

**PENELITIAN SISTEM PENDINGINAN UDARA PADA
SATU BANGUNAN AKADEMIK DITINJAU DARI SEGI
BEBAN PENDINGINAN DAN KEHILANGAN PANAS**



Oleh:

Ir. Suditama MT
NIP: 131 932 491

Dosen Kopertis Wilayah - I
DPK. Pada Universitas Medan Area
2001

**PENELITIAN SISTEM PENDINGINAN UDARA PADA
SATU BANGUNAN AKADEMIK DITINJAU DARI SEGI
BEBAN PENDINGINAN DAN KEHILANGAN PANAS**



Oleh:

Ir. Suditama MT
NIP: 131 932 491

**Dosen Kopertis Wilayah - I
DPK. Pada Universitas Medan Area
2001**

PENELITIAN SISTEM PENDINGINAN UDARA PADA SATU BANGUNAN AKADEMIK DITINJAU DARI SEGI BEBAN PENDINGINAN DAN KEHILANGAN PANAS

Medan, Pebruari 2001
Peneliti/Penulis



Ir. Suditama MT
NIP: 131 932 491

Mengetahui/Menyetujui
Wakil Lembaga Penelitian



Sumihar Hutapea MS.
NIP:

Dosen Kopertis Wilayah - I
DPK. Pada Universitas Medan Area
2001

ABSTRAK

Penggunaan alat pendingin udara telah digunakan secara meluas pada masa kini terutama pada tempat-tempat seperti di kantor, ruang kuliah malah di rumah. Pada masa kini alat ini sudah menjadi satu keperluan primer kehidupan modren. Penelitian ini difokuskan kepada menanalisis beban pendinginan dan juga kehilangan panas dalam pipa. Metoda penelitian ialah menggunakan konsep perpindahan panas untuk menganalisis beban pendinginan. Kenaikan suhu dan ukuran dimensi ruangan merupakan parameter utama. Semua hasil analisis yang peroleh akan dibandingkan dengan tenaga mesin pendingin dalam keadaan mampu menanggung beban pendinginan tersebut. Hasil analisis disimpulkan bahwa tenaga mesin pendingin sebuah bangunan akademik tidak mencukupi untuk menanggung beban pendinginan yang ada. Untuk mengoptimumkan sistem pendinginan pada bangunan akademik ini, pengurangan beban pendinginan suatu pilihan yang tepat.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan izin Allah S.W.T. Akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini sesuai dengan kondisi dan kemampuan serta batasan waktu yang ada. Penelitian ini dilaksanakan sebagai salah satu perwujudan TRI DARMA PERGURUAN TINGGI bagi staf pengajar dilingkungan Kopertis Wil-I umumnya dan pada staf pengajar di Fakultas Teknik UMA Khususnya.

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk mendapatkan perbandingan diantara tenaga yang diberikan mesin pendingin yang digunakan untuk suatu bangunan akademik dengan beban pendinginan dan juga kehilangan panas melalui pipa. Sistem pendingin yang digunakan, apakah mampu memberikan tenaga yang mencukupi untuk ruang-ruang yang didinginkan pada bangunan tersebut. Beban pendinginan yang ada di dalam ruang tersebut dan juga sistem pendingin mampu membekalkan tenaga yang optimum dengan terjadinya kehilangan panas melalui pipa, ataupun sistem pendingin yang lama ini perlu diganti dengan sistem pendingin yang baru. Selain itu juga, penelitian ini untuk mendapatkan kelemahan-kelemahan yang terdapat pada sistem pendingin tersebut, untuk bangunan ini dan juga untuk mengetahui bagaimana untuk mengoperasikan sebuah sistem pendingin yang besar seperti penjaan tangki air dan juga rawatan air yang digunakan.

Akhirnya penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak kekurangannya, meskipun demikian kami mengharapkan hasil penelitian (tulisan ini) ini dapat memberikan sumbangan untuk pengembangan ilmu dan teknologi.

Medan, Pebruari 2001

Peneliti

Ir. Suditama MT.

NIP: 131 932 491

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR NOTASI	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Sejarah Pendingin	1
1.2 Objektif Penelitian	2
1.3 Batasan Penelitian	3
1.3.1 Beban Pendinginan	3
1.3.2 Kehilangan Panas Dari Sistem Perpipaan	3
1.4 Pernyataan Masalah	3
BAB II Tinjauan Pustaka	5
2.1 Sistem Pendinginan	5
2.1.1 Penguap	5
2.1.2 Pengembun	5
2.1.3 Pemampat	6

2.1.4	Peralatan Pengembang	6
2.2	Jenis Bahan Pendingin	6
2.3	Menara Pendingin	7
2.4	Jenis-jenis Sistem Pendingin	7
2.5	Masalah-masalah Penting Dalam Analisis	8
2.5.1	Suhu sensibel (Sensible Temperature)	8
2.5.2	Suhu Udara Kering	8
2.5.3	Panas Spesifik Pendingin	9
2.5.4	Suhu Udara Basah	9
2.5.5	Kapasitas	9
2.5.6	Syarat-syarat Nilai untuk Rancangbangun	9
2.5.7	Beban Pendingin	10
2.6	Konsep Dasar	10
2.7	Rawatan Air (Water Treatment)	11
BAB III	METODE PENELITIAN	12
3.1	Beban Pendingin	12
3.2	Sistem Pendingin	12
3.3	Perpindahan Panas	13
3.4	Faktor Beban Pendinginan	14
3.4.1	Mekanisme kehilangan panas dari badan manusia	14
3.4.2	Perpindahan panas melalui kaca	15
3.4.3	Perpindahan panas melalui dinding dan kaca	16

3.4.4	Beban pendinginan untuk peralatan listrik	16
3.5	Kehilangan Panas	17
3.5.1	Perpipaan	18
3.5.2	Kehilangan panas melalui saluran udara dingin	18
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN	20
4.1	Pendahuluan	20
4.2	Beban Pendingin	20
4.3	Perhitungan untuk Beban Pendinginan	21
4.3.1	Manusia	21
4.3.2	Lampu	21
4.3.3	Over Head Projector (OHP)	22
4.3.4	Komputer	22
4.3.5	Pancaran Matahari melalui medium kaca	22
4.3.6	Aliran udara	22
4.3.7	Atap	23
4.3.8	Dinding	23
4.4	Hasil Analisis Kehilangan Panas di dalam Pipa	36
4.5	Pembahasan	39
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	43
	DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR TABEL

	Halaman	
Tabel 2.1	Masalah dan bahan rawatan air	11
Tabel 3.1	Jumlah ruangan yang tersedia pada satu bangunan akademik yang akan diteliti	13
Tabel 4.1	Tenaga yang diberikan untuk masing-masing ruangan	20
Tabel 4.2	Panas yang diberikan oleh badan manusia	21
Tabel 4.3	Nila U untuk berbagai jenis material dinding	24
Tabel 4.4	Suhu rata-rata ruang kuliah	26
Tabel 4.5	Suhu rata-rata ruang rapat	26
Tabel 4.6	Suhu rata-rata kantor	26
Tabel 4.7	Suhu ruang pegawai	26
Tabel 4.8	Suhu ruang pegawai besar	27
Tabel 4.9	Suhu rata-rata kantor Laboratorium	27
Tabel 4.10	Suhu rata-rata ruang dosen ukuran besar	27
Tabel 4.11	Suhu rata-rata ruang dosen ukuran kecil	27
Tabel 4.12	Suhu rata-rata aula (theater A)	28
Tabel 4.13	Suhu rata-rata laboratorium	28
Tabel 1.14	Suhu rata-rata ruang diskusi (tutorial)	28
Tabel 4.15	Suhu rata-rata aula (serbaguna)	28
Tabel 4.16	Luas dinding bangunan akademik	29
Tabel 4.17	Luas atap bangunan akademik	30
Tabel 4.18	Beban pendinginan ruang kuliah	30

Tabel 4.19	Beban pendingin ruang dosen besar	31
Tabel 4.20	Beban pendingin ruang dosen kecil	31
Tabel 4.21	Beban pendinginan kantor	32
Tabel 4.22	Beban pendinginan aula	32
Tabel 4.23	Beban pendinginan laboratorium	33
Tabel 4.24	Beban pendinginan ruang komputer	33
Tabel 4.25	Beban pendinginan aula	34
Tabel 4.26	Beban pendinginan	34
Tabel 4.27	Beban pendinginan ruang pegawai	35
Tabel 4.28	Beban pendinginan ruang diskusi (tutorial)	35
Tabel 4.29	Beban pendingin ruang diskusi	36
Tabel 4.30	Hasil analisis beban pendingin dan kehilangan panas	38

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Menara pendingin

7

DAFTAR NOTASI

A	Luas (Area)
BF	Bypass factor
CLF	Cooling Load Factor
CLTD	Cooling Load Temperature Differential
DBT	Dry Bulb Temperature
N	Jumlah pemakai
Q	Heat flux
Q_L	Panas latent
Q_s	Panas sensibel
RH	Kelembaban relatif (Relative Humidity)
SHR	Sensible Heat Ratio
SHGF	Sensible Heat Gain Factor
t	Suhu (Temperature)
U	Koefesien perpindahan panas total
WBT	Wet Bulb Temperature
ω	Kelembaban (humidyty)

BAB I

PENDAHULUAN



Sistem pendingin yang saya analisis adalah difokuskan pada masalah faktor-faktor perpindahan panas. Mesin pendingin ialah sebuah mesin yang dapat memberikan suhu udara yang lebih rendah dibanding suhu udara sekitarnya untuk memberi kenyamanan kepada kita maupun kepada barang-barang yang akan didinginkan. Pada dasarnya suhu nyaman pada sesuatu ruang di Indonesia berada pada keadaan 20°C - 24°C . Untuk mencapai kepada suhu ini maka diperlukan sebuah mesin yang mampu mendinginkan ruang atau tempat tersebut.

Bagi sebuah alat pendingin banyak faktor-faktor yang mempengaruhi sistem ini untuk mencapai kepada efisiensi yang maksimum, masalah inilah yang akan dianalisis. Sasaran atau target penelitian ini adalah untuk mencari beban yang ditanggung oleh alat pendingin dan membandingkan hasilnya dengan nilai spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya.

1.1 Sejarah Pendingin

Sistem pendingin udara dikembangkan dari sistem pembersihan udara, pemanasan dan penalaran udara. Leonardo Da Vinci telah membuat kipas aliran udara pada akhir abad ke-15. Kemudian Boyle pada tahun 1659 dan Dalton pada abad ke-18.

W.H Carrier juga dikenali sebagai Bapak sistem pendingin. Beliau telah menghasilkan formula untuk mengoptimumkan penggunaan kipas isap dan tekan (Force-draft fan) dan Beliau telah membuat sebuah laboratorium penelitian untuk tujuan analisis dan pembuatan sistem pendingin. Beliau telah menganalisis 1 tahun dan menghasilkan bagaimana sistem pendinginan berfungsi. Dalam kajian beliau, dimana beliau telah membuat 4 penelitian utama pada sebuah alat pendingin, yang diklasifikasikan kepada:

- i. Pemanasan
- ii. Pendinginan
- iii. Kondensasi
- iv. Kelembaban

Pada tahun 1911, Carrier telah mempresentasikan tulisannya tentang Formula Psikometrik (Rasional Pscyometric Formula) yang berhubungan dengan suhu udara kering, suhu udara basah, suhu titik pengembunan untuk udara (dew point temperature), menetapkan suhu, suhu spesifik dan jumlah panas yang dihasilkan dan telah memperesentasikan tentang teori saturasi adiabatik.

Bahan kerja yang penting dalam sistem pendinginan ialah campuran 2 gas yang terdiri daripada udara kering dimana ia sendiri merupakan campuran daripada beberapa macam gas yang tetap dan selebihnya ialah uap air dimana ianya mungkin terbentuk dalam keadaan panas lanjut (superheated steam) atau uap saturasi (saturated vapor).

Seseorang mungkin akan bertanya adakah kelembapan air dapat didigolongkan sebagai bahan asli (pure material)?, dimana bahan asli ialah homogen dan konstan dalam komposisi kimia. Oleh itu campuran homogen dalam gas adalah bahan asli sehingga komponen dalamannya tidak bertukar di dalam fasa, seperti udara kering.

1.2 Objektif Penelitian

Tujuan penelitian ini dilaksanakan adalah untuk mendapatkan perbandingan diantara tenaga yang dihasilkan sistem pendingin yang digunakan untuk suatu bangunan akademik dengan beban pendingin dan juga kehilangan panas melalui pipa saluran. Adakah sistem pendingin yang digunakan mampu untuk menghasilkan tenaga yang mencukupi untuk ruang-ruang pada bangunan tersebut dengan beban pendinginan yang ada di dalam ruangan tersebut dan juga mampukah sistem pendingin tersebut memberikan tenaga yang optimum dengan keadaan kehilangan panas melalui sistem pemipaan?. Adakah sistem pendingin yang digunakan sudah mencukupi untuk menampung semua beban yang ada ataupun sistem pending yang lama ini perlu diganti dengan sistem pendingin yang baru?. Selain itu juga, penelitian ini juga untuk menentukan kelemahan-kelemahan yang ada pada sistem pendingin yang ada pada bangunan tersebut dan juga untuk mengetahui bagaimana untuk mengatur beroperasinya komponen-komponen sistem pendingin yang besar seperti menara air pendingin (cooling tower) dan juga rawatan air (water treatment) yang dilaksanakan.

1.3 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi kepada dua masalah pokok yang dominan terjadi pada sistem pendinginan yaitu:

- i. Beban pendinginan untuk satu bangunan akademik.
- ii. Kehilangan panas dari sistem perpipaan untuk satu bangunan akademik.

1.3.1 Beban Pendinginan

Beban pendinginan yang akan terjadi pada sistem pendinginan dapat digolongkan kepada:

- i. Sesuatu yang dapat memberikan perpindahan panas dari sistem ke sekitarnya.
- ii. Sesuatu yang mempunyai panas.
- iii. Reaksi diantara dingin dan panas, juga memberikan beban kepada sistem pendinginan

1.3.2 Kehilangan Panas Dari Sistem Perpipaan

Apakah kehilangan panas dari sistem perpipaan?

Sewaktu pengaliran udara dingin dari sumber menuju kepada saluran-saluran keluar udara dingin, di sini terjadi banyak rintangan kepada tenaga yang dihasilkan mesin pendingin. Tidak mungkin tenaga yang dihasilkan itu akan sama dengan tenaga yang akan keluar melalui saluran-saluran udara dingin. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga ini. Masalah inilah yang akan dianalisis untuk penelitian ini.

1.4 Pernyataan Masalah

- i. Sistem pendinginan untuk satu bangunan akademik ini mempunyai 2 sistem pendingin yaitu sistem pendingin terpusat (centralized) dan sistem pendingin tunggal (single cooling), ini akan memberikan masalah kepada analisis yang akan dilaksanakan.
- ii. Batasan eksperimen ini mempunyai 2 bagian, maka pada analisis bagian yang pertama bagian kedua akan di jadikan konstan terlebih dahulu, pendataan akan dilaksanakan dan begitu juga yang dilaksanakan sewaktu melakukan yang kedua maka bagian pertama haruslah dijadikan konstan terlebih dahulu agar penelitian ini dapat dijalankan.

- iii. Pengukuran terhadap setiap ruangan haruslah dilaksanakan untuk memastikan segala data yang diperolehi baik dan tepat
- iv. Perbandingan dilaksanakan dengan cara mendapatkan data secara teoritikal dan dibandingkan dengan data yang telah ada atau spesifikasi yang disediakan pada sistem pendinginan tersebut.
- v. Analisis untuk kehilangan panas (Heat Losses) yang berhubungan kepada pemasangan pada sistem perpipaan haruslah merujuk kepada yang standar yang yang terperinci dan lengkap.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendinginan

Sistem pendinginan terdiri dari 4 bagian utama yaitu:

- i. Penguap (Evaporator)
- ii. Pemampat (Compressor)
- iii. Katup pengembang (expansion valve)
- iv. Pengembun (Condenser)

2.1.1 Penguap

Terdapat 3 jenis penguap:

- i. Penguap dengan fluida kerja udara
- ii. Penguap dengan fluida kerja air
- iii. Penguap dengan pengembangan

2.1.2 Pengembun

Pengembun khususnya dikelaskan sebagai pengembangan terus (direct-expansion)

- i. Pengembun pendinginan terus.
- ii. Siklus pengembun pendinginan terus untuk udara dengan pemanasan.
- iii. Siklus pengembunan terus untuk pengembangan pemanasan alamiah pendingin.
- iv. Siklus pengembunan yang terbenam di dalam tangki air asin

2.1.3 Pemampat

Pemampat mekanikal, secara dasarnya, terdapat 2 yaitu:

1. Mesin perubahan positif;
 - Pemampat gerakan lurus (Reciprocating compressor)
 - Pemampat jenis pusingan
 - Pemampat ulir.

2. Mesin perubahan bukan positif;
 - Pemampat sentrifugal.

2.1.4 Peralatan Pengembangan

Terdapat 2 jenis peralatan pengembangan yaitu:

- i. Jenis pembatasan berubah.
- ii. Jenis pembatasan kandungan.

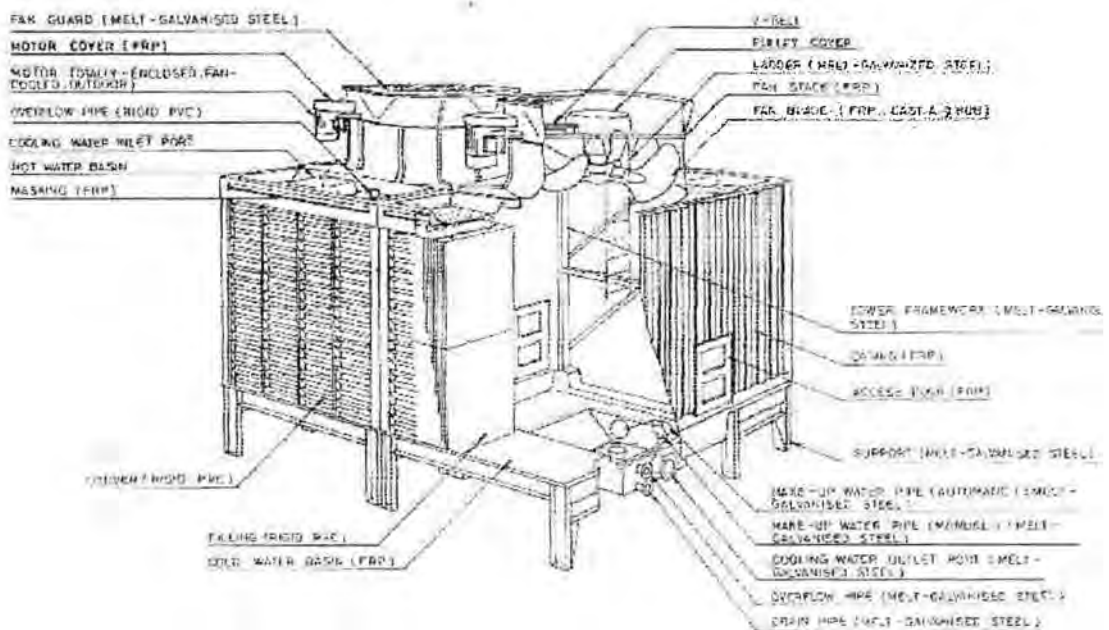
2.2 Jenis Bahan Pendingin

1. Organik
 - Ammonia (NH_3)
 - Air (H_2O)
 - Karbon Dioksida (CO_2)
2. Bukan Organik
 - Chcloro Carbon Fluoride, CCF 11 (CCl_3F_3)
 - Chcloro Fluoro Carbon ,CFC 12 (CCl_2F_2)
 - Hidro Chcloro Fluoride, HCF 22 (CHClF_2)

2.3 Menara Pendingin

Menara pendingin terdiri daripada 4 komponen penting iaitu:-

- Ⓒ Badan menara
- Ⓒ Kipas
- Ⓒ Saluran air
- Ⓒ Pengisian dalam



Gambar 2.1: Menara Pendingin

2.4 Jenis-Jenis Sistem Pendingin

Jenis-jenis sistem pendingin ialah:

- i. Sistem pendingin tunggal (single)
- ii. Sistem pendingin pusat (centralized)
- iii. Sistem pendingin gabungan (combined)

2.5 Masalah-masalah penting di dalam analisis:

Masalah-masalah penting di dalam analisis ialah:

- i. Suhu sensibel (Sensible temperature)
- ii. Suhu udara kering (Dry bulb)
- iii. Panas spesifik baha pendingin (Latent heat)
- iv. Suhu udara basah (Wet bulb)
- v. Kapasitas
- vi. Syarat-syarat nilai untuk rancangbangun
- vii. Beban Pendinginan (Cooling load)



2.5.1 Suhu Sensibel (Sensible Temperature)

Suhu sensibel ialah kenaikan suhu yang diukur akibat daripada kenaikan suhu yang terjadi secara langsung pada suatu ruangan. Pengukuran kenaikan suhu ini contohnya peningkatan suhu yang terjadi apabila lampu dipasang. Kenaikan suhu yang berlaku ini disebut suhu sensibel.

2.5.2 Suhu Udara Kering

Di dalam alam nyata kita tidak mungkin dapat mengukur suhu udara kering secara tepat kerana di dalam udara pasti mengandungi uap air kerana adanya kelembapan relatif (relative humidity). Tetapi udara ini boleh dinyatakan dalam bentuk perbandingan. Contohnya suhu udara kering diukur dengan termometer 22°C dan kelembapan relatif 65% maka di dalam udara tersebut mempunyai 65% udara kering dan 35% udara basah.

2.5.3 Panas Spesifik Pendingin

Panas yang dikandung oleh sesuatu benda atau objek meskipun tiada pancaran atau panas yang diberikan. Contohnya pada dinding di waktu malam. Tiada pancaran matahari tetapi di dalamnya masih mengandungi panas. Panas ini bergantung kepada material yang digunakan dan juga warna objek.

2.5.4 Suhu Udara Basah

Suhu ini tidak boleh diukur secara langsung dengan menggunakan termometer. Suhu ini biasanya diukur dengan menggunakan grafik psikometrik dan ini adalah perbandingan antara udara kering dan uap air. Dengan menggunakan alat pengukur suhu yang digunakan pada penelitian ini, pengukuran dilaksanakan dengan mengukur suhu udara kering dan perbandingan kelembapan dan kemudian menggunakan grafik psikometrik untuk menentukan suhu udara basah.

2.5.5 Kapasitas

Kapasitas atau muatan ialah nilai beban ataupun barangan yang ada di dalam ruangan atau bangunan yang membebani sistem pendinginan tersebut. Kapasitas inilah yang dipsebut beban pendinginan (Cooling Load).

2.5.6 Syarat-Syarat Nilai untuk Rancangbangun

Nilai-nilai standar yang menjadi rujukan para penanalisis sistem pendingin dalam merancangbangun sebuah sistem pendingin , nilai perpindahan panas suatu material secara konduksi, contohnya kayu, asbestos ataupun beton. Nilai ini adalah standar dan ianya boleh dirujuk didalam banyak buku-buku rujukan sistem pendingin seperti ASHRAE HANBOOK 2001 ataupun buku-buku yang sistem pendingin yang lainnya.

2.5.7 Beban Pendinginan

Tanggungan ataupun beban ruangan yang didinginkan tersebut, sesuatu yang boleh menyerap panas dan melepaskan panas. Pelepasan panas dari suatu material dapat membebani beroperasinya sistem pendingin. Inilah yang dikatakan beban pendinginan suatu mesin pendingin.

2.6 Konsep Dasar

Keadaan bangunan akan menjadi bahan pertimbangan untuk mendapatkan beban pendinginan, yang diperhatikan untuk menentukan beban pendinginan adalah:

- Arah kedudukan bangunan
- Penggunaan ruangan
- Ukuran fisik ruangan
- Ketinggian atap
- Tiang dan dinding
- Bahan-bahan bangunan
- Keadaan sekitar bangunan
- Jendela, pintu dan tangga
- Manusia (kapasitas atau kepadatan, waktu berada dalam bangunan, kegiatan yang dilakukan)
- Pengcahayaan (W/m^2 , Jenis)
- Peralatan listrik (Watt, lokasi, penggunaan)
- Pengudaraan (kriteria, keperluan)
- Tempat penyimpan panas (jika ada)
- Penggunaan secara kontiniu atau tidak

2.7 Rawatan Air (Water treatment)

Untuk memastikan air berada dalam keadaan yang baik, rawatan air dapat dijadikan faktor utama untuk memasang sesuatu kondenser, tiga masalah utama rawatan air harus dilaksanakan serta perencanaan untuk menanggulangi bahan kimia dapat dilaksanakan seperti dalam tabel dibawah:

Tabel 2.1: Masalah dan bahan rawatan air

Masalah	Bahan kimia	Catatan
Penkerakan air	Phosphate compound	Acidic Water
Pencemaran air	Glossy Phosphates	Alkaline water
Tumbuhan dan lumut	Chlorine, Bromine	

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Beban Pendingin

Bagian-bagian yang dapat digolongkan kepada beban pendingin untuk suatu sistem pendingin udara dapat dirumuskan seperti berikut. Beban yang dapat dikelaskan sebagai beban ruangan. Beban pendingin inilah beban yang membebani beroperasinya sistem pendingin. Beban yang akan ditanggung oleh suatu sistem pendingin dapat diklasifikasikan kepada 2 yaitu:

- Panas sensibel (Sensible Heat)

- Pancaran sinar matahari dan perpindahan panas melalui dinding dan atap.
- Pancaran sinar matahari dan perpindahan panas melalui kaca.
- Pancaran sinar matahari melalui pemisah dinding, asbes dan lantai.
- Panas yang bersumber dari orang, cahaya lampu dan peralatan listrik.
- Tambahan panas untuk faktor keselamatan.
- Kebocoran yang terjadi pada sistem pendingin

- Panas Latent:

panas latent ialah panas yang diserap pada perubahan fasa, pada perubahan fasa ini tidak terjadi kenaikan temperatur dari material yang mengalami perubahan fasatersebut.

3.2 Sistem Pendinginan

Perpindahan panas dalam kondenser air dingin:

$$\dot{Q}_k = UA \Delta t = \frac{\Delta t}{R} \quad (3.1)$$

dimana:

U = koefisien perpindahan panas total.

A = luasan permukaan kondenser.

Δt = Beda suhu.

R = Tahanan termal

Tabel 3.1: Jumlah ruangan yang tersedia pada suatu bangunan akademik yang akan diteliti

Lantai	Ruang Kuliah	Aula	Ruang Rapat	Ruang Dosen	Kantor	Perpustakaan	Lab.	Kantor Fakultas
Pertama	1	1	0	0	6	0	6	0
Kedua	0	0	3	3	10	0	2	2
Ketiga	12	0	0	8	0	1	0	0
Keempat	0	1	1	9	0	0	4	0

3.3 Perpindahan Panas

Rumus perpindahan panas adalah:

$$q = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.2)$$

dimana:

q = fluks panas (W/m^2)

A = Luas (m^2)

T = temperatur (K)

x = jarak (m)

\dot{Q} = kapasitas panas (W) dan

$$\dot{Q} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.3)$$

dimana:

k = konstanta perpindahan panas konduksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

A = Luas

Unit tenaga yang lazim digunakan untuk suatu sistem pendinginan adalah tenaga kuda

(HP) per ton bahan pendingin (refrigerant) ditentukan dengan :

$$\frac{\text{HP}}{\text{TR}} = \frac{\dot{W}}{0.746 \dot{Q}_o} (35167) \quad (3.4)$$

dimana:

\dot{Q}_o = Kapasitas pendinginan (kW) ,

3.4 Faktor Beban Pendinginan

3.4.1 Mekanisme kehilangan panas dari badan manusia

Suhu badan manusia dapat ditetapkan dalam 36.9°C untuk kulit permukaan luar atau permukaan atau kulit. Pada dalam tubuh manusia ialah 37.2°C . Suhu badan ketika pagi sesudah tidur yaitu 0.5°C kurang daripada suhu waktu tengah hari. Pada suhu 40.5°C adalah dianggap serius dan 43.5°C pasti membawa bahaya kepada manusia kepada manusia. Perpindahan panas badan kepada lingkungannya terutama melalui konveksi (C), pancaran (R) , dan penguapan lembaban (E) , Jumlah kehilangan panas dari badan adalah:

$$Q_s = (C + R) + E \quad (3.5)$$

Formula di atas mempunyai dua komponen kehilangan panas: bentuk (C+R) komponen haba Q_s , dan jenis E ialah komponen haba pendam Q_L .

3.4.2 Perpindahan panas melalui kaca

Pancaran matahari dan penyebaran panas pada permukaan kaca (r), yang kena pancaran cahaya matahari, pantulan (l) dan penyerapan (a) adalah:

$$l + r + a = 1 \quad (3.6)$$

Pancaran yang terus masuk ke ruangan jika permukaan ruangan adalah kaca, penyebaran pancaran cahaya matahari yang masuk ke dalam ruang jika kaca tidak menghadap ke sinaran matahari. Penyerapan pancaran cahaya matahari akan meningkatkan suhu kaca, dan kemudian kaca menyebarkan sebahagian panas keluar dan sebahagian ke dalam ruangan. Jadi, fluks panas yang masuk ke ruangan adalah:

$$Q = A_{Sun} \tau_D I_D + A \tau_d I_d + f_i A (t_g - t_i) \quad (3.7)$$

Di mana f_i efisiensi film perpindahan panas pada permukaan kaca, nilai subscrib D adalah menyatakan pancaran langsung cahaya matahari dan d adalah mewakili bentuk untuk langsung dan penyebaran pancaran masing-masing, A_{Sun} ialah luas kaca yang menerima pancaran sinar matahari, a jumlah kaca dan keseimbangan tenaga lapisan kaca adalah:

$$A_{Sun} a_D I_D + A a_D I_D = \{f_i (t_g - t_i) + f_o (t_g - t_o)\} \quad (3.9)$$

dimana f_o adalah efisiensi film perpindahan panas permukaan dalam untuk penghapusan t_g diantara dua suku pada persamaan diatas, persamaan diatas menjadi:

$$Q = A_{Sun} \tau_D I_D + A \tau_d I_d + A_{Sun} a_D I_D + A a_D I_D / 1 + \frac{f_o}{f_i} + UA (t_o - t_i) \quad (3.10)$$

dimana U adalah koefisien perpindahan panas total dan diberikan:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_o} \quad (3.11)$$

Jika konduktivitas termal material diperhitungkan maka:

$$\Delta x \frac{1}{U} = \frac{1}{f_i} + \frac{\Delta x}{k_g} + \frac{1}{f_o} \quad (3.12)$$

dimana Δx ialah ketebalan kaca dan k_g konduktivitas termal material

3.4.3 Perpindahan panas melalui dinding dan Atap

Perpindahan panas melalui dinding dan atap dari struktur bangunan adalah tidak stabil.

Oleh itu sukar untuk ditentukan, dua faktor utama yang menyebabkan terjadinya masalah ini:

1. Perbedaan suhu udara luar dalam tempoh 24 jam.
2. Perbedaan intensitas pancaran cahaya matahari pada permukaan dalam selama 24 jam.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{i}{h_i} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \sum_1^n \frac{x}{k} \quad (3.13)$$

dimana:

h_o = Koefesien perpindahan panas pada bagian luar

h_i = Koefesien perpindahan panas pada bagian dalam

$\sum_1^n \frac{x}{k}$ = Jumlah tahanan termal untuk bahan-bahan yang digunakan

3.4.4 Beban Pendinginan untuk Peralatan listrik

Kipas listrik, lampu semua yang menghasilkan panas dan ianya memberi beban kepada mesin pendingin. Salah satu daripada peralatan listrik yang banyak menghasilkan panas ialah lampu, secara teoritikal ianya dapat ditentukan:

$$Q = kW \times 860 \times \text{faktor penggunaan} \quad (3.14)$$

Nilai untuk faktor penggunaan biasanya = 1

$$Q = \frac{HP}{\eta_m} \times \text{faktor beban} \times 632 \text{ kcal/hr} \quad (3.15)$$

Dimana:

$$\eta_m = \text{efisiensi motor}$$

3.5 Kehilangan Panas

Kehilangan panas melalui pipa aliran udara ialah kehilangan panas yang terjadi di dalam pipa sewaktu proses penghantaran udara dingin menuju kepada saluran keluar pendingin. Adakah 380000 Btu/hr yang dihantar dan yang keluar sama dengan menyamai 380,000 Btu/hr? Inilah yang diteliti dan apa yang menyebabkan kehilangan tadi. Adakah disebabkan panjang pada pipa?, bentuk pipa?, atau sistem isolasi pada pipa?.

Perhitungan untuk kehilangan panas adalah melibatkan sistem perpipaan daripada ruang AHU (Air Handling Unit) ke ruang-ruang yang dibekalkan peralatan pendingin. Di dalam sebuah sistem pendingin, peralatan yang memainkan peranan dalam mengurangkan kehilangan panas ini ialah kipas yang akan menolak udara yang dingin tadi sehingga mencapai nilai kehilangan panas yang minimum. Dalam perhitungan kehilangan panas saluran penghantar memainkan peranan yang sangat penting. Duct ataupun ruang penghantaran bagi udara pendinginan untuk bangunan akademik ini dirancang khusus untuk meminimkan kehilangan panas pada sistem perpipaan. Semakin jauh ruang yang didinginkan dari ruang AHU maka ukuran pipa akan mengecil dengan dibantu oleh kecepatan kipas yang akan menghantar bekalan udara dingin secepat mungkin. Apa yang perlu diketahui dalam mencari penyelesaian untuk perhitungan kehilangan panas ini ialah:

- i. Bentuk pengaliran udara yang digunakan
- ii. Panjang sistem perpipaan daripada ruang AHU ke ruang yang didinginkan
- iii. Ukurang potongan saluran daripada satu ruang ke ruang yang lain

- iv. Kecepatan kipas yang digunakan yang berfungsi sebagai alat bantu untuk penghantaran udara dingin ke setiap ruangan.

3.5.1 Perpipaan

Pengelasan tidak diperlukan untuk menyambungkan sistem perpipaan pada unit kondenser. Sambungan kondenser adalah menurut standar yang telah ditetapkan, penyambungan pipa digunakan pita Teflon pad sekeliling paip untuk memastikan sambungan adalah ketat. Pemisahan air dingin pada unit pendingin udara adalah didinginkan dengan menggunakan bahan refrigerant R-22, kebocoran diperiksa. Penhisapan dan saluran udara perlu disesuaikan dan bergantung kepada rancangbangun dan saluran isap harus diisolasi bagi mengelakkan penguapan. Saluran pipa perlu diukur pada ukuran yang sama atau lebih besar dari pipa yang disediakan. Pemisahan air dingin unit pendingin udara yang biasa dirancah adalah untuk ukuran panjang paip diantara 30-50 ft.

3.5.2 Kehilangan Panas melalui saluran udara dingin (Duct)

Bekalan udara dingin biasanya, mempunyai suhu diantara 10°C hingga 15°C. Saluran ini akan melalui saluran yang mempunyai ruang suhu sekitar 40°C. Keputusan bagi kehilangan panas akan terjadi sehingga udara sampai di ruang saluran yang diisolasi. Kehilangan haba boleh dikira dengan menggunakan rumus berikut: .

$$Q = U A (t_a - t_s) \quad (3.16)$$

Dimana:

U = Koefesien perpindahan panas total

A = Luas sistem aliran udara dingin yang bersentuhan dengan udara sekeliling

$t_a - t_s =$ Perbedaan Suhu udara dingin dengan udara sekeliling

3.5.3 Pertambahan Panas Di Dalam Ruang Aliran

$$Q = A_o + U \left(T_s - \frac{T_i + T_o}{2} \right) \quad (3.17)$$

dimana:

$A_o =$ Luas ruang aliran udara (Duct)

$U =$ Koefesien perpindahan panas total

$T_s =$ Suhu udara sekeliling

$T_i =$ Suhu udara masuk ke ruang aliran

$T_o =$ Suhu udara udara keluar ruang aliran

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Dalam bab ini, analisis dan pembahasan adalah berdasarkan kepada data yang didapati sewaktu melaksanakan penelitian. Hasil analisis penelitian yang didapati dicatat kedalam tabel-tabel yang akan dilampirkan dalam lampiran.

4.2 Beban Pendinginan

Batasan analisis untuk beban pendinginan meliputi 3 aspek utama:-

- Pancaran sinar matahari
- Panas yang diberikan oleh badan manusia
- Panas yang diberikan oleh peralatan listrik yang tersedia pada ruangan yang didinginkan

Tabel 4.1: Tenaga yang diberikan untuk masing-masing ruangan

Ruang	Tenaga diberikan
Theatre A	380,000 Btu/hr
Laboratorium	2 x 25.100 Btu/hr
Ruang Rapat	2 x 20.000 Btu/hr
Ruang Kuliah	50.600 Btu/hr
Ruang Dosen	20.000 dan 12.800 Btu/hr
Aula	200.000 Btu/hr
Ruang Diskusi (Tutorial)	50.600 Btu/hr
Laboratorium Komputer	19.300 Btu/hr
Kantor	2 x 25.100 Btu/hr
Ruang Pegawai	12.800 Btu/hr
Kantor Laboratorium	12.800 Btu/hr

4.3 Perhitungan untuk Beban Pendinginan

4.3.1 Manusia

Panas sensibel

$$\begin{aligned} Q_s &= q_s \times N \times CLF \\ &= 240 \times 25 \times 1 \\ &= 24000 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Panas laten

$$\begin{aligned} Q_L &= q_L \times N \\ &= 160 \times 25 \\ &= 16000 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Tabel 4.2: Panas yang diberikan oleh badan manusia

Kegiatan	Kadar Metabolisme Tubuh (J)	Panas Sensibel (20°C)	Panas Spesifik (20°C)	Panas Sensibel (22°C)	Panas Spesifik (22°C)
Duduk Istirahat	115	90	25	80	35
Kerja Kantor	140	100	40	90	50
Berdiri	150	105	45	95	55
Kerja Ringan	235	27,5	137,5	37,5	127,5

4.3.2 Lampu

Lampu fluorescent digunakan dalam setiap ruangan

Waktu rata-rata yang digunakan pada setiap harinya adalah 12 jam/hari

$$BF = 1.25 \quad CLF = 0.97$$

$$\begin{aligned} Q &= 3,4 \times w \times BF \times CLF \\ &= 3,4 \times 36 \times 1,25 \times 0,97 \\ &= 148,41 \text{ Btu/hr per lamp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= 40 \times 148.41 \\ &= 5936,4 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

4.3.3 Over Head Projector (OHP)/peralatan listrik

$$\begin{aligned} Q &= 3,4 \times 250 \\ &= 850 \text{ Btu / hr} \end{aligned}$$

4.3.4 Komputer (Peralatan listrik)

$$\begin{aligned} Q &= 3,4 \times 350 \\ &= 1190 \text{ Btu / hr} \end{aligned}$$

4.3.5 Pancaran Matahari melalui Medium Kaca

- Jendela pada arah Tenggara

$$SGHF = 65 \text{ Btu / hr sq ft}$$

$$\begin{aligned} A &= 4 \times (3'5'' \times 5'5'') + 2(1'6'' \times 5'3'') \\ A &= 89,778 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$CLF = 0,77$$

$$SC = 0,56$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{southwest}} &= SHGF \times A \times CLF \times SC \times 1,17 \\ &= 65 \times 89,778 \times 0,77 \times 0,56 \times 1,17 \\ &= 2944,068 \text{ Btu / hr} \end{aligned}$$

Ukuran jendela: 12 x 24 inci x 60.63 inci dan = 12 x 2ft x 5,0525ft

- Jendela pada arah Utara-Selatan

$$SGHF = 13 \text{ Btu / hr sq ft}$$

$$\begin{aligned} A &= (3'5'' \times 5'5'') \times 8 \\ &= 148,056 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$CLF = 0,19 \text{ dan } SC = 0,56$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{northwest}} &= SGHF \times A \times CLF \times SC \times 1,17 \\ &= 13 \times 148,056 \times 0,19 \times 0,56 \times 1,17 \\ &= 239,606 \text{ Btu / hr} \end{aligned}$$

4.3.6 Aliran Udara

$$\begin{aligned}
 Q_s &= 1,1 \times CFM \times (t_o - t_i) \\
 &= 1,1 \times (15 \times 100 + 0,25 \times 48 \times 38) \times (19) \\
 &= 40880,4 \text{ Btu / hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_L &= 0,68 \times CFM \times (W_o' - W_i') \\
 &= 0,68 \times (15 \times 100 + 0,25 \times 48 \times 38) \times (143 - 64) \\
 &= 105076,32 \text{ Btu / hr}
 \end{aligned}$$



4.3.7 Atap

Andaikan berat atap per kaki = 70 lb/sq ft

$$u = 0,19$$

$$ETD_{40} = 29,5$$

$$\Delta t_{em} = 29,5 - 7$$

$$\Delta t_{em} = 22,5$$

$$\Delta t_{es} = 12$$

$$R_g = 245 \text{ Btu / hr ft}$$

$$R_m = 233 \text{ Btu / hr ft}$$

$$\Delta t_e = \Delta t_{es} + \frac{R_g}{R_m} (\Delta t_{em} - \Delta t_{es})$$

$$\Delta t_e = 12 + \frac{245}{233} (22,5 - 12)$$

$$\Delta t_e = 23,04^\circ F$$

$$Q = u \cdot A \cdot \Delta T_e$$

$$Q = 0,19 \times (48 \times 38) \times 23,04$$

$$Q = 7984,7424 \text{ Btu / hr}$$

4.3.8 Dinding

Dinding pada arah pancaran matahari

Suhu standar di dalam ruang = 21 °C, RH = 58,5 %

Suhu lingkungan	= 31°C
Perbedaan Suhu	= 31 °C – 21 °C = 10 °C
Suhu maksimum	= 22,54 °C
Suhu minimum	= 21,0 °C
Range suhu harian	= 22,54°C - 21 °C = 1,54 °C

Tabel 4.3 : Nilai U untuk berbagai jenis material dinding

Material Dinding	Ketebalan (cm)	U (Kcal/m ² -hr-°C)
Brick (Plain)	20	2,45
	30	1,75
	40	1,35
Brick (Plaster in One side)	20	1,45
	30	1,15
	40	1,00
Concrete (plain)	15	3,85
	25	3,05
	40	2,35
Concrete (Plaster in One	20	2,55
	30	2,25
Cinder Block	20	1,90

$$ETD_{corr} = 7^{\circ}F$$

$$\Delta t_{zg} = 11^{\circ}F$$

$$R_g = 78 \text{ Btu/sq ft hr}$$

$$R_m = 125 \text{ Btu/sq ft hr}$$

$$\Delta t_{em} = (ETD_{40} - ETD_{corr})$$

$$\Delta t_{em} = 26,5 - 7$$

$$\Delta t_{em} = 19,5$$

$$\Delta t_e = \Delta t_{e8} + \frac{R_g}{R_m} (\Delta t_{em} - \Delta t_{e8})$$

$$\Delta t_e = 11 + \frac{79}{125} (19,5 - 11)$$

$$\Delta t_e = 16,372^\circ F$$

$$Q = u.A.\Delta T_e$$

$$Q = 0,31 \times [(48' \times 9') - 4(3'5'' \times 5'5'') - 2(1'6'' \times 5'3'') - 2(5'4'' \times 6'9'')] \times 16,372$$

$$Q = 0,31 \times [270,222] \times 16,372$$

$$Q = 1371,463 \text{ Btu/hr}$$

- Dinding yang terlindung pada pancaran matahari

$$\Delta t_{e8} = 11^\circ F$$

$$R_g = 141 \text{ Btu/hr ft}^2$$

$$R_m = 127 \text{ Btu/hr ft}^2$$

$$\Delta t_{e8} = 11,5 - 7$$

$$\Delta t_{e8} = 4,5$$

$$\Delta t_e = \Delta t_{e8} + \frac{R_g}{R_m} (\Delta t_{em} - \Delta t_{e8})$$

$$\Delta t_e = 11 + \frac{141}{127} (4,5 - 11)$$

$$\Delta t_e = 3,78^\circ F$$

$$Q = u.A.\Delta T_e$$

$$Q = 0,31 \times [(48' \times 9') - 8(3'5'' \times 5'5'')] \times 3,78$$

$$Q = 0,31 \times [283,444] \times 3,78$$

$$Q = 332,726 \text{ Btu/hr}$$

Tabel 4.4: Suhu rata-rata ruang kuliah

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,80	62,36%	0,0103	44,8
Matahari	22,10	59,68%	0,0098	45,3
Peralatan Listrik	22,68	53,18%	0,0088	47,2
Rata-rata	22,53		0,00963	45,77

Tabel 4.5: Suhu rata-rata ruang rapat

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	21,77	58,4%	0,0093	45,8
Matahari	-	-	-	-
Peralatan Listrik	21,93	61,37%	0,0096	44,1
Rata-rata	21,85		0,00945	44,95

Tabel 4.6: Suhu rata-rata kantor

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,3	59,6%	0,0098	45,3
Matahari	22,53	58,53%	0,0097	45,7
Peralatan Listrik	22,6	57,67%	0,0094	45,4
Rata-rata	22,48		0,00963	45,47

Tabel 4.7: Suhu ruang pegawai

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,77	57,83%	0,0096	46,1
Matahari	22,83	56,93%	0,0097	46,8
Peralatan Listrik	22,00	58,33%	0,0095	45,6
Rata-rata	22,53		0,0096	46,17

Tabel 4.8: Suhu ruang pegawai besar

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,53	57,83%	0,0092	46,0
Matahari	22,83	56,93%	0,0098	45,3
Peralatan Listrik	22,00	58,33%	0,0094	45,2
Rata-rata	22,45		0,00947	45,5

Tabel 4.9: Suhu rata-rata kantor laboratorium

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,23	57,53%	0,009	46,0
Matahari	-	-	-	-
Peralatan Listrik	22,1	58,37%	0,0092	45,8
Rata-rata	22,165		0,0091	45,9

Tabel 4.10: Suhu rata-rata ruang dosen ukuran besar

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	21,3	55,1%	0,0085	46,3
Matahari	21,2	54,67%	0,0080	46,0
Peralatan Listrik	21,9	55,67%	0,0090	45,8
Rata-rata	21,47		0,0085	46,03

Tabel 4.11: Suhu rata-rata ruang dosen ukuran kecil

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	21,83	68,27	0,0105	43,8
Matahari	22,72	65,67	0,0114	44,1
Peralatan Listrik	22,67	68,27	0,0110	43,0
Rata-rata	22,41		0,01097	43,63

Tabel 4.12: Suhu rata-rata Aula (theater A)

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,85	63,5%	0,0108	44,6
Matahari	22,46	56,38%	0,0095	46,25
Peralatan Listrik	22,726	64,204	0,0107	44,00
Rata-rata	22,6787		0,01033	44,95

Tabel 4.13: Suhu rata-rata Laboratorium

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,77	59,83%	0,010	44,9
Matahari	22,53	58,97%	0,0096	45,4
Peralatan Listrik	22,43	54,47%	0,0092	46,2
Rata-rata	22,58	57,76	0,0096	45,5

Tabel 4.14: Suhu rata-rata ruang diskusi (tutorial)

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,81	59,34%	0,097	45,2
Matahari	22,58	56,81%	0,0090	46,1
Peralatan Listrik	22,03	57,08%	0,0089	45,4
Rata-rata	22,47	57,74	0,0092	45,57

Tabel 4.15: Suhu rata-rata Aula (serbaguna)

Beban Pendingin	Suhu (°C)	RH (%)	ω	H
Manusia	22,30	61,86%	0,0105	44,5
Matahari	21,93	65,11%	0,0106	43,4
Peralatan Listrik	22,78	59,38%	0,0908	44,8
Rata-rata	22,34		0,0373	44,23

Tabel 4.16: Luas dinding bangunan akademik

Jenis Ruang	Lebar (ft)	Panjang (ft)	Tinggi (ft)	Area 1 (ft ²)	Area 2 (ft ²)	Σ Area (ft ²)
Ruang Dosen Besar	25,59	11,483	8,202	419,7784	94,184	513,962
Ruang Dosen Kecil	25,59	10,497	8,202	419,7784	86,096	505,875
Ruang Rapat	24,606	17,717	8,202	403,637	145,315	548,982
Kantor	24,606	20,997	8,202	403,637	172,217	575,854
Ruang Pegawai	10,827	12,467	8,202	177,606	102,254	279,86
Laboratorium	21,982	32,808	8,202	360,593	269,09	629,684
Kantor Lab.	13,123	9,425	8,202	107,635	77,3039	184,939
Aula	72,178	26,247	8,202	430,556	592,00	1022,559
Ruang Kuliah	26,247	26,2467	8,202	430,551	215,275	64.5,826
Aula (Theater A)	55,774	51,81	26,2467	2927,779	1359,84	4287,6205
Ruang Diskusi	26,247	26,2467	8,202	430,551	215,275	64.5,826
Ruang Komputer	21,982	32,808	8,202	360,593	269,091	629,684

Tabel 4.17: Luas atap bangunan akademik

Jenis Ruangan	Lebar (ft)	Panjang (ft)	Σ Area (ft ²)
Ruang Dosen Besar	25,59	11,483	293,845
Ruang Dosen Kecil	25,59	10,497	268,618
Ruang Rapat	24,606	17,717	435,94
Kantor	24,606	20,997	516,652
Ruang Pegawai	10,827	12,467	134,980
Laboratorium	21,982	32,808	721,185
Kantor Laboratorium	13,123	9,425	123,684
Aula	72,178	26,247	1894,456
Ruang Kuliah	26,2467	26,2467	688,88926
Ruang Komputer	21,982	32,808	721,185
Aula Theater A	55.77423	51.81	2889.662856
Ruang Diskusi	26,2467	26,2467	688,88926

Tabel 4.18: Beban pendinginan ruang kuliah

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	27	5.643,703Btu/hr
Jendela	121,26 ft ²	3998,774 Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	1.001,030Btu/hr
OHP	1	1.190,000 Btu/hr
Manusia	30	12.000,000 Btu/hr
Saluran Udara	$T_o = 27^\circ\text{C}$	25.884,530Btu/hr
	$T_i = 22,53^\circ\text{C}$	
	$\omega_o = 58$	
	$\omega_i = 45,77$	
Asbes	688,888 ft ²	654,445Btu/hr
Jumlah		50.032,482Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh Mesin Pendingin 50.600 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 50.032,428 Btu/hr, maka perencanaan benar.

Tabel 4.19: Beban pendinginan ruang dosen besar

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	6	915,195Btu/hr
Jendela	30,315 ft ²	1016,437 Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	796,641Btu/hr
Komputer	2	2.380,000Btu/hr
Manusia	2 orang	800,000Btu/hr
Saluran Udara	T _o = 27°C	27.819,406Btu/hr
	T _i = 21,47°C	
	ω _o = 58	
	ω _i = 46,03	
Asbes	293,85 ft ²	279,153Btu/hr
Jumlah		34.006,831Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 20.000 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 34.032.428 Btu/hr, maka perencanaan tidak memenuhi.

Tabel 4.20: Beban pendinginan ruang dosen kecil

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	4	610,130Btu/hr
Jendela	40,42 ft ²	999,694 Btu/hr
	3,44858 ft ²	
Dinding	3	784,106Btu/hr
Komputer	2	2.380,000btu/hr
Manusia	1	400,000Btu/hr
Saluran Udara	T _o = 27°C	13.799,580Btu/hr
	T _i = 22,41°C	
	ω _o = 58	
	ω _i = 55,05	
Asbes	268,618 ft ²	784,106Btu/hr
Jumlah		19.228,697Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 12.900 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 19.228,697 Btu/hr, maka perencanaan tidak memenuhi.

Tabel 4.21: Beban pendinginan kantor

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	9	1.372,793 Btu/hr
Jendela	101,05 ft ²	3.336,032 Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	892,574 Btu/hr
Komputer	2	2.380,000 Btu/hr
Manusia	5	2,000.000 Btu/hr
Saluran Udara	T _o =27°C	26.391,134 Btu/hr
	T _r = 22.48°C	
	ω _o = 58	
	ω _l = 45.47	
Asbes	516,652 ft ²	490,819 Btu/hr
Mesin Photo copy	1	1.190,000 Btu/hr
Jumlah		38.053,352 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 38.600 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 38.053,352 Btu/hr, maka perencanaan memenuhi.

Tabel 4.22: Beban pendinginan Aula

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	96	14.643,120 Btu/hr
Jendela	313,255 ft ²	10.294,820 Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	1.584,966 Btu/hr
Manusia	80	32.000,000 Btu/hr
Saluran Udara	T _o = 27°C	28.341,658 Btu/hr
	T _i = 22,34°C	
	ω _o = 58	
	ω _i = 44,23	
Asbes	1894,456 ft ²	1.799,733 Btu/hr
Jumlah		88.664,297 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 200.000 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 88.664,297 Btu/hr, maka perencanaan memenuhi.

Tabel 4.23: Beban pendinginan Laboratorium

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	36	5.491,170 Btu/hr
Jendela	242,52 ft ²	7,975.224 Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	976,010 Btu/hr
Manusia	30	12.000,000 Btu/hr
Saluran Udara	T _o = 27°C	24.539,976 Btu/hr
	T _i = 22,58°C	
	ω _o = 58	
	ω _i = 46,7	
Asbes	721,185 ft ²	685,126 Btu/hr
Jumlah		51.667,506 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 50.200 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 51.667,506 Btu/hr, maka perencanaan tidak memenuhi.

Tabel 4.24: Beban pendinginan ruang komputer

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	Panjang = 12	2330.39 Btu/hr
	Pendek = 24	
Jendela	90,945 ft ²	3,004.662Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	976.010 Btu/hr
Komputer	30	5,100.000 Btu/hr
Manusia	30	12,000.000 Btu/hr
Pengudaraan	T _o = 27°C	26,415.780 Btu/hr
	T _i = 22,45°C	
	ω _o = 58	
	ω _i = 45,5	
Asbes	721,185 ft ²	685.126 Btu/hr
Jumlah		50,011.967 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 50.200 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 50.011,967 Btu/hr, maka perencanaan memenuhi

Tabel 4.25: Beban pendinginan aula (Theater A)

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	177	26.998,253 Btu/hr
Jendela	178,476 ft ²	5.867,896 Btu/hr
	6,2677 ft ²	
Dinding	3	6.645,812 Btu/hr
Manusia	150	60.000,000 Btu/hr
Saluran Udara	T _o = 27°C	24.220,757 Btu/hr
	T _i = 22,852°C	
	ω _o = 58	
	ω _i = 46.5	
Asbes	2889,663 ft ²	2.745,180 Btu/hr
OHP	1	1.190,000 Btu/hr
Jumlah		127.667,897 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 538.00 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 127.667,897 Btu/hr, maka perencanaan memenuhi

Tabel 4.26: Beban pendinginan ruang rapat

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	18	2.745,585 Btu/hr
Jendela	-	-
Dinding	3	850,922 Btu/hr
Manusia	10	4.000,000 Btu/hr
Saluran Udara	T _o = 27°C	28.438,284 Btu/hr
	T _i = 21,85 C	
	ω _o = 58	
	ω _i = 44,95	
Siling	435,9445 ft ²	414,143 Btu/hr
Jumlah		36.448,934 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 40.000 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 36.448,934 Btu/hr, maka perencanaan memenuhi

Tabel 4.27: Beban pendinginan ruang pegawai

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	4	610,130 Btu/hr
Jendela	30,15 ft ²	1.016,436 Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	433,783 Btu/hr
Komputer	1	1.190,000 Btu/hr
Manusia	1	400,000 Btu/hr
Saluran Udara	$T_o = 27^{\circ}\text{C}$	13.607,892 Btu/hr
	$T_i = 22,53^{\circ}\text{C}$	
	$\omega_o = 58$	
	$\omega_i = 55$	
Asbes	134,980 ft ²	128,231 Btu/hr
Jumlah		17.386,472 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 12.800 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 17.386,472 Btu/hr, maka perencanaan tidak memenuhi

Tabel 4.28: Beban pendinginan ruang diskusi (Tutorial)

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendaflour	18	2.745,585 Btu/hr
Jendela	80,84 ft ²	2.673,291 Btu/hr
	13,79432 ft ²	
Dinding	3	1.001,030 Btu/hr
Manusia	30	12.000,000 Btu/hr
Saluran Udara	$T_o = 27^{\circ}\text{C}$	26.150,546 Btu/hr
	$T_i = 22,53^{\circ}\text{C}$	
	$\omega_o = 58$	
	$\omega_i = 45,57$	
Asbes	688,8893 ft ²	654,445 Btu/hr
Jumlah		45.224,897 Btu/hr

Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 50.100 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 45.224,897 Btu/hr, maka perencanaan memenuhi

Tabel 4.29: Beban pendinginan ruang diskusi (Tutorial)

Bahan	Unit	Panas Yang Dihasilkan
Lampu Pendafloor	4	610,130 Btu/hr
Jendela	-	-
Dinding	3	406,477 Btu/hr
Komputer	1	1.190,000 Btu/hr
Manusia	1	400,000 Btu/hr
Saluran Udara	$T_o = 27^\circ\text{C}$	13.036,544 Btu/hr
	$T_i = 22,165^\circ\text{C}$	
	$\omega_o = 58$	
	$\omega_i = 56,02$	
Asbes	$123,6843 \text{ ft}^2$	117,500 Btu/hr
Jumlah		15.760,651 Btu/hr



Tenaga yang diberikan oleh mesin pendingin 12.800 Btu/hr dan tenaga yang diperlukan sebesar 15.760,651 Btu/hr, maka perencanaan tidak memenuhi

4.4 Hasil analisis Kehilangan Panas di dalam Pipa

Kehilangan panas melalui saluran penghantar aliran udara (duct) untuk satu blok bangunan akademik terjadi pada dua ruang bangunan saja yaitu:

1. Aula (Theatrette A), menggunakan sistem pendinginan udara terpusat (Centralized unit) dan tenaga yang diberikan adalah sesuai untuk beban 380.000Btu/hr
2. Aula, menggunakan sistem penghawa dingin pusat (Centralized Unit), dan tenaga mesin pendingin adalah 200,000 Btu/hr

Contoh pengiraan kehilangan haba melauai salura penghantar (Duct)

Sebatang pipa stainless steel mempunyai nilai konduktivitas termal: $k = 21,63 \text{ W/m.K}$,

ukuran diameter dalam $D_i = 0.0254$ m, diameter luar $D_o = 0.0508$ m, disolasi dengan bahan asbestos dengan $k = 0.2453$ W/m.K, suhu dalam pipa $T_i = 311$ K, suhu luar pipa $T_o = 310.8$ K, panjang pipa = 20 m, suhu udara $T_i = 311$ K, dan Suhu udara keluar $T_o = 310.8$ K

$$r_1 = \frac{0.0254}{2} = 0,0127\text{m} \quad r_2 = \frac{.0508}{2} = 0,0254 \quad , \quad r_3 = 0,0508\text{m}$$

Luas untuk sebatang pipa,

$$A_1 = 2\pi L r_1 = 2\pi(20)(0.0127) = 1,596\text{m}^2$$

$$A_2 = 2\pi L r_2 = 2\pi(20)(0.0254) = 3,1919\text{m}^2$$

$$A_3 = 2\pi L r_3 = 2\pi(20)(0.0508) = 6,384\text{m}^2$$

Log luas untuk pipa stainless steel

$$A_{SS} = \frac{A_2 - A_1}{\ln(A_2 / A_1)} = \frac{3,1919 - 1,596}{\ln(3,1919 / 1,596)} = 2,3026\text{m}^2$$

Log luas untuk asbestos

$$A_{Abs} = \frac{A_3 - A_2}{\ln(A_3 / A_2)} = \frac{6,384 - 1,596}{\ln(6,384 / 1,596)} = 3,4538\text{m}^2$$

Tahanan termal pipa,

$$R_{SS} = \frac{r_2 - r_1}{k_A A_{SS}} = \frac{0,0127}{21,63(2,3026)} = 0,000255\text{K/W}$$

Tahanan termal asbestos,

$$R_{Abs} = \frac{r_3 - r_2}{k_B A_{Abs}} = \frac{0,0254}{0,2423(3,4538)} = 0,03035\text{K/W}$$

Laju perpindahan panas

$$q = \frac{T_1 - T_3}{R_A + R_B} = \frac{811 - 310.8}{0,000255 + 0,03035} = 14,988\text{ kW}$$

Tabel 4.30: Hasil analisis beban pendingin dan kehilangan panas

Tingkat Bawah	Luas (ft ²)	Beban Pendinginan (Btu/hr)	Kehilangan panas (Btu/hr)
Unit Lab. Operasi	367,45	-	-
Kantor Lab.	91,86	15.760,651	-
Lab. Termo.	275,59	51.667,506	-
Kantor Lab.	91,86	15.760,651	-
Sekitar Lab.	275,59	51.667,506	
Kantor Lab.	91,86	15.760,651	-
Lab. Mek. Fluida	367,45	-	-
Kantor Lab.	91,86	15.760,651	-
Lab. PCB	206,69	50.011,967	-
Kantor Lab.	91,86	15.760,651	-
Lab. Mek. Mesin	298,56	-	-
Pejabat Makmal	91,86	15.760,651	-
Kelas Tutorial	183,73	45.224,897	-
Aula/Theatrette A	725,07	127.667,897	16,344
Tingkat Pertama			
Ruang Kompresor	52,49	-	-
Laboratorium	275,59	51.667,506	-
Kantor Lab.	91,86	15.760,651	-
Lab. Elektro.	275,59	51.667,506	-
Kantor Lab.	91,86	15.760,651	-
Ruang Diskusi 1	183,73	45.224,897	-
Ruang Dekan	47,24	17.386,472	-
Ruang Pemb. Dekan	47,24	17.386,472	-
Kantor Fakultas	160,76	38.053,352	-
Ruang Pemb. Dekan	47,24	17.386,472	-
Ruang Pegawai 1	47,24	17.386,472	-
Ruang Pegawai 2	47,24	17.386,472	-
Kantor	160,76	38.053,352	-
Kantor Jurusan Elek.	47,24	17.386,472	-
Kantor Jurusan Mes.	47,24	17.386,472	-
Ruang Rapat 1	209,97	36.448,934	-
Ruang Rapat 2	209,97	36.448,934	-
Ruang Dosen 1	68,90	19.228,697	-
Ruang Dosen 2	68,90	19.228,697	-

Tingkat Kedua	Luas (ft ²)	Beban Pendinginan (Btu/hr)	Kehilangan panas (Btu/hr)
Ruang Kuliah 1	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 2	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 3	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 4	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 5	209,97	50.032,482	--
Ruang Kuliah 6	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 7	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 8	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 9	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 10	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 11	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 12	209,97	50.032,482	-
Ruang Dosen 3	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 4	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 5	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 6	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 7	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 8	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 9	68,90	19.228,697	-
Ruang Dosen 10	104,99	34.006,831	-
Tingkat Ketiga			
Ruang Dosen 11	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 12	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 13	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 14	68,90	19.228,697	-
Ruang Dosen 15	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 16	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 17	68,90	19.228,697	-
Ruang Dosen 18	104,99	34.006,831	-
Ruang Dosen 19	104,99	34.006,831	-
Ruang Diskusi 2	183,73	45.224,897	-
Ruang Diskusi 3	183,73	45.224,897	-
Lab. Digital	314,96	51.667,506	-
Ruang Kuliah 13	209,97	50.032,482	-
Ruang Kuliah 14	209,97	50.032,482	-
Ruang CPU	104,99	50.011,967	-
Aula Serbaguna	577,43	88.664,297	14.988KW

4.4 Pembahasan

Bangunan akademik ini dirancang dengan bermacam fasilitas diantaranya peralatan pendingin udara yang menggunakan sistem terpusat (Centralized) di mana ianya adalah teknologi modren dalam sistem pendinginan.

Batasan penelitian yaitu, beban pendinginan dan kehilangan panas melalui pipa, banyak faktor yang mempengaruhi untuk mendapatkan satu nilai yang tepat untuk dibandingkan dengan tenaga dari mesin pendingin yang bertujuan agar penelitian lebih baik.

Bagi beban pendingin banyak mengambil faktor-faktor yang digunakan atau diadaptasikan dari para peneliti sistem pendingin untuk mendapatkan nilai yang standar.

Perbandingan yang dilakukan ialah dengan cara mengkaji beban pendingin yang ditampung dan membandingkan dengan tenaga mesin pendingin untuk setiap ruang di Bangunan Akademik.

Kehilangan panas yang terjadi di dalam pipa tidak membuat banyak masalah kepada peralatan pendingin kerana semua kehilangan panas yang terjadi adalah kecil dibanding dengan tenaga mesin pendingin. Selain itu juga rancangan saluran penghantar udara dingin sangat sesuai dan dapat meminimumkan kehilangan panas yang terjadi.

Selain itu juga untuk satu blok bangunan akademik blok ini tidak semua laboratorium yang ada menggunakan sistem pendingin dan penelitian ini hanya tertumpu kepada ruang yang hanya mempunyai pengdinginan saja. Bagi penelitian terhadap kehilangan panas melauai pipa yang dilaksanakan, penelitian ini hanya tertumpu kepada dua ruang bangunan sahaja kerana hanya 2 ruang saja yang menggunakan sistem pendinginan terpusat, selebihnya semuanya menggunakan sistem pendinginan tunggal.

Daripada data penelitian ini dapat dilihat sebanyak 60 ruang yang diteliti, 31 buah ruang yang tenaga mesin pendingin tidak mencukupi untuk menampung beban kepada

pendinginan yang diharapkan. Hasil penelitian diperoleh kebanyakan masalah yang terjadi ialah pada ruang-ruang yang berukuran kecil iaitu ruang-ruang dosen dan juga ruang-ruang pegawai. Seharusnya masalah ini tidak terjadi kerana ruang-ruang ini merupakan ruang-ruang penting dalam sesebuah institusi pendidikan. Ruang-ruang yang mempunyai beban pendinginan kurang dari tenaga yang diberikan mesin pendingin, selisih antara keduanya adalah kecil dan hampir sama.

Ruang-ruang yang berukuran besar seperti aula serbaguna dan juga Theater A, tenaga yang diberikan mesin pendingin jauh berbeda dengan beban pendinginan yang dianalisis, perbedaaan ini besar dan ini merugikan pihak institusi kerana biaya operasionalnya tinggi. Theatre A tenaga mesin pendingin mencapai 380.000 Btu/hr dibanding beban pendinginan hanya 123.000 Btu/hr saja.

Beban terbesar pendinginan ialah faktor aliran udara, mencapai 75% daripada beban pendinginan. Ruang-ruang yang beban pendinginannya lebih besar dari tenaga mesin pendingin. Sistem pendinginan di Bangunan akademik yang diteliti ini menggunakan dua sistem iaitu:-

1. Sistem pendinginan tunggal (single)
2. Sistem pendinginann terpusat (centralized)

Setelah dilaksanakan penelitian ini maka diperoleh satu blok bangunan ini adalah satu pembaziran untuk penggunaan 2 sistem, kerana sudah mencukupi jika hanya sistem pendingin tunggal yang digunakan. Antara faktor-faktor yang tersebut ialah kompresor yang digunakan. Tangki air yang ada di bangunan akademik tersebut diletakkan dibawah blok bangunan. Kompresor mula bekerja (running) ia akan menyebabkan tenaga yang lebih diperlukan dan apabila keadaan ini terjadi terus-menerus menyebabkan kerusakan pada kompresor tersebut, Masalah lain ialah bagian pemeriksaan/perawatan dan operasional, kerana sistem pendinginana terpusat memerlukan sebuah reservoir untuk

mensirkulasikan air yang digunakan. Air yang digunakan ini perlu dirawat paling kurang 6 bulan sekali. Tangki air yang digunakan agar tidak berkarat, maka air yang digunakan perlu dirawat sebelum ianya digunakan. Sistem penyejukkkkan tunggal dimana bagian pemeriksaan/perawatan dan operasional tidak menghadapi masalah yang banyak kerana sistem ini sederhana dan mudah di perbaiki jika terjadi kerusakan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN



5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Penelitian telah dilaksanakan dan penggunaan 2 sistem pendinginan yang berbeda yaitu:

- Sistem pendinginan tunggal (single)
- Sistem pendinginan pusat (centralizad)

Sistem pendinginan tunggal digunakan pada 58 buah ruang, 31 ruangan dengan beban pendinginnya lebih kecil dari tenaga mesin pendingin. Kesimpulannya sistem pendinginan tunggal yang digunakan adalah tidak sesuai dari segi tenaga yang diberikan mesin pendingin, yang perlu dilakukan ialah perbaikan komponen-komponen ruangan yang menyebabkan beban pendingin yang besar haruslah dikurangi.

Sistem pendingin terpusat digunakan pada 2 ruang yaitu, aula(theater A) dan aula (ruang serbaguna). Kedua-dua ruang ini mempunyai ruangan yang besar. Penelitian yang dijalankan menghasilkan sistem pendinginan terpusat yang digunakan untuk kedua-dua ruangan ini tidak memberikan masalah kepada pemakai, kerana tenaga yang dihasilkan mesin pendingin 3 kali ganda berbanding beban pendinginan. Kesimpulannya sistem ini tidak mendatangkan masalah kepada pemakai tetapi dari faktor ekonomi akan menjadi satu pemborosan.,

Sistem pendinginan yang dirancang untuk satu bangunan akademik yang memakai sistem pendinginan tunggal dan terpusat, sistem yang digunakan adalah tidak sesuai dan tidak mempertimbangkan faktor ekonomi ataupun kenyamanan pemakai.

5.2 Saran

Penelitian terhadap sistem pendingin untuk bangunan akademik ini disarankan melaksanakan beberapa perbaikan untuk mengoptimalkan pemakaian sistem pendingin jenis terpusat. Penelitian akan lebih baik jika dilaksanakan beberapa saran-saran yaitu:

- Membuat penelitian tentang aliran udara keluar sistem pendingin di dalam masing-masing ruangan.
- Dengan menggunakan data yang telah diperoleh, lanjutan analisis dapat dilakukan ialah dengan melakukan langkah-langkah untuk meningkatkan efisiensi sistem pendinginan dengan jalan mengurangi beban yang ada pada setiap ruangan.
- Faktor-faktor lingkungan di sekitar bangunan akademik misalnya pohon-pohon perlu ditanam untuk mengurangi pancaran cahaya matahari secara langsung dan pengaliran udara panas masuk kedalam ruang-ruang.
- Mengoptimalkan sistem pendinginan yang bermasalah, perbaikan terhadap kondisi ruangan perlu dilakukan seperti menutupi ruang-ruang yang memakai jendela kaca, dan melancarkan aliran udara masuk dan keluar.

DAFTAR PUSTAKA

1. J.E. McDonald, A.M. Bruning, and W.R. Mahieu, "Cold load pickup," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-98, pp. 1384-1386, July/August 1979.
2. C.E. Hartay and C.J. Couy, "Diversity: A new problem in feeder pickup," *Electric Light and Power*, pp. 142-146, October 1952.
3. R.S. Smithley, "Normal relay settings handle cold load," *Electrical World*, pp. 52-54, June 15, 1959.
4. Oliver Ramsaur, "A new approach to cold load restoration," *Electrical World*, pp. 101-103, October 6, 1952.
5. W.W. Lang, M.D. Anderson, and D.R. Fannin, "An analytical method for quantifying the electrical space heating component of a cold load pick up," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-101, pp. 924-932, April 1982.
6. D.W. Butts, *Winter cold load pickup study*, Technical report, Planning Department - Illinois Power Company, Decatur, Illinois, Feb. 1979.
7. William H. Miller, Ali S. Serhal, and Emanuel Morris, "Cold load prediction in electrically heated homes," *Proceedings of the American Power Conference*, vol. 48, pp. 495-500. Chicago, Illinois Institute of Technology, April 16, 1986.
8. C.Y. Chong and A.S. Debs, "Statistical synthesis of power system functional load models," *Proc. IEEE Conf. Decision Control*, pp. 264-269, Fort Lauderdale, FL., 1979, session WP-4.

9. S. Ihara and F.C. Schweppe, "Physically based modeling of cold load pickup," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-100, pp. 4142-4150, September 1981.
10. C.Y. Chong and R.P. Malhamé, "Statistical synthesis of physically based load models with applications to cold load pickup," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-103, pp. 1612-1628, July 1984.
11. R. Malhamé, and C.Y. Chong, "Electric load model synthesis by diffusion approximation of a high-order hybrid-state stochastic system," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-30, pp. 854-860, September 1985.
12. R.E. Mortensen and K.P. Haggerty, "A stochastic computer model for heating and cooling loads," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, pp. 1213-1219, August 1988.
13. C. Alvarez, R. Malhamé, and A. Gabaldón, "A class of models for load management application and evaluation revisited," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 7, pp. 1435-1443, November 1992.
14. J.C. Laurent and R.P. Malhamé, "A physically-based computer model of aggregate electric water heating loads," Paper no. 93 SM 496-0 PWRs, IEEE PES Summer Meeting, Vancouver, B.C., Canada, 1993.
15. C.W. III Brice and S.K. Jones, *Physically-based load modeling*, Technical Report for DOE Contract EC 77-5-01-5057, Electrical Engineering Department, Texas A&M University, 1978.

16. T.M. Calloway and C.W. Brice, "Physically-based model of demand with applications to load management assessment and load forecasting," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-101, pp. 4625-4631, December 1982.
17. A. Pahwa, Physical Stochastic Modeling of Power System Loads: Modeling and System Identification of Residential Air Conditioning System, Ph.D. thesis, Texas A&M University, Dec. 1983.
18. A. Pahwa and C.W. Brice, "Modeling and system identification of residential air conditioning load," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-104, pp. 1418-1425, June 1985.
19. T. Roy, "A diffusion approximation approach to stochastic modeling of air conditioner type loads," Masters Thesis, Texas A&M University, 1981.
20. Irvin C. Schick, Patrick B. Usoro, Michael F. Ruane, and Fred C. Schweppe, "Modeling and weather-normalization of whole-house metered data for residential end-use load shape estimation," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 3, pp. 213-219, February 1998.
21. R.E. Mortensen and K.P. Haggerty, "Dynamics of heating and cooling loads: Models, simulation, and actual utility data," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, pp. 243-249, February 1990.
22. R.L. Wilde, "Effects of cold load pickup at the distribution substation transformer," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-104, pp. 704-710, March 1985.

23. J. Aubin, R. Bergeron and R. Morin, "Distribution transformer overloading capability under cold-load pickup conditions," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, pp. 1883-1891, November 1990.
24. M.L. Chan, G. Ackerman, et. al., "Simulation-based load synthesis methodology for evaluating load-management programs," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-100, pp. 1771-1778, April 1981.
25. M.N. Nehrir, P.S. Dolan, V. Gerez, and W.J. Jameson, "Development and validation of a physically-based computer model for predicting winter electric heating loads," Paper No. 94 WM 228-7 PWRS, IEEE PES Winter Meeting, New York, NY, 1994.
26. D. Athow and J. Law, "Development and applications of a random variable model for cold pickup," Paper No. 94 WM 073-7 PWRD, IEEE PES Winter Meeting, New York, NY, 1994.