


Gambar 2.3 *Electronic expansion valve*.

2.2.3 *Engine Test Cell*

Engine test cell merupakan tempat untuk menguji engine baik berupa performa mesin, *durability* mesin maupun analisa emisi yang dihasilkan. Mesin ini bisa mesin kecil seperti sepeda motor maupun mesin yang kapasitas besar seperti pada mesin mobil. Ada 12 ruang *engine test* yang ada di laboratorium ini dimana yang sudah terpasang *dyno* hanya 7 saja dan 1 tambahan *dyno* yang dalam proses pengerjaan di ruang *engine test cell*#8. Secara garis besar *engine test cell* dibagi menjadi :

- *Small engine*, untuk pengujian dengan maksimal power yang dihasilkan adalah 30 kW. Ruang *engine test cell* yang tipe ini berada pada ruang *engine test cell*#1, 3, 5.
- *Light Duty Engine*, untuk pengujian dengan maksimal power yang dihasilkan adalah 250 kW. Ruang *engine test cell* yang tipe ini berada pada ruang *engine test cell*#2, 4, 6.
- *Heavy Duty Engine*, untuk pengujian dengan maksimal power yang dihasilkan adalah 400 kW. Ruang *engine test cell* yang tipe ini berada pada ruang *engine test cell*#7, 8.



Gambar 2.4 Desain sistem VAC di *engine test cell*.

Sistem VAC pada laboratorium pengujian mesin mempunyai desain temperatur berkisar di 25 ± 2 °C *dry bulb* dengan *moisture contents* berkisar antara 0,010 sampai dengan 0,015 kg/kg serta RH di rentang 40-80%. Ini merupakan kondisi udara yang di desain oleh manufaktur untuk memenuhi persyaratan dalam pengujian mesin di laboratorium pengujian mesin ini.

Untuk tujuan *engine test cell* ini, kondisi udara luar di asumsikan 32 °C *dry bulb* dan 27 °C *wet bulb*. Berdasarkan dari *chilled water supply* dan *return temperature* 8/14 °C dan LPHW @82/71 °C, *air handling unit* dapat memproduksi udara yang dikondisikan jauh dari yang didesain. Ini dapat dicapai dengan mendinginkan udara menjadi 17 ± 3 °C *dry bulb* kemudian memanaskan kembali menjadi 25 ± 2 °C *dry bulb* baru dikirimkan ke *engine test cell*.

Sistem ventilasi *engine test cell* adalah *full fresh air intake* dan *total loss extract* konfigurasi. Udara yang di suplai adalah udara yang didinginkan dan dipanaskan kembali untuk menyediakan kondisi yang masuk dalam *air quality range* untuk *engine test cell*.

Di setiap *engine test cell* di laboratorium pengujian mesin ini dilengkapi dengan *fresh air input* yang dihasilkan oleh *air handling unit* dan *extract fan*. Udara di suplai kedalam *engine test cell* dengan melalui *full width plenum box* yang di pasang pada ketinggian tertentu dimana *grillesnya* dapat diatur keatas dan kebawah agar arah *flow* udara dapat mengarah ke bidang vertikal.

Udara di ekstrak di sisi ujung *engine test cell* yang berlawanan dengan penempatan *fresh air unit plenum box*. Udara di ekstrak melalui *extract plenum* dengan *dropper duct* yang dipasang hingga ke bawah. Fungsi dari *dropper duct* adalah untuk membuang uap air (*svavage vapour*) diatas permukaan lantai dan proporsi dari udara yang melalui *dropper duct* adalah 20% nominal. *Volume control damper* juga tersedia untuk *extract air grilles* yang diatas dan di *dropper duct*.

Tujuannya adalah untuk menyediakan keseimbangan udara yang di suplai dengan yang di ekstrak sehingga menghasilkan sebuah *slight depression* di *engine test cell* dan untuk tujuan ini juga maka *volume control damper* dipasang di *ducting fresh air unit plenum box* dan di *extract fan*.

Fan suplai udara dan *extract fan* dapat beroperasi dalam 2 *flow*. Ketika *engine test cell* tidak digunakan, di mode *standby* maka fan akan berputar di *low flow* atau jika dalam operasional pengujian maka fan akan berputar di *full flow*. Ketika *engine test cell* tidak digunakan maka *fire dampers* akan menutup *ducting* dan mengisolasinya.

Ketika *engine test cell* dalam kondisi mode *standby* atau operasional maka *fire dampers* terbuka dan *extract fan* hanya bekerja di *full flow* untuk periode waktu tertentu dalam menjalankan tugasnya untuk *scavenge engine test cell* dan *ducting* suplai udara sebelum berbagai macam alat elektrik di *engine test cell* atau suplai udara dari *air handling unit* bekerja. Ketika periode waktu untuk *scavenges* telah habis maka *engine test cell* otomatis mengadopsi ke mode

standby atau operasional dengan fans yang berputar sesuai dengan mode yang sedang dipakai.

2.2.4 Air handling unit (AHU)

Air handling unit ini digunakan untuk memenuhi beban pendinginan yang ada di setiap *engine test cell* dan juga *vehicle test cell*. Karena dalam pengujian kondisi udara benar-benar harus dijaga dalam kisaran yang tertentu seperti pada desain manufaktur. *Flow chilled water* yang masuk ke *air handling unit* untuk *engine test cell#6* adalah 6,5 L/s. Untuk spesifikasi *air handling unit* dapat dilihat dalam tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Spesifikasi *air handling unit*.

Spesifikasi Air Handling Unit			
# AHU for engine test cell 1,3,5		# AHU for engine test cell 2, 4, 6, 10	
Design volume	3/1,5 m3/s	Design volume	5/2,5 m3/s
Design eksternal resistance	400/100 Pa	Design eksternal resistance	400/100 Pa
Total fan pressure	676/169 Pa	Total fan pressure	601/150 Pa
Fan type	TLZ-400	Fan type	TLZ-560
Design fan speed	974/489 rpm	Design fan speed	660/327 rpm
Motor rating	5/0,62 kW	Motor rating	7,4/0,92 kW
Motor speed	1455/730 rpm	Motor speed	1465/725 rpm
Full load current motor	11/2,3 Amps	Full load current motor	14,5/2,9 Amps
Electrical supply required	380V/3Phase/50Hz	Electrical supply required	380V/3Phase/50Hz
# AHU for engine test cell 7		# AHU for vehicle preconditioning	
Design volume	7/3,5 m3/s	Design volume	5 m3/s
Design eksternal resistance	400/100 Pa	Design eksternal resistance	375 Pa
Total fan pressure	703/176 Pa	Total fan pressure	576 Pa
Fan type	TLZ-630	Fan type	TLZ-560
Design fan speed	625/310 rpm	Design fan speed	681 rpm
Motor rating	11,2/1,4 kW	Motor rating	7,5 kW
Motor speed	1470/730 rpm	Motor speed	1430 rpm
Full load current motor	20/4 Amps	Full load current motor	15,9 Amps
Electrical supply required	380V/3Phase/50Hz	Electrical supply required	380V/3Phase/50Hz
# AHU for fresh air input AHU			
Design volume	3,5/1.75 m3/s		
Design eksternal resistance	375/193,75 Pa		
Total fan pressure	869/218 Pa		
Fan type	TLZ-450		
Design fan speed	922/461 rpm		
Motor rating	5,8/0,72 kW		
Motor speed	1440/720 rpm		
Full load current motor	12/2,8 Amps		
Electrical supply required	380V/3Phase/50Hz		

2.2.5 Ventilasi

Ventilasi yang digunakan pada laboratorium pengujian mesin ini menggunakan *extract fan* yang berguna membuang uap air (*scavenge vapour*) diatas permukaan lantai dan membuang panas serta membuang udara yang berbahaya yang dihasilkan oleh mesin pada waktu pengujian mesin berlangsung.

Ada dua bagian *extract fan* yaitu *extract air grilles* yang berada diatas dan *dropper duct* yang berada dibawah mendekati lantai. Proporsi udara yang melewati *dropper duct* adalah 20% nominal.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 AUDIT SISTEM VAC

Agar audit sistem ini dapat tercapai maka dalam penelitian ini menggunakan data aktual sebagai data yang akan diolah. Pengambilan data aktual dilapangan digunakan untuk menghitung pemakaian daya yang terpakai, mengetahui kondisi udara yang dihasilkan oleh *chilled water system* melalui *air handling unit* (AHU). Dari analisa perhitungan tersebut maka akan diketahui peralatan mana yang telah mengalami penurunan performa.

Audit sistem VAC ini dilakukan jika sedang ada pengujian di *engine test cell* dan juga tergantung pada jadwal pengujian yang ada di laboratorium pengujian mesin ini. Jadi diharapkan dengan dilakukannya audit sistem ini dapat mengetahui performa dari peralatan tersebut dan bisa memberikan saran-saran perbaikan maupun rekomendasi tertentu.

3.2 PERALATAN UJI

1. *Kanomax Clinomaster Model A531 Series*

Digunakan untuk mengukur temperatur, RH dan kecepatan angin aktual. Spesifikasi alat dan gambar alat ukur dapat dilihat seperti pada tabel 3.1 dan gambar 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Spesifikasi *Kanomax Clinomaster A531*

Model	A531
<i>Air velocity ranges</i>	20 to 6000 fpm (0,1 to 30,0 m/s)
<i>Accuracy</i>	+/- 2% of reading
<i>Temperature</i>	32 to 140 °C (0 to 60°C)
<i>Accuracy</i>	+/- 1,0 °F (0,5°C)
<i>Relative humidity ranges</i>	2,0 to 98,0 %RH
<i>Accuracy</i>	+/- 2% of reading
<i>Differential pressure ranges</i>	+/- 5,00 kPa *Option
<i>Accuracy</i>	+/- 3% of reading
<i>Interface</i>	RS232C
<i>Datalogging</i>	1500 Measurement
<i>Analog output</i>	0 to 1 V *Option
<i>Power supply</i>	6xAA Batteries or AC Adaptor
<i>Dimensions</i>	W3,4"xH7,4"xD1,6"
<i>Weight</i>	0,9 lbs (400 g)



Gambar 3.1 Kanomax Clinomaster Model A531 Series

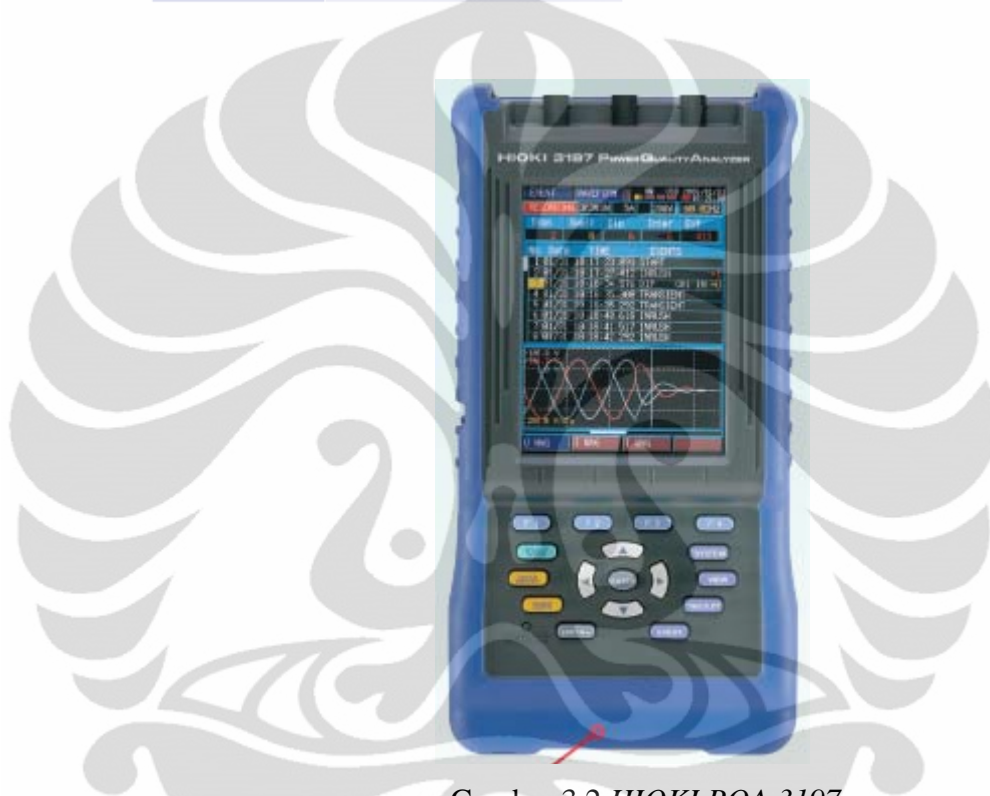
2. HIOKI Power Quality Analyzer

Digunakan untuk mengukur daya dan kualitas daya di sirkuit 1 fasa maupun 3 fasa suatu alat atau komponen. Spesifikasi alat dan gambar alat ukur dapat dilihat seperti pada tabel 3.2 dan gambar 3.2 dibawah ini :

Tabel 3.2 Spesifikasi HIOKI PQA 3197

Measurement Specifications (Guaranteed Accuracy Period: 1 Year)		Event Detection																	
RMS Voltage and Current	True RMS (200 ms calculation.)	Voltage Swells (Rise), Voltage Dips (Drop), Interruptions	RMS value detected using voltage (1/2) measured every half cycle																
Voltage Accuracy	±0.3% rdg. ±0.2% f.s.	Inrush Current	RMS value detected using current (1/2) every half cycle																
Current Accuracy	±0.3% rdg. ±0.2% f.s. + Clamp sensor accuracy	Transient Overvoltage	Detection Range: 50 Vrms (±70.7 Vpeak equiv.) or more, 10 to 100 kHz																
Voltage (1/2) RMS Measurement	True RMS (one cycle calculation refreshed every half cycle)	Timer Detection	Detect events at preset intervals selectable from OFF, 1, 5, 15 or 30 minutes; 1, 2 or 12 hours; or 1 day																
Accuracy	±0.3% rdg. ±0.2% f.s.	Manual Detection	Detect events when keys are pressed																
Current (1/2) RMS Measurement	True RMS (half-cycle calculation, half-cycle voltage synchronized)	Thresholds	Set to OFF or to specified value, except for detection of transient overvoltages. (Waveform recording not available for transients.)																
Accuracy	±0.3% rdg. ±0.2% f.s. + Clamp sensor accuracy	Event Recording Lengths	Waveform: 20ms before detection + 200ms upon detection + 30ms after detection																
Frequency	Effective Measurement range: 45.00 to 66.00 Hz	Event voltage fluctuation graph	0.5s before + 2.5s after detection																
Accuracy	±0.01 Hz ±1 dgt. (when input is at least 10% of range)	Inrush current graph	0.5s before + 29.5s after detection																
Active Power Accuracy (for consumption and regeneration)	±0.3% rdg. ±0.2% f.s. + clamp-on sensor accuracy (P.F.=1)	Maximum Number of Recordable Events	50 event waveforms, 20 event voltage fluctuation graphs, 1 inrush current graph, 1000 event counts																
Reactive Power Accuracy (for lags and leads)	±1 dgt. of calculation from each measurement value	Input Specifications																	
Effect of Power Factor	±1.0% rdg. (50 /60Hz, P.F.=0.5)	Wiring Configurations	Single-phase 2-wire (1P2W), single-phase 3-wire (1P3W), three-phase 3-wire (3P3W2M and 3P3W3M), three-phase four-wire (3P4W and 3P4W2.5E)																
Apparent Power Accuracy	±1 dgt. of calculation from each measurement value	Measurement Line frequency	Auto-select (50/60 Hz)																
Power Factor and Displacement Power Factor Accuracy (leading phase indicated)	±1 dgt. of calculation from each measurement value (DPF calculated from phase difference between fundamental voltage and current waveforms)	Maximum Allowable Input Voltage	Voltage input terminal: 780 V AC (1103 Vpeak) Current input terminal: 1.7 V AC (2.4 Vpeak)																
Active or Reactive Energy Consumption	Selectable between consumption, regeneration, lag and lead	Maximum Rated Voltage to Ground	Voltage input terminal: CATIII 600 V AC, CATIV 300 V AC (50/60 Hz) Current input terminal: per clamp-on sensors used																
Accuracy	±1 dgt. applied to active and reactive power measurement accuracy	Measurement Method	Simultaneous digital sampling of voltage and current (sampling frequency: 10.24 kHz per channel)																
Demand	Selectable between active or reactive power	Voltage Measurement Range	600.0V (Crest factor 2 or less)																
Accuracy	±1 dgt. applied to active and reactive power measurement accuracy	Current Measurement Range: Manual ranging according to clamp sensor (Crest factor 3 or less)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Clamp Sensor</th> <th>Range</th> <th>Clamp Sensor</th> <th>Range</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9657-10, 9675</td> <td>500.0 mA/5.000 A</td> <td>9661, 9667 (500A)</td> <td>50.00 A/500.0 A</td> </tr> <tr> <td>9694, 9695-02</td> <td>5.000 A/50.000 A</td> <td>9669</td> <td>100.0 A/1.000 kA</td> </tr> <tr> <td>9660, 9695-03</td> <td>10.00 A/100.0 A</td> <td>9667 (5000A)</td> <td>500.0 A/5.000 kA</td> </tr> </tbody> </table>	Clamp Sensor	Range	Clamp Sensor	Range	9657-10, 9675	500.0 mA/5.000 A	9661, 9667 (500A)	50.00 A/500.0 A	9694, 9695-02	5.000 A/50.000 A	9669	100.0 A/1.000 kA	9660, 9695-03	10.00 A/100.0 A	9667 (5000A)	500.0 A/5.000 kA
Clamp Sensor	Range	Clamp Sensor	Range																
9657-10, 9675	500.0 mA/5.000 A	9661, 9667 (500A)	50.00 A/500.0 A																
9694, 9695-02	5.000 A/50.000 A	9669	100.0 A/1.000 kA																
9660, 9695-03	10.00 A/100.0 A	9667 (5000A)	500.0 A/5.000 kA																
Harmonic Analysis Orders	Up to 50th (2048 points/window, rectangular)	Power Measurement Range: Depends on combination of current range and measurement line	<table border="1"> <thead> <tr> <th>500mA</th> <th>300.0kW/60.0kW/900.0W</th> <th>100A</th> <th>60.0kW/120.0kW/180.0kW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>54</td> <td>3.000kW/6.000kW/9.000kW</td> <td>500A</td> <td>300.0kW/600.0kW/900.0kW</td> </tr> <tr> <td>104</td> <td>6.000kW/12.000kW/18.000kW</td> <td>2kA</td> <td>600.0kW/1.200MW/1.800MW</td> </tr> <tr> <td>504</td> <td>30.000kW/60.000kW/90.000kW</td> <td>5kA</td> <td>3.000MW/6.000MW/9.000MW</td> </tr> </tbody> </table>	500mA	300.0kW/60.0kW/900.0W	100A	60.0kW/120.0kW/180.0kW	54	3.000kW/6.000kW/9.000kW	500A	300.0kW/600.0kW/900.0kW	104	6.000kW/12.000kW/18.000kW	2kA	600.0kW/1.200MW/1.800MW	504	30.000kW/60.000kW/90.000kW	5kA	3.000MW/6.000MW/9.000MW
500mA	300.0kW/60.0kW/900.0W	100A	60.0kW/120.0kW/180.0kW																
54	3.000kW/6.000kW/9.000kW	500A	300.0kW/600.0kW/900.0kW																
104	6.000kW/12.000kW/18.000kW	2kA	600.0kW/1.200MW/1.800MW																
504	30.000kW/60.000kW/90.000kW	5kA	3.000MW/6.000MW/9.000MW																
Harmonic Voltage, Current and Power Accuracy (accuracy is not defined for harmonic power)	1st to 15th order ±0.5% rdg. ±0.2% f.s. 16th to 25th order ±1.0% rdg. ±0.3% f.s. 26th to 35th order ±2.0% rdg. ±0.3% f.s. 36th to 45th order ±3.0% rdg. ±0.3% f.s. 46th to 50th order ±4.0% rdg. ±0.3% f.s. (add accuracy of clamp sensor to harmonic current accuracy)	Other Measurement Items	Peak Voltage and Current, K Factor, Voltage Unbalance Factor, Max/Min/Ave of Time Series																

■BASIC SPECIFICATIONS		■ENVIRONMENTAL AND SAFETY-RELATED SPECIFICATIONS	
Display	4.7-inch color STN LCD	Operating environment	Indoors, up to 2000 m (6562-ft.) ASL
Display languages	English, Japanese or Chinese (Simplified)	Temperature and humidity	Storage -10 to 50°C (14 to 122°F), 80% RH or less (non-condensing) Operation 0 to 40°C (32 to 104°F), 80% RH or less (non-condensing)
Display refresh rate	Approx. once per second	Applicable standards	Safety EN61010, Pollution degree 2, Measurement Categories III (600 V) and IV (300 V) (anticipated transient overvoltage 6000 V) EMC EN61326 Class A, EN61000-3-2, EN61000-3-3
Clock functions	Auto calendar, auto leap year, 24-hour format	Power source	AC Adapter 9418-15 or Battery Pack 9459 (Maximum rated power: 23 VA (with AC adapter))
Real-Time Clock accuracy	Within 13 seconds/month	Continuous operating time with battery pack	Approx. 6 hours (after full charge, with 5 min. auto-off LCD backlight)
Internal Memory Capacity	4MB	Dimensions and mass	128 W x 246 H x 63 D mm (5.04"W x 9.69"H x 2.48"D) (including stand) Approx. 1.2 kg (42.3 oz.) (with battery pack)
Maximum recording time	125 Days		
Interval Settings	AUTO, 1, 5, 15 and 30 min., and 1 hour (AUTO sequentially selects 1, 2, 10, 30 seconds, 1, 5, 15 and 30 min., and 1 hour automatically)		
Demand period	15 min., 30 min., and 1 hour		
Recordable Items	All parameters (incl. max/min/average values)		
■INTERFACE SPECIFICATIONS			
Interface	USB 2.0 (Full Speed)		
Connection destination	Computer operating on Windows 2000/ XP		



Gambar 3.2 HIOKI PQA 3197

3. Fluke 336 Clamp Meter

Digunakan untuk mengukur daya yang terpakai melalui pembacaan arus yang digunakan oleh alat atau komponen. Spesifikasi alat dan gambar alat ukur dapat dilihat seperti pada tabel 3.3 dan gambar 3.3 dibawah ini :

Tabel 3.3 Spesifikasi *Fluxe 336 Clamp Meter*

Model		Fluxe Clamp meter 336
A (AC)	Range	0-600 A
	Accuracy	2% - 5 counts (10-100 Hz)
		6% - 5 counts (100-400 Hz)
	Crest Factor add 2% for CF>2	3 @ 500 A
		2,5 @ 600 A
AC Response	rms	
Inrush	Integration time	100 ms
A (DC)	Range	0-600 A
	Accuracy	2 % - 5 counts
V (AC)	Range	0-600 V
	Accuracy	1% - 5 counts (20-100 Hz)
		6% - 5 counts (100-400 Hz)
AC Response	rms	
V (DC)	Range	0-600 V
	Accuracy	1 % - 5 counts
Ω	Range	0-600 Ω , 600-6000 Ω
	Accuracy	1,5 % - 5 counts

Gambar 3.3 *Fluxe 336 Clamp Meter*

4. Infrared thermografi

Digunakan untuk untuk mengambil data temperatur permukaan suatu alat atau komponen. Spesifikasi alat dan gambar alat ukur dapat dilihat seperti pada tabel 3.4 dan gambar 3.4 dibawah ini :

Tabel 3.4 Spesifikasi *FLIR E 25*

Model	FLIR E 25
Rentang	-10 °C s/d 1200 °C
Sensitivitas	0,1 °C pada 30 °C
Akurasi	± 2% atau ± 2 °C
Jenis Display	2,5" color LCD
Resolusi Display	16 bit colors
Lensa optik	19° (FOV)
Jenis Baterai	Lithium/Ion 12 volt (isi ulang)

Gambar 3.4 *FLIR E25*

3.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data untuk audit sistem VAC ini dilakukan di laboratorium pengujian mesin yang berada di Serpong, kota Tangerang Selatan, propinsi Banten.

3.3.1 Persiapan pengujian

Persiapan pengujian yang dilakukan adalah mempersiapkan semua alat ukur yang digunakan dan menentukan titik mana yang akan diambil sebagai acuan dalam pengambilan data.

3.3.2 Persiapan pengukuran temperatur, *air flow* dan RH

1. Pasang *probe sensor* ke *socket* di *kanomax clinomaster*.
2. Hidupkan alat *kanomax clinomaster*.
3. Catat temperatur, *air flow* dan RH yang terukur.

3.3.3 Persiapan pengukuran daya yang terpakai

1. Pasang kabel tegangan ke *socket* HIOKI.
2. Pasang clamp sensor ke *socket* HIOKI.

3. Pasang *AC adaptor* ke *instrument* dan kemudian hidupkan alat.
4. Pilih konfigurasi *wiring* dan *clamp sensor*.
5. Pasang line yang akan diukur dan cek *wiringnya*.
6. Rekam atau catat data yang terukur.

3.3.4 Persiapan pengukuran daya yang terpakai dengan *clamp meter*

1. Putar *selection mode* ke arah arus AC.
2. Buka *clamp* dan masukkan kabel kedalam *clamp*.
3. Tekan tombol *hold* agar pembacaan *ampere* berhenti sejenak.
4. Catat data arus yang muncul pada *display* alat ukur.

3.3.5 Persiapan pengukuran temperatur permukaan

1. Hidupkan *infrared thermografi*.
2. Pilihlah *range* temperatur yang masuk sesuai dengan besarnya nilai temperatur yang akan diukur.
3. Gunakan *pointer* untuk memastikan titik yang diambil adalah tepat.
4. Catat data temperatur yang terbaca.

3.3.6 Lokasi pengambilan

Lokasi pengambilan data meliputi ruang uji mesin yaitu *engine test cel#6*, ruang pompa *chilled water*, panel chiller, panel *air handling unit* (AHU) dan lingkungan terbuka disekitar laboratorium. Dari lokasi tersebut data yang diambil meliputi hasil pengukuran arus, hasil pengukuran kondisi udara, data temperatur permukaan dan data dari panel chiller.

Data yang diambil pada ruang uji mesin pada *engine test cell* adalah data kondisi udara seperti temperatur, kecepatan angin dan RH. Data yang diambil di *engine test cell* meliputi *air supply plenum box fresh air unit*, *extract fan* dan data rata-rata kondisi udara di *engine test cell*.

Data kecepatan angin pada *air supply plenum box fresh air unit* maupun *extract fan* akan diolah menjadi data *flow* angin yang masuk maupun keluar *engine test cell* dimana luas penampang *plenum boxnya* adalah diasumsikan total tanpa mengurangi luas penampang dari grillnya dengan tujuan agar dapat ditarik kesimpulan. Data selengkapnya yang akan diambil pada *engine test cell* adalah sebagai berikut :

- *Extract plenum box*, titik yang diambil datanya adalah bagian bawah *extract fan* dan bagian atas *extract fan*.
- Ruang *engine test cell*, ada empat titik yang diambil data temperaturnya yang mana ini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi temperatur yang berada diruangan *engine test cell*. Titik pengambilan data temperatur ini berada pada ketinggian 1 meter diatas lantai di empat tempat yaitu di empat sisi ruangan.
- *Air supply plenum box fresh air unit*, ada 2 titik yang diambil datanya yaitu *plenum box fresh air unit 1* dan *2*.



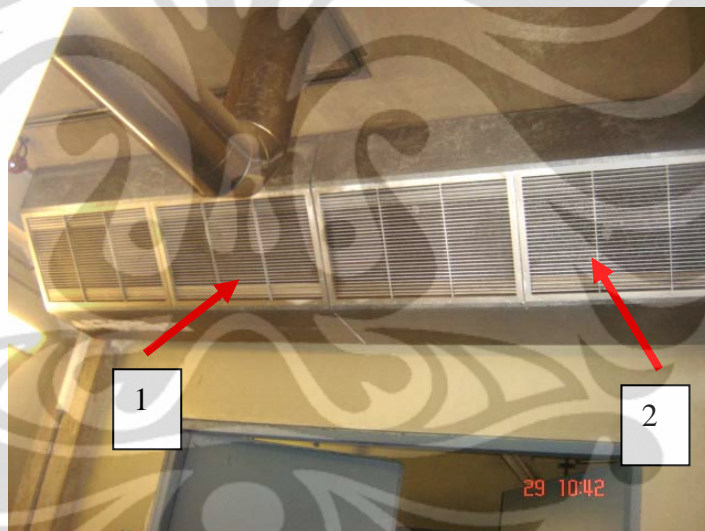
Gambar 3.5 *Extract plenum box* bawah



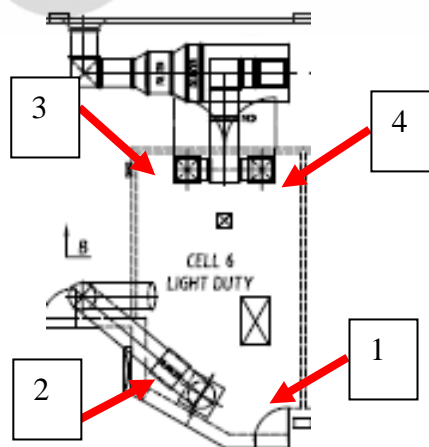
Gambar 3.6 *Extract plenum box* atas



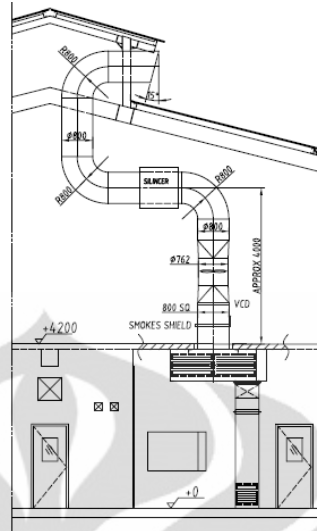
Gambar 3.7 Dyno dan engine test



Gambar 3.8 Air supply plenum box fresh air unit

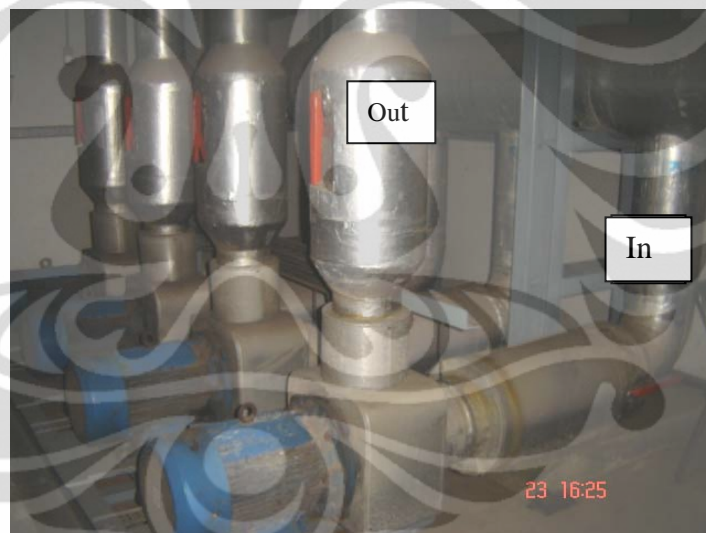


Gambar 3.9 Engine test cell dari pandangan atas



Gambar 3.10 Sistem ventilasi

Pada ruangan pompa *chilled water* data yang diambil meliputi data pemakaian arus untuk pompanya.

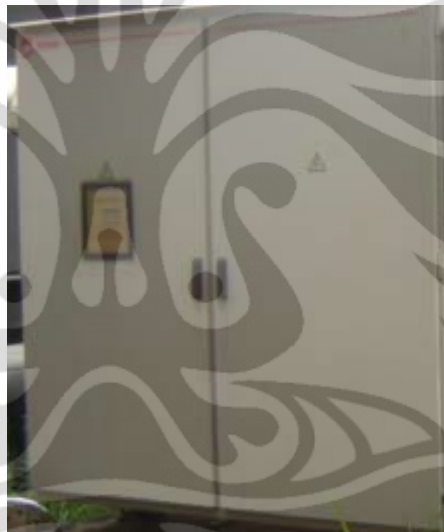


Gambar 3.11 Pompa *chilled water*

Pada panel chiller data yang diambil meliputi data arus dan data dari *unit control module* (UCM) yang terpasang pada panel chiller.

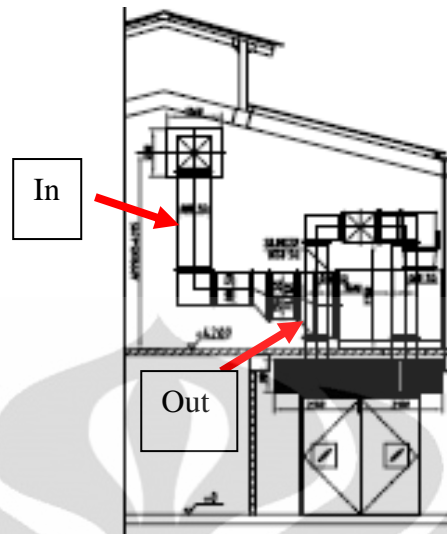


Gambar 3.12 Panel MCB chiller



Gambar 3.13 *Unit control module* chiller

Pada panel *air handling unit* (AHU) data yang diambil meliputi data arus dan data kondisi udara pada sisi masuk ducting dan sisi keluar ducting menuju *air supply plenum box fresh air unit*.



Gambar 3.14 Air handling unit (AHU)

3.4 PENGAMBILAN DATA

Data yang diambil meliputi dari berbagai titik dengan alat ukur diatas kemudian diambil dan dikumpulkan untuk diolah dan dianalisa.

3.4.1 Data komponen *engine test cell#6*

Tabel 3.5 Daftar komponen *engine test cell#6*

No	Komponen	Jumlah
1	Lampu Neon 70 watt	10
2	Starter Neon 70 watt	10
3	Lampu Neon 20 watt	2
4	Starter Neon 20 watt	2
5	Dyno = 250 kW	1
6	Engine uji = 240 PS = 176,52 kW	1
7	Blower external = 1,1 kW	1
8	Pintu ukuran 1,5x3 (m)	2
9	Pintu ukuran 1x2,1 (m)	1
10	Windows 1,5x0,8 (m)	1
11	Windows 0,6x0,6 (m)	1
12	Windows 0,4x0,6 (m)	1
13	Adults, male, standing, lightwork	2

3.4.2 Data pengukuran arus

Tabel 3.6 Data hasil pengukuran arus chiller

Item	Arus (I) A	Waktu pengambilan
Line R	315,1	15:00
Line S	298,1	15:00
Line T	315,1	15:00
I rata-rata	309,43	

Tabel 3.7 Data hasil pengukuran arus pompa *chilled water*

Item	Arus (I) A	Waktu pengambilan
Line R	50,1	15:05
Line S	46,3	15:05
Line T	48,3	15:05
I rata-rata	48,23	

Tabel 3.8 Data hasil pengukuran arus *air handling unit* (AHU)

Item	Arus (I) A	Waktu pengambilan
Line R	7,9	15:30
Line S	7,5	15:30
Line T	7,8	15:30
I rata-rata	7,73	

Tabel 3.9 Data hasil pengukuran arus *extract fan*

Item	Arus (I) A	Waktu pengambilan
Line R	8,1	15:05
Line S	8,3	15:05
Line T	8	15:05
I rata-rata	8,13	

3.4.3 Data pengukuran kondisi udara

Tabel 3.10 Data hasil pengukuran kondisi udara sebelum pengujian

No	V angin (m/s)	Temperatur (°C)	RH (%)	Waktu Pengambilan
1	0,01	29,4	70,4	14:04

Tabel 3.11 Data hasil pengukuran kondisi udara diluar laboratorium

No	V angin (m/s)	Temperatur (°C)	RH (%)	Waktu Pengambilan
1	0,61	30,7	67,1	14:06

Tabel 3.12 Data hasil pengukuran temperatur ducting *in & out* AHU

No	T In (°C)	T Out (°C)	Waktu Pengambilan
1	31,8	26,7	15:30

Tabel 3.13 Data hasil pengukuran kondisi udara pada saat pengujian mesin

No	Item	V angin (m/s)	Temperatur (°C)	RH (%)	Waktu Pengambilan
1	Extract plenum box bawah	0,95	30	58,7	15:08
2	Extract plenum box atas	0,9	31	55,9	15:09
3	titik 1 ruangan	0,16	31,2	55,5	15:15
4	titik 2 ruangan	0,11	31,1	55,5	15:15
5	titik 3 ruangan	0,26	26,4	70,8	15:16
6	titik 4 ruangan	0,48	27,1	73,8	15:16
7	Air supply plenum box#1	0,79	28,9	66	15:17
8	Air supply plenum box#2	0,42	25,3	71,1	15:18
9	Extract plenum box bawah	1,25	31,5	54,9	15:22
10	Extract plenum box atas	1,2	32,7	51,5	15:23
11	titik 1 ruangan	0,23	33,6	48	15:24
12	titik 2 ruangan	0,16	33,2	50,0	15:24
13	titik 3 ruangan	0,51	29,8	60,9	15:25
14	titik 4 ruangan	0,36	28,2	63,9	15:25
15	Air supply plenum box#1	0,64	27,7	64,6	15:27
16	Air supply plenum box#2	0,43	28,1	64,2	15:27
17	Extract plenum box bawah	1,51	33,6	50,6	15:47
18	Extract plenum box atas	1,55	35,4	43,8	15:47
19	titik 1 ruangan	0,21	35,5	43,8	15:48
20	titik 2 ruangan	0,24	35	45,3	15:48
21	titik 3 ruangan	0,42	30	59,8	15:49
22	titik 4 ruangan	0,33	30,2	59	15:50
23	Air supply plenum box#1	0,64	28,9	63	15:51
24	Air supply plenum box#2	0,41	27,6	64,6	15:52
25	Extract plenum box bawah	1,22	32,2	54	15:54
26	Extract plenum box atas	1,2	32,9	49,8	15:54
27	titik 1 ruangan	0,25	33,1	49,5	15:55
28	titik 2 ruangan	0,19	33,2	50	15:56
29	titik 3 ruangan	0,35	30,7	59,4	15:57
30	titik 4 ruangan	0,3	28,8	62,5	15:57
31	Air supply plenum box#1	0,76	27,6	79,4	15:59
32	Air supply plenum box#2	0,42	26,7	65,7	16:00

3.4.4 Data report panel chiller

Tabel 3.14 Data report panel chiller

No	Item	Keterangan	Waktu Pengambilan
1	Active chilled water	6,7 °C	15:04
2	Evap leaving water temp.	11,3 °C	15:04
3	Evap entering water temp.	13,5 °C	15:04
4	chiller %RLA	75%	15:04
5	Outdoor air temp.	40,5	15:04
6	Compressor A %RLA average	96%	15:04
7	Compressor A %RLA high phase	100%	15:04
8	Compressor B %RLA average	95%	15:04
9	Compressor B %RLA high phase	98%	15:04
10	Compressor C %RLA average	37%	15:04
11	Compressor C %RLA high phase	39%	15:04

3.4.5 Data berdasarkan name plate

Tabel 3.15 Data name plate kompresor

No	Item	Kompresor A	Kompresor B	Kompresor C
1	Voltase (volt)	380	380	380
2	Frekuensi (hz)	50	50	50
3	Phasa	3	3	3
4	Ampere (A)	154	154	177
5	Power (kW)	98	98	98
6	Nominal flowrate (m ³ /hr)	250	250	292
7	P max (bar)	32	32	32
8	Refrigerant	R22	R22	R22

Tabel 3.16 Data name plate pompa chilled water

No	Item	Pompa chilled water
1	Voltase (volt)	380
2	Frekuensi (hz)	50
3	Phasa	3
4	Ampere (A)	45,3
5	Power (kW)	22
6	N (rpm)	2925
7	Class insulation	F

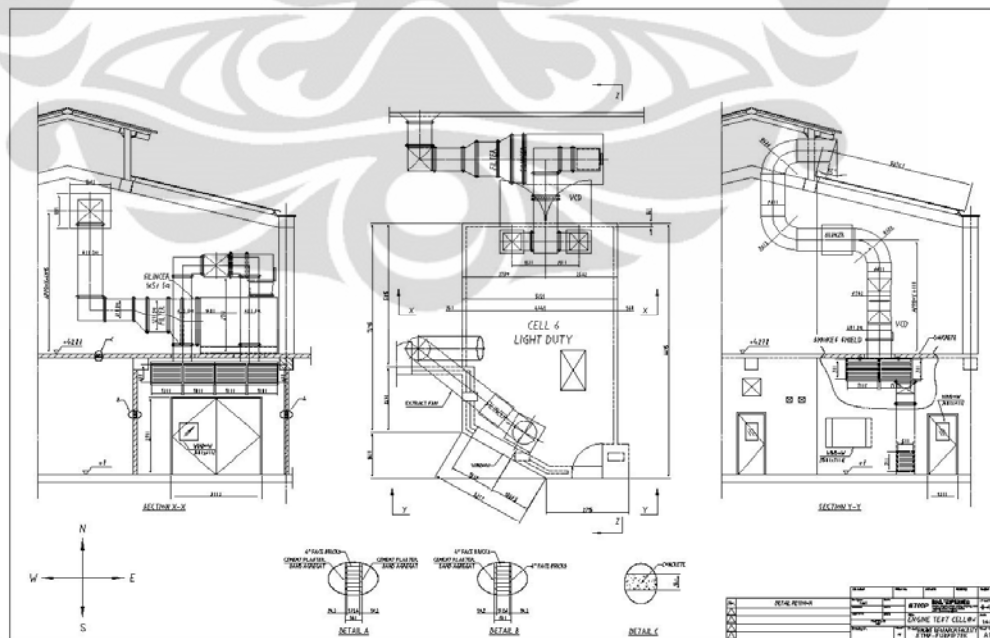
BAB IV ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 PERHITUNGAN COOLING LOAD

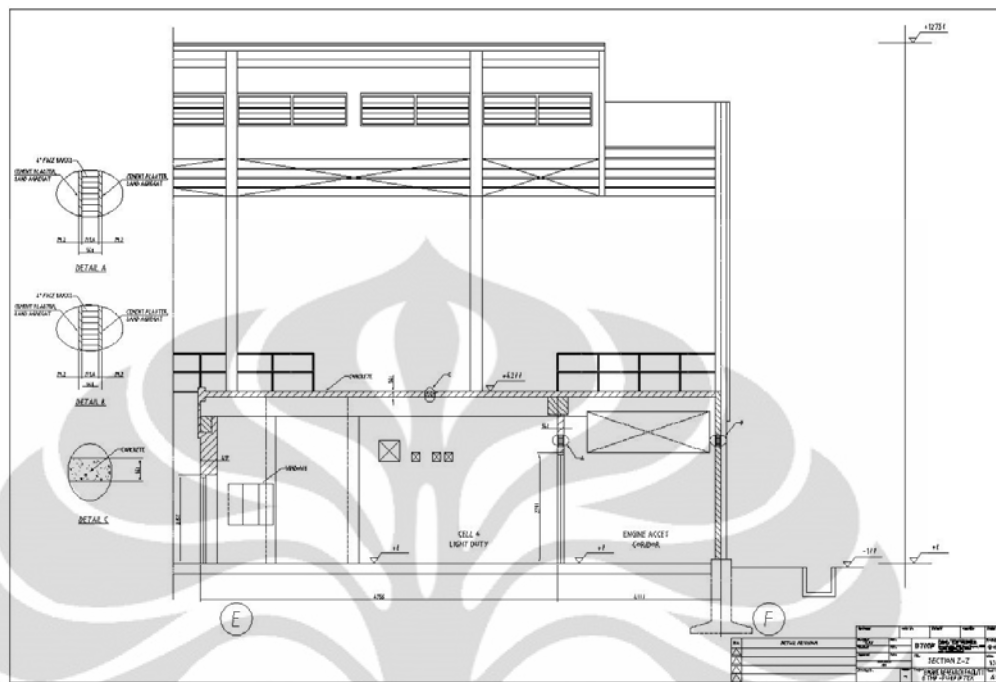
Semua komponen maupun peralatan yang berada pada *engine test cell#6* akan mempengaruhi jumlah beban pendinginan yang akan didingin oleh chiller melalui *air handling unitnya*. Begitupun juga dengan segala aktivitas manusia yang berada pada *engine test cell#6* selama pengujian engine berlangsung juga merupakan faktor yang penting dalam memperhitungkan beban pendinginan. Selain faktor diatas faktor yang tidak kalah penting juga adalah *infiltrasi* dari pintu maupun jendela yang ada pada *engine test cell#6*.

4.1.1 Cooling Load

Cooling load (beban pendinginan) merupakan langkah pertama untuk menentukan seberapa besar kapasitas chiller yang akan digunakan melalui *air handling unitnya*. Komponen yang menambah panas (*heat gains*) adalah meliputi konduksi, efek panas matahari, kondisi udara luar dan panas yang dihasilkan dari internal sendiri. Layout *engine test cell#6* dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 4.1 Engine test cell#6



Gambar 4.2 Section Z-Z engine test cell#6

Dari data layout *engine test cell* dan data komponen dari tabel 3.5 maka perhitungan *cooling load* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Perhitungan *cooling load*

Load Component		Heat Gains Sensible	Latent
<i>Heat Gains to space</i>			
Roof	$Q=U \times A \times CLTD_{door}$ (2" insulation + metal siding) $Q=0,125 \times (16,65 \times 29,18) \times 92$	5587,24	
Walls	$Q=U \times A \times (t_o - t_i)$ (Plastering, sand agregat +4" face bricks+plastering, sand agregat)		
North	$Q=0,48 \times ((16,8 \times 13,78) - (9,84 \times 8,86)) \times (30,54 - 29,4)$	98,39	
East	$Q=0,48 \times (29,18 \times 13,78) \times (30,54 - 29,4)$	220,03	
West	$Q=0,48 \times (16,45 \times 13,78) \times (30,54 - 9,4)$	124,04	
Doors	$Q=U \times A \times CLTD_{door}$ (1 3/4" insulation metal)		
3 x 2,7 (m) North	$Q=0,4 \times ((9,84 \times 8,86) - (1,97 \times 1,97)) \times 14$	466,49	
Windows	$Q=U \times A \times CLTD_{door} + (A \times SC \times SOL)$		
0,6 x 0,6 (m) North	$Q=0,55 \times (1,97 \times 1,97) \times 14 + ((1,97 \times 1,97) \times 0,87 \times 37)$ {Dbl 1/8" clear, 1/4" air gap}	154,81	
Infiltration, sensible only	$Q=1,08 \times Q$ (CFM) $\times \Delta T$ $Q=1,08 \times (0,5 \times 6426,06/60) \times (30,7 - 29,4)$	75,18	
Infiltration, latent	$Q=4680 \times Q$ (CFM) $\times \Delta W$ $Q=4680 \times (0,5 \times 6426,06/60) \times (70,4 - 67,1)$		827033,92
Lighting neon 70 watt	$Q=3,412 \times CLF \times F_{bal} \times ws/ \text{bulb} \times N_{\text{bulbs}}$ $Q=3,412 \times 0,95 \times 1,15 \times 70 \times 10$	2609,33	
Lighting neon 20 watt	$Q=3,412 \times CLF \times F_{bal} \times ws/ \text{bulb} \times N_{\text{bulbs}}$ $Q=3,412 \times 0,95 \times 1,4 \times 20 \times 2$	907,59	
engine 240 PS	176,52 kW $Q= \text{kW} \times 3413 \text{ btuh/kWh}$ $Q=176,52 \times 3413$	602462,76	
Blower external 1,1 kW	$Q= \text{kW} \times 3413 \text{ btuh/kWh}$ $Q=1,1 \times 3413$	3754,30	
Occupants Latent	$Q= q_l/ \text{person} \times N \text{ people}$ $Q=250 \times 2$		500
Occupants Sensible	$Q= q_s/ \text{person} \times CLF \times N \text{ people}$ $Q=250 \times 0,94 \times 2$	470	
Total air cooling load (btu/h)		616930,16	827533,92
Total air cooling load latent + sensible (btu/h)		1444464,08	
Total cooling load (TR)		120,37	0,2930711
Total cooling load (kW)		423,33	

4.2 ANALISA DAYA YANG TERPAKAI

Pengukuran daya yang terpakai merupakan bagian yang penting dalam audit sistem VAC. Pengukuran daya yang terpakai dilapangan meliputi bagian chiller, pompa *chilled water*, *air handling unit* (AHU) dan *extract fan*. Hasil dari semua pengukuran daya dilapangan tersebut dikumpulkan dan dijumlahkan sehingga dihasilkan total daya yang terpakai oleh sistem.

4.2.1 Analisa daya chiller

Pada saat pengujian mesin dilakukan ternyata hanya chiller#1 yang bekerja dari 3 chiller yang tersedia. Berdasarkan tabel 3.6 maka dapat dihitung daya yang terpakai untuk operasional chillernya.

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi \quad (4.1)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Voltase (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos ϕ = Power faktor = 0,8

Jadi daya yang terpakai pada chiller adalah sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 309,43 \cdot 0,8$$

$$P = 162930,1 \text{ Watt}$$

$$P = 162,93 \text{ kW}$$

4.2.2 Analisa daya pompa *chilled water*

Pada saat pengujian mesin ternyata hanya 1 pompa *chilled water* saja yang terpakai yaitu pompa *chilled water*#2 dari 4 pompa *chilled water* yang tersedia. Berdasarkan tabel 3.7 maka dapat dihitung daya yang terpakai untuk operasional pompa *chilled water*nya. Jadi daya yang terpakai pada pompa *chilled water* adalah sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 48,23 \cdot 0,8$$

$$P = 25396,95 \text{ Watt}$$

$$P = 25,4 \text{ kW}$$

4.2.3 Analisa daya *air handling unit* (AHU)

Pada saat pengujian *air handling unit* yang bekerja adalah *air handling unit*#6 yang berada pada *engine test cell*#6. Berdasarkan tabel 3.8 maka dapat dihitung daya yang terpakai untuk operasional *air handling unit*nya. Jadi daya yang terpakai pada *air handling unit* adalah sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 7,73 \cdot 0,8$$

$$P = 4071,94 \text{ Watt}$$

$$P = 4,07 \text{ kW}$$

4.2.4 Analisa daya *extract fan*

Pada saat pengujian mesin *extract fan* yang bekerja adalah *extract fan#6* yang berada pada *engine test cell#6*. Berdasarkan tabel 3.9 maka dapat dihitung daya yang terpakai untuk operasional *extract fannya*. Jadi daya yang terpakai pada *extract fan* adalah sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 8,13 \cdot 0,8$$

$$P = 4282,55 \text{ Watt}$$

$$P = 4,28 \text{ kW}$$

4.2.5 Total daya yang terpakai sistem

Total daya yang terpakai oleh sistem adalah penjumlahan daya dari hasil pengukuran seluruh equipment sistem VAC meliputi chiller, pompa chilled water, *air handling unit* (AHU) dan *extract fan*. Jadi persamaan yang dipakai untuk menghitung total daya yang terpakai oleh sistem :

$$P_{\text{total sistem}} = P_{\text{chiller}} + P_{\text{pompa chilld water}} + P_{\text{AHU}} + P_{\text{extract fan}} \quad (4.2)$$

Dimana :

$$P_{\text{total sistem}} = \text{Total daya yang terpakai oleh sistem (kW)}$$

$$P_{\text{chiller}} = \text{Daya yang terpakai pada chiller (kW)}$$

$$P_{\text{pompa chilld water}} = \text{Daya yang terpakai pada pompa chilled water (kW)}$$

$$P_{\text{AHU}} = \text{Daya yang terpakai pada air handling unit (kW)}$$

$$P_{\text{extract fan}} = \text{Daya yang terpakai pada extract fan (kW)}$$

Jadi daya total yang terpakai oleh sistem adalah sebagai berikut :

$$P_{\text{total sistem}} = P_{\text{chiller}} + P_{\text{pompa chilld water}} + P_{\text{AHU}} + P_{\text{extract fan}}$$

$$P_{\text{total sistem}} = 162,93 + 25,4 + 4,07 + 4,28$$

$$P_{\text{total sistem}} = 196,68 \text{ kW}$$

4.3 ANALISA KONDISI UDARA

Analisa kondisi udara adalah penting untuk mengetahui apakah kondisi udara yang dihasilkan oleh sistem VAC masih sesuai dengan desain dari manufaktur untuk *engine test cell*.

4.3.1 Analisa kondisi udara ruang *engine test cell*

Berdasarkan data dari tabel 3.13 maka data temperatur terendah adalah **25,3 °C**, RH **71,1%** dengan V udara adalah **0,42 m/s**. Data temperatur tertinggi adalah **35,5 °C**, RH **43,8%** dengan V udara **0,21 m/s**. Dari data tabel 3.13 juga maka temperatur rata-rata di ruang *engine test cell* adalah **30,54 °C**. Dari data tersebut maka kondisi udara yang dihasilkan sistem VAC telah keluar dari desain untuk *engine test cell* yang berkisar pada **25±2 °C**.

4.4 ANALISA FLOW UDARA

Flow udara merupakan parameter yang penting dalam ruang *engine test cell*. Disini *flow* udara akan dibandingkan antara *flow* udara aktual dibandingkan dengan desain. Dalam analisa ini luas penampang adalah diasumsikan total tanpa mengurangi dari luas penampang grillnya dengan tujuan untuk dapat ditarik kesimpulan.

4.4.1 Flow udara dari air supply plenum box aktual versus design

Air supply plenum box merupakan tempat yang mengeluarkan *flow* udara dari *air handling unit* (AHU) yang ditempatkan di *engine test cell*. Untuk menghitung *flow* udara yang dihasilkan adalah menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Q = A.V \quad (4.3)$$

Dimana :

Q = *Flow* udara (m³/s)

A = Luas penampang *plenum box* (m²)

V = Kecepatan udara (m/s)

Dari data tabel 3.13 v udara tercatat bahwa v udara tertinggi berada pada 0,79 m/s. Luas penampang *air supply plenum box* adalah 2,4 m² ((4 x 0,6 m x 1 m)) maka *flow* udara aktual yang dihasilkan adalah :

$$Q = A.V$$

$$Q = 2,4.0,79$$

$$Q = 1,89 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dari data *flow* udara aktual tersebut maka dapat diambil kesimpulan bahwa *flow* udara yang dihasilkan telah mengalami penurunan *flow* udara dibandingkan dengan *flow* udara desain yang bernilai 5 m³/s.

4.4.2 *Flow udara extract fan*

Flow udara extract fan adalah tidak spesifik disebutkan berapa *flow*nya namun pada deskripsi *engine test cell* disebutkan bahwa agar terjadi keseimbangan antara *flow* yang dimasukkan melalui *air supply plenum box* dengan *extract fan* maka dipasanglah damper pada kedua komponen tersebut.

Dari data tabel 3.13 *v* udara tercatat bahwa *v* udara tertinggi berada pada 1,55 m/s. Luas penampang *extract fan plenum box* adalah $1,75 \text{ m}^2$ ((2 x 0,7 m x 1 m) + (0,5 m x 0,7 m)) maka *flow* udara aktual yang dihasilkan adalah :

$$Q = A.V$$

$$Q = 1,75.1,55$$

$$Q = 2,71 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dari data *flow* udara aktual tersebut maka dapat diambil kesimpulan bahwa *flow* udara yang dibuang melalui *extract fan* jauh lebih besar dibandingkan dengan *flow* udara yang dihasilkan oleh *air supply plenum box* yang mana dari hasil ini sudah tidak terjadi keseimbangan lagi antara *flow* udara yang dimasukkan dengan yang dibuang.

4.5 ANALISA DATA NAME PLATE

Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui perbandingan arus yang terpakai dengan arus yang tertulis pada *name plate*.

4.5.1 Analisa pompa *chilled water*

Berdasarkan pada tabel 3.7 maka aktual pemakaian arus lebih besar yaitu 48,3 A dibanding dengan data tabel 3.16 *name plate* yang tertulis 45,3 A. Dari data tersebut maka dapat dikatakan bahwa pompa *chilled water* telah mengalami pemborosan daya yang terpakai.

4.5.2 Analisa kompressor

Berdasarkan data dari tabel 3.6 maka pemakaian arus aktual lebih kecil yaitu 309,43 A dibandingkan dengan data tabel 3.15. Ini dimungkinkan karena beban pada saat pengujian adalah tidak *full load*. Dari data ini maka dapat diambil kesimpulan bahwa chiller masih memiliki pemakaian daya yang normal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

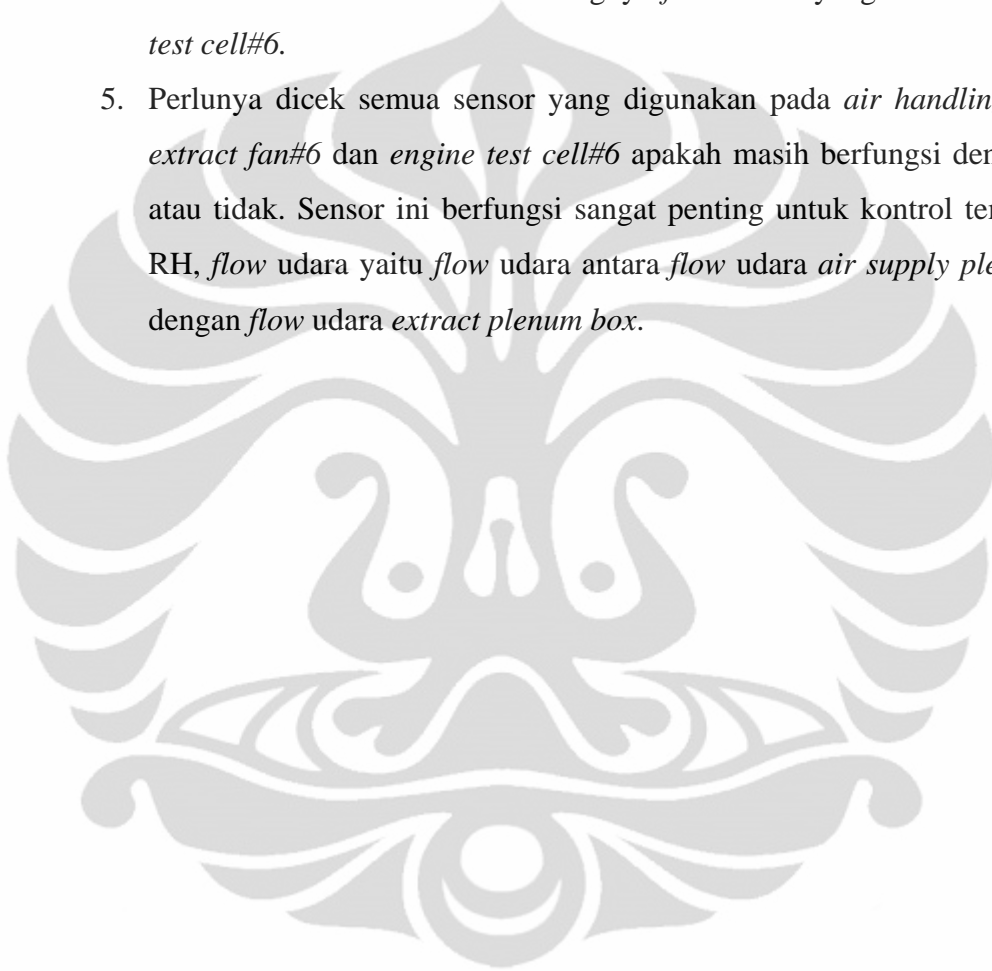
5.1 KESIMPULAN

1. Total *cooling load* untuk *engine test cell#6* adalah 423,33 kW.
2. Daya total yang terpakai oleh sistem adalah 196,68 kW.
3. Kondisi udara yang dihasilkan oleh *air handling unit#6* (AHU) telah keluar dari desain awal *engine test cell* yang berkisar pada temperatur 25 ± 2 °C dimana data yang diambil telah mencapai 35,6 °C di titik 1 sampel yang diambil.
4. *Flow* udara aktual yang yang dihasilkan oleh *air handling unit#6* (AHU) melalui *air supply plenum box fresh air unit* telah mengalami penurunan *flow* udara hingga 1,89 m³/s saja dimana desain *flow* udara yang harus disuplai adalah bernilai 5 m³/s.
5. *Air handling unit#6* (AHU) sudah dengan jelas menunjukkan performa yang tidak sesuai lagi dengan desain untuk *engine test cell*.
6. *Flow* udara yang ditarik oleh *extract fan* adalah 2,71 m³/s yang mana *flow* ini adalah lebih besar yang dibandingkan dengan *air supply plenum box* sehingga tidak terjadi keseimbangan antara *flow* udara yang dimasukkan dengan *flow* yang dibuang melalui *extract fan*.
7. Arus yang terpakai pada pompa *chilled water* adalah lebih besar dibanding dengan arus yang tertera pada *name plate*. Jadi pompa *chilled water* telah mengalami pemborosan daya yang terpakai.
8. Terjadinya infiltrasi yang besar pada saat pengujian dikarenakan adanya pintu yang selalu terbuka dimana pada awal desainnya adalah semua pintu dalam keadaan tertutup.

5.2 SARAN

1. Perlu segera diservis untuk *air handling unit#6* dan dibuatkan jadwal *maintenance* secara periodik.
2. Perlu dicek *flow chilled water* yang masuk ke *air handling unit* apakah masih sesuai dengan kebutuhan *air handling unit#6* (AHU) yaitu sebesar 6,5 L/s.

3. Perlunya dicek *air filter* yang digunakan pada *air handling unit#6* untuk memastikan tidak adanya hambatan udara yang *significant* sehingga akan berpengaruh pada jumlah *flow* udara yang akan dimasukkan ke *engine test cell*.
4. Perlunya dicek kekencangan v belt pada *fan pulley* di *air handling unit#6* untuk memastikan tidak berkurangnya *flow* udara yang masuk ke *engine test cell#6*.
5. Perlunya dicek semua sensor yang digunakan pada *air handling unit#6*, *extract fan#6* dan *engine test cell#6* apakah masih berfungsi dengan baik atau tidak. Sensor ini berfungsi sangat penting untuk kontrol temperatur, RH, *flow* udara yaitu *flow* udara antara *flow* udara *air supply plenum box* dengan *flow* udara *extract plenum box*.



DAFTAR REFERENSI

Cengel, Yunus A., dan Boles, Michael A., 1994, *Thermodynamic: An Engineering Approach*, Mc. Graw-Hill Inc., United State of America.

Janis, Richard R., dan Tao, William K.Y., 2009, *Mechanical and electrical systems in buildings*, Pearson Prentice Hall, United States of America.

Kavanaugh, Stephen P, 2006, *HVAC simplified*, ASHRAE, United States of America.

Universitas Indonesia. *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*. (2008). Depok: Universitas Indonesia.

Manual book sistem VAC di laboratorium pengujian mesin

<http://www.calculatoredge.com/optical%20engg/air%20flow.htm>

Table 7.1 R-Values for Building Materials and Structural Units (ASHRAE 2005, chapter 25)

Air (Heat Flow)	$h \cdot ^\circ F \cdot ft^2 \cdot Btu$	Insulation	$h \cdot ^\circ F \cdot ft^2 \cdot Btu$	Structural	$h \cdot ^\circ F \cdot ft^2 \cdot Btu$
Ext. surface (7½ mph)	0.25	3½ in. fiberglass	11.0	8 in. LW block	2.00
Ext. surface (15 mph)	0.17	w/ 20% wood framing	9.6	with perlite cores	5.50
Inside surface	0.68	3½ in. fiberglass	13.0	12 in. LW block	2.40
1 in. vertical air gap	0.8-1.6	w/ 20% wood framing	10.5	with perlite cores	7.20
4 in. vertical air gap	0.9-1.5	5½ in. fiberglass	19.0	12 in. HW block	1.11
1 in. horizontal air gap	0.8-1.7	w/ 10% wood framing	17.3	Concrete	0.14/in.
4 in. horizontal air gap	0.8-2.2	w/ 20% wood framing	15.2	Softwood	1.25/in.
		7¼ in. fiberglass	25.0	Hardwood	0.9/in.
Exterior materials		w/ 10% wood framing	21.0	R-values in $h \cdot ^\circ F \cdot ft^2 / Btu$	
4 in. face brick	0.45	9¼ in. fiberglass	30.0	U-factors in $Btu / h \cdot ^\circ F \cdot ft^2$	
Steel siding	0.00	w/ 10% wood framing	26.0	Windows	R / U
Vinyl siding (0.06 in.)	0.06	11¼ in. fiberglass	38.0	Sgl. pane alum. frame	0.79/1.27
1 in. stucco	0.21	w/ 10% wood framing	32.5	Dbl. pane alum. frame	1.20/0.83
¾ in. plywood	0.93	Cellulose	3.7/in.	Dbl. vinyl/alum. frame	1.75/0.57
½ in. plywood	0.62	w/ 10% wood framing	3.1/in.	Dbl. wood/vinyl frame	1.82/0.55
5/8 in. hardboard	0.85	w/ 20% wood framing	2.7/in.	Triple vinyl/al. frame	2.30/0.43
3/8 in. hardboard	0.50	Panel-3½ in. beadbrd.+OSB	12.8	Doors	
1/2 in. veg. (black) board	1.32	Panel-3½ in. extr.poly+OSB	17.0	1 ¼ in. solid wood	2.50/0.40
Roof stone/slag	0.1/in.	1 in. duct liner/wrap	4.0	with storm door	3.80/0.26
Building wrap, felt	~ 0	2 in. duct liner/wrap	8.0	1 ¼ in. panel	1.85/0.54
7/16 in. OSB	0.5	Expanded polysty (beads)	3.5/in.	with storm door	2.80/0.36
Interior		Extruded polystyrene	5.0/in.	1 ¼ in. insul. metal	2.50/0.40
1/2 in. gypsum board	0.45	Polyisocyanurate	6.0/in.	with storm door	3.80/0.26
5/8 in. gypsum board	0.56	Polyurethane foam	6.0/in.	2 ¼ in. solid wood	3.70/0.27
1/2 in. acoustical tile	1.79			with storm door	5.0/0.20

Table 7.2 Effective Thermal Resistance of Attics—Summer Conditions (ASHRAE 2001, chapter 25)

Sol-Air Temp.=140°F Vent. Air Temp. (°F)	No Ventilation		Natural Ventilation 0.1 cfm/ft ²		Power Ventilation 0.5 cfm/ft ²	
	$R_{Ceiling}$ (h·°F·ft ² /Btu)		$R_{Ceiling}$ (h·°F·ft ² /Btu)		$R_{Ceiling}$ (h·°F·ft ² /Btu)	
	10	20	10	20	10	20
Non-Reflective Surfaces						
80	1.9	1.9	2.8	3.5	6.5	10
90	1.9	1.9	2.6	3.1	5.2	7.9
100	1.9	1.9	2.4	2.7	4.2	6.1
With Reflective Barrier (= 0.05)						
80	6.5	6.5	8.2	9.0	14	18
90	6.5	6.5	7.7	8.3	12	15
100	6.5	6.5	7.3	7.8	10	12

Table 7.3 U-Factor (Btu/h·°F·ft²), Visible Transmission, Shading Coefficient (SC), and Solar Heat Gain Factor (SHGF) for Unshaded Windows (ASHRAE 1997, chapter 29)

Glass Type	Gap	Glass Only				Aluminum Frame				Wood/Vinyl Frame			
		U	VT	SC	SHGC	U	VT	SC	SHGC	U	VT	SC	SHGC
Sgl. 1/8 in. Clear		1.04	0.90	1.00	0.86	1.27	0.65	0.86	0.75	0.89	0.65	0.72	0.63
Sgl. 1/4 in. Acryl		0.88	0.89	0.93	0.81	1.21	0.65	0.82	0.71	0.83	0.65	0.69	0.60
Dbl. 1/8 in. Clear	1/4 in. air	0.55	0.81	0.87	0.75	0.87	0.59	0.76	0.66	0.55	0.59	0.63	0.55
Dbl. 1/8 in. Clear	1/2 in. argon	0.41	0.81	0.87	0.75	0.79	0.59	0.76	0.66	0.49	0.59	0.63	0.55
Dbl. 1/8 in. $\epsilon = 0.2$	1/4 in. air	0.45	0.76	0.70	0.60	0.79	0.55	0.66	0.57	0.49	0.55	0.55	0.48
Dbl. 1/8 in. $\epsilon = 0.2$	1/2 in. argon	0.30	0.76	0.70	0.60	0.67	0.55	0.66	0.57	0.39	0.55	0.55	0.48
Trpl. 1/8 in. Clear	1/4 in. air	0.38	0.74	0.71	0.61	0.72	0.51	0.68	0.59	0.43	0.50	0.59	0.51
Trpl. 1/8 in. Clear	1/2 in. argon	0.29	0.74	0.71	0.61	0.65	0.51	0.68	0.59	0.37	0.50	0.59	0.51

Table 7.4 Typical Shading Coefficients (SC) for Windows with Interior Shades (ASHRAE 1997, chapter 29)

Blinds	Med. Blind	Lt. Blind	Med. Blind	Lt. Blind	Dark Roller	White Roller
Position	45°	45°	Closed	Closed	Closed	Closed
Single 1/8 in. Clear	0.74	0.67	0.63	0.58	0.81	0.39
Double 1/8 in. Clear	0.62	0.58	0.63	0.58	0.71	0.35
Double 1/8 in. $\epsilon = 0.2$	0.39	0.36			0.4	0.22
Drapes		Drape Color / Weave				
	Lt./Open	Med./Open	Dk./Open	Lt./Closed	Med./Closed	Dk./Closed
Single 1/8 in. Clear	0.69	0.74	0.82	0.69	0.59	0.39
Double 1/8 in. Clear	0.63	0.65	0.71	0.63	0.53	0.35
Double 1/8 in. $\epsilon = 0.2$	0.36	0.37	0.37	0.36	0.32	0.22

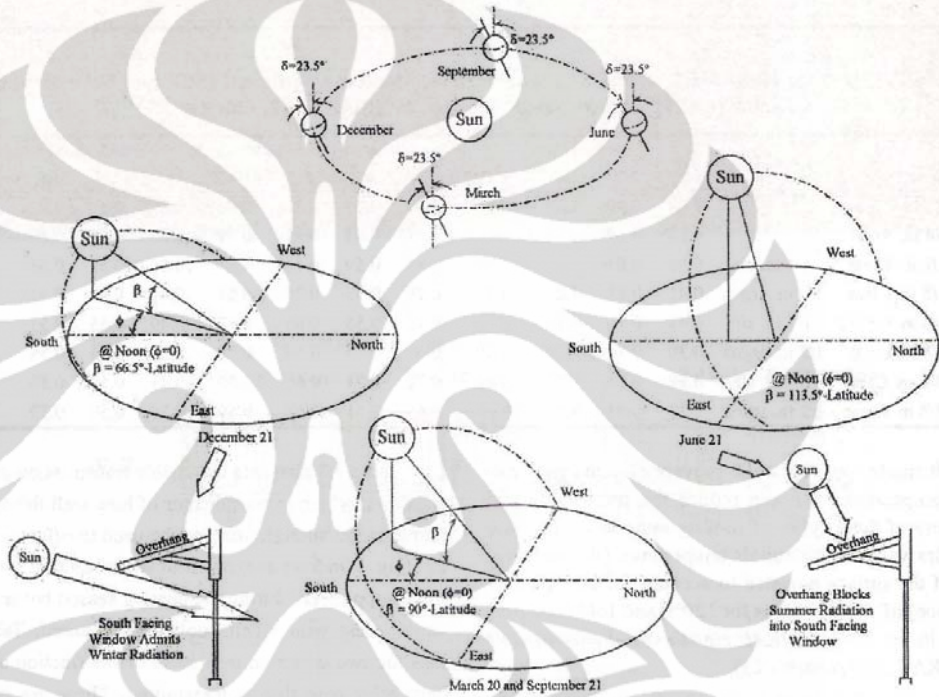


Figure 7.10 Rotation and tilt of earth and path of sun in the winter, summer, fall, and spring.

Table 8.3 Uncorrected CLTDs for Walls (°F) for Morning (Hr 10) and Afternoon (Hr 15)

See Figure 7.4 for wall type descriptions.

Wall Type 1										
Lat.	24°N	24°N	30°N	30°N	36°N	36°N	42°N	42°N	48°N	48°N
Dir.	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	18	30	16	30	14	29	14	29	13	28
E	63	31	64	31	64	31	64	31	64	30
S	12	31	15	39	18	46	23	53	28	59
W	13	59	13	59	13	59	13	59	13	58

Wall Type 2										
Lat.	24°N	24°N	30°N	30°N	36°N	36°N	42°N	42°N	48°N	48°N
Dir.	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	12	25	11	25	9	24	9	24	9	24
E	42	38	44	38	46	38	47	38	49	38
S	4	27	5	35	6	42	8	49	9	55
W	5	33	5	33	5	33	6	33	6	32

Wall Type 5										
Lat.	24°N	24°N	30°N	30°N	36°N	36°N	42°N	42°N	48°N	48°N
Dir.	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	7	19	7	18	6	17	6	17	6	17
E	22	37	24	37	25	38	27	39	28	39
S	3	18	4	23	4	27	5	32	6	37
W	4	20	5	20	5	20	6	20	6	20

Wall Type 6										
Lat.	24°N	24°N	30°N	30°N	36°N	36°N	42°N	42°N	48°N	48°N
Dir.	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	8	17	8	17	7	16	7	16	7	16
E	22	34	24	35	25	35	31	36	27	36
S	4	16	5	21	5	25	7	30	8	34
W	7	20	7	20	7	20	8	20	8	20

Wall Type 10										
Lat.	24°N	24°N	30°N	30°N	36°N	36°N	42°N	42°N	48°N	48°N
Dir.	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	8	14	7	13	5	12	6	12	6	12
E	15	30	15	33	14	35	15	36	16	36
S	5	12	5	15	4	18	5	21	5	24
W	11	15	9	14	7	13	8	13	8	13

Wall Type 16										
Lat.	24°N	24°N	30°N	30°N	36°N	36°N	42°N	42°N	48°N	48°N
Dir.	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	8	11	8	11	7	10	8	10	8	10
E	11	26	12	27	12	28	13	29	14	29
S	6	8	7	10	7	12	10	15	10	17
W	12	11	13	12	13	12	14	12	14	12

Table 8.4 Uncorrected Glass Door and Window Cooling Load Temperature Differences (°F)

All Directions	Hr 10	Hr 15
	4	14

Table 8.5 Uncorrected Roof/Ceiling Cooling Load Temperature Differences (°F) for Morning (Hr 10) and Afternoon (Hr 15)

Roof Num.	24°N		30°N		36°N		42°N		48°N	
	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
1	44	92	45	91	45	90	45	87	44	83
2	30	90	31	89	32	88	32	85	32	82
3	22	74	23	74	24	73	24	71	24	68
4	5	67	6	67	7	66	8	64	8	62
5	10	61	11	61	12	61	13	59	13	57
8	14	59	15	54	15	49	16	48	16	46
9	5	46	6	46	7	46	8	45	8	43
10	8	37	9	48	9	38	10	37	10	36
13	16	38	17	38	17	38	18	38	18	37
14	19	36	20	36	20	36	20	36	20	35



**Table 8.6 Window Solar Cooling Load (SCL) Factors (Btu/h-ft²)
for Morning (Hr 10) and Afternoon (Hr 15)**

See Figure 8.1 for SCL zone types.

Zone Type	24°N	24°N	30°N	30°N	36°N	36°N	42°N	42°N	48°N	48°N
A	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	38	38	36	37	37	36	35	36	34	35
E	154	40	155	40	155	39	154	39	153	38
S	35	37	44	45	53	52	72	70	90	88
W	35	160	35	160	35	159	35	159	34	156
B	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	35	37	34	35	36	35	34	35	32	34
E	141	48	142	48	143	48	143	48	143	47
S	31	36	39	44	47	52	63	81	78	109
W	32	141	32	140	32	140	32	139	31	137
C	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	32	34	32	33	31	32	31	32	30	31
E	123	47	124	47	124	47	124	47	124	47
S	29	32	37	39	45	45	60	61	75	76
W	34	132	34	132	34	132	34	131	33	130
D	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
N	29	33	28	32	27	31	27	31	27	30
E	108	52	109	53	110	53	111	53	111	53
S	25	30	32	37	39	43	52	58	64	72
W	32	112	33	112	33	112	33	111	33	110

Table 8.8 Cooling Load Factors for People and Unhooded Equipment for Morning (Hr 10) and Afternoon (Hr 15) (ASHRAE 1997, chapter 28)

Occupancy	Zone Type A*		Zone Type B*		Zone Type C*		Zone Type D*	
	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
8 h/day	0.9	0.98	0.78	0.94	0.72	0.89	0.71	0.85
12 h/day	0.9	0.98	0.78	0.94	0.73	0.89	0.73	0.87
16 h/day	0.91	0.98	0.8	0.94	0.76	0.91	0.78	0.89

* See Figure 7.4 for zone types.

Table 8.9 Cooling Load Factors for Hooded Equipment for Morning (Hr 10) and Afternoon (Hr 15) (ASHRAE 1997, chapter 28)

Occupancy	Zone Type A*		Zone Type B*		Zone Type C*		Zone Type D*	
	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
8 h/day	0.86	0.97	0.68	0.91	0.6	0.82	0.6	0.77
12 h/day	0.86	0.97	0.69	0.92	0.6	0.82	0.62	0.82
16 h/day	0.87	0.97	0.72	0.92	0.66	0.88	0.68	0.85

* See Figure 7.4 for zone types.

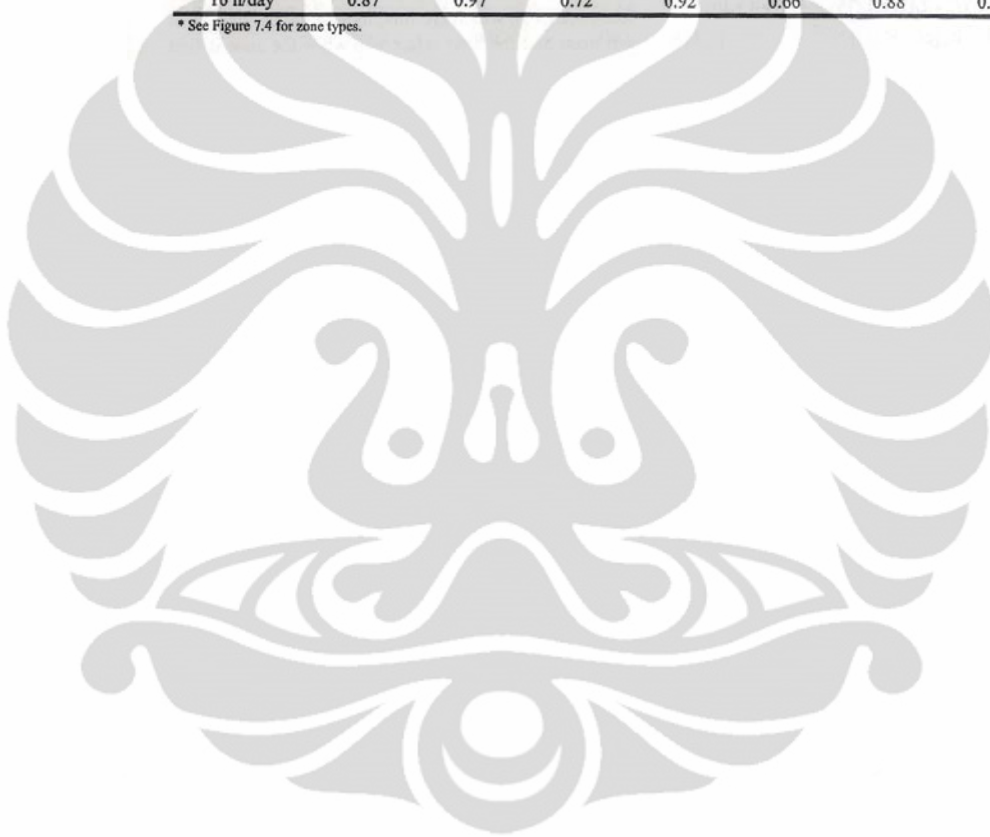


Table 8.10 Heat Gain Rates for Equipment (Watts)
(ASHRAE 2005, chapter 30)

Latent heat values in Btu/h.

	Continuous	Average	Idle
Computer	110	-	20
—15 in. monitor		-	
—17 in. monitor	125	-	25
—19 in. monitor	135	-	30
Laser printer			
—Desktop	130	100	10
—Small office	320	160	70
—Large office	550	275	125
Fax machine		30	
Other office equipment		25% nameplate (watts \approx volts \times amps)	
Coffee maker		1050 W +	
—10 cup		1540 Btu/h latent	
Microwave oven			
—1 ft ³		400	
Refrigerator			
—15 ft ³		300	
Water cooler			
—8 gal/hr		350	
1/4 hp motor	270		
3/4 hp motor	750		
1 hp motor	930		
10 hp motor	8500		

$$(W = 746 \times \text{hp} / \eta_{\text{Motor}})$$

Table 8.11 Power Consumption of Selected Lighting Types (ASHRAE 2005, chapter 30)

Fluorescent Bulbs and Ballasts							
Length (in.)	Dia.	Lamp Wattage	Magnetic Ballast		Electronic Ballast		
			Ballast Factor	Net Wattage	Ballast Factor	Net Wattage	
18	T8	15	1.27	19	—	—	
18	T12	15	1.27	19	—	—	
24	T8	17	1.41	24	0.94	16	
24	T12	20	1.4	28	—	—	
36	T8	25	—	—	0.96	24	
36	T12	30	1.35	40	—	—	
48	T8	32	1.1	35	0.97	31	
48	T12	34	1.18	40	0.92	31	
60	T8	40	—	—	0.90	36	
60	T12	50	1.26	63	0.90	45	
72	T12	55	1.2	66	1.07	59	
96	T8	59	—	—	0.94	55	
96	T12	60	1.15	70	0.92	55	

Other Non-Incandescent Lighting							
Compact Fluor.		HP Sodium		Mercury Vapor		Metal Halide	
Rated watts	Actual (W/bal)	Rated watts	Actual (W/bal)	Rated watts	Actual (W/bal)	Rated watts	Actual (W/bal)
13	17	50	66	50	74	50	72
18	23	70	95	75	93	100	128
22	24	100	138	100	125	175	215
26	33	200	250	250	290	250	295
		400	465	400	455	400	458

Table 8.12 Incandescent Lighting Performance (Grainger 2004) $F_{ball} = 1.0$ for incandescent bulbs.

W	Type	Lumens	Life (h)
40	Standard	500	1000
40	PAR-halogen	510	2500
60	Standard	865	1000
60	PAR-halogen	800	3000
75	Standard	1190	750
75	PAR-halogen	1030	2500
100	Standard	1710	750
100	PAR-halogen	1400	2000
150	Standard	2850	750
150	PAR-halogen	1690	2000
250	PAR-halogen	3600	4200

Table 8.13 Cooling Load Factors for Lights for Morning (Hr 10) and Afternoon (Hr 15) (ASHRAE 1997, chapter 28)

Occup.	Zone Type A*		Zone Type B*		Zone Type C*		Zone Type D*	
	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15	Hr 10	Hr 15
	8 h/day	0.93	0.97	0.87	0.95	0.82	0.9	0.74
12 h/day	0.94	0.98	0.88	0.96	0.84	0.92	0.77	0.87
16 h/day	0.95	0.98	0.9	0.97	0.97	0.93	0.81	0.89

* See Figure 7.4 for zone types.

Incandescentli