

Makalah Seminar Tugas Akhir
SOFTWARE PERHITUNGAN
KAPASITAS SISTEM PENYEJUK UDARA
DALAM RANGKA KONSERVASI ENERGI TATA UDARA PADA BANGUNAN GEDUNG
Sendi Surya Raharja - L2F 001 640
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak - Energi listrik merupakan kebutuhan pokok manusia. Semakin bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya aktifitas manusia, kebutuhan energi listrik akan semakin besar. Oleh karena itu dipandang perlu untuk menggunakan energi listrik seefisien mungkin. Energi listrik dapat diibaratkan dengan uang, pemakaiannya haruslah bijaksana, produktif, dan efisien.

Salah satu cara dalam efisiensi pemakaian energi listrik adalah dengan mengoptimalkan penggunaan sistem penyejuk udara ruangan. Untuk mendapatkan pengoperasian sistem penyejuk udara yang efisien tanpa harus mengorbankan aspek kenyamanan, maka diperlukan suatu analisa perhitungan yang detail guna mendapatkan efisiensi energi dan nilai ekonomis, dengan meminimalisasi besar kapasitas sistem penyejuk udara tersebut sesuai dengan kebutuhan.

Software perencanaan sistem penyejuk udara dapat menghasilkan prakiraan kebutuhan kapasitas penyejuk udara yang dibutuhkan.

Kata Kunci : Penghematan Energi, Ekonomis, Efisien, Kenyamanan

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini energi merupakan kebutuhan manusia yang paling pokok. Kebutuhan manusia terhadap ketersediaan energi listrik sangatlah besar, sehingga pemakaiannya haruslah bijaksana, produktif dan efisien. Kita semua menyadari bahwa sumber energi yang kita pakai cadangannya terbatas, bahkan untuk sumber energi dari minyak bumi dan gas alam, disamping cadangannya terbatas juga tidak dapat diperbaharui.

Dalam sebuah bangunan gedung, prosentase konsumsi energi listrik yang terbesar adalah pada sistem penyejuk udara (*air conditioning*), oleh karena itu salah satu cara untuk mengelola konsumsi energi sehemat mungkin adalah dengan mengoperasikan sistem tata udara se-efisien mungkin. Tetapi perlu diperhatikan bahwa penghematan pengoperasian sistem penyejuk udara yang dilakukan jangan sampai mengurangi kenyamanan ruangan, karena kondisi lingkungan yang nyaman dapat meningkatkan produktivitas kerja penghuninya.

Untuk mendapatkan pengoperasian sistem tata udara yang efisien tanpa harus mengorbankan kenyamanan ruangan (gedung), maka diperlukan suatu analisa perhitungan yang detail guna mendapatkan efisiensi energi dan ekonomis, dengan meminimalisasi besar kapasitas sistem penyejuk udara tersebut sesuai dengan kebutuhan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah untuk melakukan studi analisis perencanaan sistem penyejuk udara (*air conditioning*) pada bangunan gedung, guna memperoleh efisiensi

energi. Studi dilakukan pada segi teknis, sehingga di akhir pelaksanaan Tugas Akhir ini didapatkan kesimpulan yang tepat untuk pemasangan sistem penyejuk udara yang efisien.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Pengambilan data dan studi analisis dilakukan secara global, dengan mengambil contoh perhitungan pada Gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang.
2. Data yang dijadikan perhitungan merupakan data hasil survey yang dilakukan pada bulan Juli s/d September 2005.
3. Dalam laporan ini, hanya akan dibahas tentang analisa perhitungan besar beban kalor ruangan, beserta hal teknis yang terlibat di dalamnya, analisa kelembaban ruangan, dan analisa perhitungan faktor daya sistem.
4. Program bantu untuk melakukan analisa menggunakan software *Microsoft Excel* dan *Borland Delphi 7*.

II. TEORI DASAR

2.1 Definisi Penyejukan Udara

Penyejukan udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Selain itu, mengatur aliran udara dan kebersihannya.

Sistem penyejukan udara pada umumnya dibagi menjadi dua golongan utama, yaitu :

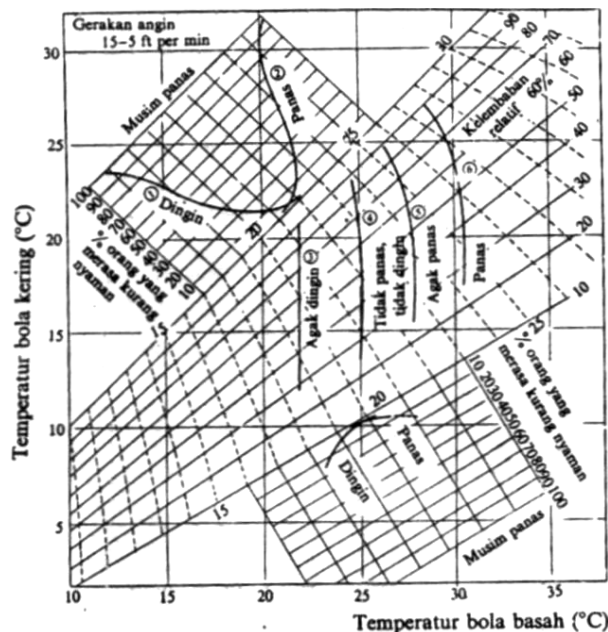
1. Penyebaran udara untuk kenyamanan
Menyebarkan udara dari ruangan untuk memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang melakukan kegiatan tertentu.
2. Penyebaran udara untuk industri
Menyebarkan udara dari ruangan karena diperlukan proses, bahan, peralatan atau barang yang ada di dalamnya.

2.2 Pengertian tentang Kenyamanan

Jika seseorang berada di dalam suatu ruangan tertutup untuk jangka waktu yang lama, maka pada suatu saat ia akan merasa kurang nyaman. Rasa nyaman atau disebut dengan kenyamanan termal dipengaruhi oleh banyak faktor sebagai berikut :

1. Kondisi fisik seseorang, yaitu gemuk atau kurus seseorang serta kebiasaan sehari-hari seseorang terhadap lingkungan dingin, sejuk, maupun panas.
2. Pakaian yang digunakan tipis, sedang, atau pakaian lengkap mempengaruhi rasa nyaman terhadap lingkungan.
3. Aktifitas yang dilakukan seseorang dalam ruangan. Aktivitas berat memerlukan rasa nyaman yang berbeda dengan aktivitas biasa.

Rasa nyaman di samping faktor-faktor tersebut di atas sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban udara di dalam ruangan. Rasa nyaman dapat diperoleh apabila suhu berkisar antara 75°F atau sekitar 23°C pada kelembaban 50% sampai 78°F atau sekitar 26°C pada kelembaban 70%, nilai diatas merupakan rekomendasi dari *ASHRAE Handbook of Fundamentals*.



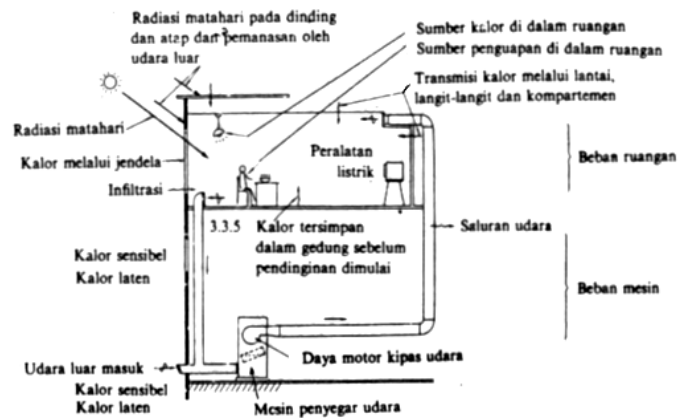
Gambar 2.1 Diagram Temperatur Efektif (TE) untuk udara nyaman

Rekomendasi dari Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001, menyebutkan bahwa daerah kenyamanan suhu untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi :

1. Sejuk, antara temperatur efektif 20,5°C-22,8°C dan RH 40 % – 60 %.
2. Nyaman, antara temperatur efektif 22,8°C-25,8°C dan RH 40 % – 60 %.
3. Hangat, antara temperatur efektif 25,8°C-27,1°C dan RH 40 % – 60 %.

Perhitungan Beban Kalor

Perhitungan beban kalor tiap ruangan merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kapasitas pendinginan yang dibutuhkan, sehingga harus dilakukan dengan hati-hati dan sangat cermat pada setiap komponen beban. Perhitungan beban pendinginan yang cermat akan dapat menjamin diperhatikannya sebanyak mungkin peluang penghematan energi pada tahap perencanaan.



Gambar 2.2 Komponen yang mempengaruhi pendinginan

2.3.1 Kalor Daerah Tepi

Merupakan kalor yang terjadi akibat pengaruh kondisi luar ruangan secara langsung maupun tidak langsung. Dalam hal ini dapat berupa radiasi kalor matahari melalui jendela, pemasukan tambahan kalor melalui jendela, infiltrasi kalor karena ventilasi, radiasi kalor matahari melalui dinding atau atap, serta beban kalor ruangan yang tersimpan akibat adanya pendinginan yang tidak kontinyu.

2.3.1.1 Jumlah Radiasi Matahari Melalui Jendela

Besar tambahan kalor oleh radiasi matahari melalui jendela dapat diperoleh melalui = $luas\ jendela\ m^2 \times jumlah\ radiasi\ matahari\ kcal/m\ jam \times faktor\ transmisi\ jendela \times faktor\ bayangan$.

Jumlah radiasi matahari melalui jendela adalah sama dengan jumlah radiasi matahari total yang diperoleh dalam perhitungan radiasi panas

sesaat. Radiasi panas matahari sesaat untuk perancangan dapat dilihat pada tabel lampiran. Faktor transmisi radiasi matahari melalui jendela dapat dipakai harga pada tabel 2.1. Sedangkan untuk faktor bayangan (*shading factor*) dari jendela, apabila sebuah jendela atau jendela-jendela dibayangi oleh gedung sebelah atau tepi atapnya sendiri, maka tidak semua panas matahari masuk ke dalam ruangan. Jadi jumlah radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan menjadi lebih kecil. Sebaliknya, apabila jendela ruangan berhadapan dengan benda lain yang memantulkan cahaya (misalnya kaca jendela dari gedung sebelah), maka dipandang perlu menambahkan sebanyak 10% sampai 30% dari radiasi matahari langsung dalam perhitungan beban kalor, pada siang hari yang panas.

Tabel 2.1 Faktor transmisi jendela

Kaca	Tanpa penutup	Dengan penutup dalam ruangan
Kaca biasa	0,95	0,5
Kaca ganda - biasa - menyerap di luar	0,7 0,6	0,5 0,4
Kaca setengah cermin	0,4	-

2.3.1.2 Pemasukan Tambahan Kalor Melalui Jendela

Ada dua macam dinding, yaitu dinding termal tipis (memindahkan panas dengan cepat) dan dinding termal tebal (memindahkan panas dengan lambat). Kaca jendela adalah salah satu contoh dinding termal tipis. Beban transmisi kalor melalui dinding termal tipis dapat diketahui melalui perhitungan = *luas jendela m² x koefisien transmisi kalor melalui jendela kcal/m²°C x selisih temperatur dalam dan luar*. Dalam hal ini temperatur ruangan dalam adalah temperatur rancangan dan kelembaban relatif yang ditetapkan sebagai titik perancangan, sedangkan temperatur luar ruangan adalah temperatur udara sesaat. Temperatur udara sesaat pada suatu saat tertentu dapat diperkirakan dengan formula berikut.

$$t_o = t_{o \text{ rancangan}} - \frac{\Delta t}{2} + \frac{\Delta t}{2} \cos 15(\tau - \gamma)$$

di mana,

t_o = temperatur udara luar sesaat (°C)

$t_{o \text{ rancangan}}$ = temperatur udara luar untuk perancangan (°C)

$\Delta\theta$ = perubahan temperatur harian (°C).

15 = perubahan sudut waktu (kecepatan sudut)

$$= \frac{360^\circ}{24 \text{ jam}}$$

τ = waktu penyinaran matahari (dalam persamaan ini, pukul 12.00 adalah 0, pagi hari (A.M) adalah negatif, dan siang hari (P.M) adalah positif)

γ = saat terjadinya temperatur maksimum (~ +2)

Tabel 2.2 Koefisiensi transmisi kalor jendela

Satu pelat kaca	Tidak tergantung pada tebalnya	5,5 kcal/m ² jam °C
Kaca ganda	Tidak tergantung pada tebalnya	2,2 kcal/m ² jam °C
Blok kaca	Tidak tergantung pada tebalnya	5,5 kcal/m ² jam °C

2.3.1.3 Infiltrasi Kalor Karena Adanya Ventilasi

$$= \left\{ (\text{volume ruangan} \times \text{jumlah penggantian ventilasi alamiah}) - \text{jumlah udara luar} \right\} \times \left(\frac{0,24}{\text{volume spesifik}} \right) \times (\text{selisih temperatur eksterior dan interior})$$

Tabel 2.3 menunjukkan jumlah penggantian udara dalam ventilasi alamiah, N_n . Jumlah penggantian udara dalam ventilasi alamiah dapat diperoleh dengan membagi jumlah udara yang masuk karena adanya gaya alamiah (misalnya angin) oleh volume ruangan.

Karena 0,24 adalah kalor spesifik dari 1 kg udara, maka jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur (1m³) udara ruangan sebesar 1°C dapat diperoleh dengan membagi 0,24 dengan volume spesifik udara luar.

Tabel 2.3 Jumlah penggantian

Ruangan standar tanpa jendela dan ventilasi	1 kali
Ruangan standar terdapat jendela dan ventilasi	1,5-2 kali
Ruangan, pintu dan jendela sering dibuka tutup	1,5-2 kali

Tabel 2.4 berikut menyatakan besar kebutuhan udara yang diperlukan dalam tiap ruangan.

Tabel 2.4 Kebutuhan Udara Luar Dalam Setiap Ruangan

Ruangan tanpa perokok	18 m ³ /jam per orang
Ruangan dengan perokok (setengah jumlah orang merokok)	30 m ³ /jam per orang
Ruangan hampir semua orang merokok	50 m ³ /jam per orang

2.3.1.4 Beban Transmisi Radiasi Matahari Melalui Dinding (atau Atap).

Dalam hal ini luas dinding adalah luas dinding (dikurangi luas jendela), sedangkan luas atap adalah luas bagian atap yang dikenai udara luar. Beban transmisi radiasi matahari melalui dinding dirumuskan :

$$= (\text{luas dinding}) \times (\text{koefisien transmisi kalor dinding})$$

$$\times (\text{selisih temperatur ekuivalen radiasi matahari} + \text{selisih temperatur ekuivalen atmosfer})$$

dan beban transmisi radiasi matahari melalui atap dirumuskan

$$= (\text{luas atap}) \times (\text{koefisien transmisi kalor atap})$$

$$\times (\text{selisih temperatur ekuivalen radiasi matahari} + \text{selisih temperatur ekuivalen atmosfer})$$

Koefisien perpindahan kalor dari dinding (atau atap), K dapat dilihat pada tabel 2.5 yang menunjukkan koefisien perpindahan kalor beberapa jenis dinding. Sedangkan tabel 2.6 menunjukkan koefisien perpindahan kalor dan beberapa jenis atap.

Tabel 2.5 Koefisien transmisi kalor dan kapasitas kalor dinding

Bahan Fisik Dinding	Koefisien transmisi kalor K (kcal/m ² jam°C)	Kapasitas kalor per 1 m ² (kcal/m ² /°C)
Beton tebal 250mm dengan lapisan	2,05	141
Batu bata tebal 210mm dengan lapisan	1,62	91
Beton tebal 200mm tanpa lapisan	3,15	96

Tabel 2.6 Koefisien transmisi kalor dan kapasitas kalor atap

Tebal atap (mm)		Koef transmisi kalor	Kapasitas kalor per 1 m ²
Kayu, asbestos semen, langit-langit (12mmHARDTEX)		2,86	7,5
Adukan semen rapat air 20mm	Tebal beton 100mm Dengan langit Tanpa langit	1,94 3,45	53,8 57,8
	Tebal beton 150mm Dengan langit Tanpa langit	1,81 3,78	77,9 81,9
Lapisan adukan semen 20mm beton sinder 60mm Aspal rapat air 10mm	Tebal beton 120mm Dengan langit Tanpa langit	1,58 2,46	63,4 67,4
	Tebal beton 150mm Dengan langit Tanpa langit	1,13 2,34	77,9 81,9

2.3.1.5 Beban Kalor Tersimpan di Dalam Ruangan Dengan Penyegaran Udara Tidak Kontinyu.

Dalam perhitungan beban kalor dari suatu ruangan yang akan didinginkan, tetapi yang sebelumnya mengalami pemanasan oleh matahari,

beban kalor dari ruangan bagian tepi gedung harus ditambah dengan 10-20%.

2.3.2 Beban Kalor di Dalam Daerah Tengah Gedung.

Merupakan beban kalor yang terjadi pada daerah tengah ruangan, antara lain disebabkan oleh kalor yang dihasilkan penghuni dan peralatan elektronik yang dapat menghasilkan kalor.

2.3.2.1 Beban Kalor Karena Adanya Sumber Kalor Di Dalam Ruangan.

Kalor dari orang yang ada di dalam ruangan dapat dilihat pada tabel 2.8. Perhatikan harga-harga tersebut berbeda sesuai dengan temperatur ruangan. Harga-harga tersebut pada tabel 2.12 berdasar pada ketentuan yang terdapat pada SNI 03-6572-2001. Koreksi dari faktor kelompok bagi wanita haruslah dipakai kalor kelompok pria dewasa kali 0,85; sedangkan bagi anak-anak haruslah dipakai kalor kelompok pria dewasa kali 0,75.

$$\text{kalor manusia total} = (\text{jumlah orang}) \times (\text{kalor manusia}) \times (\text{koreksi faktor manusia})$$

Sedangkan kalor yang diakibatkan oleh adanya peralatan listrik dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{kalor alat} = (\text{daya alat}) \times (\text{kalor alat})$$

Dalam tabel 2.7 ditunjukkan besarnya kalor peralatan listrik.

Tabel 2.7 Kalor peralatan

Pemanas	0,860 kcal/kW
Motor listrik	0,860 kcal/kW
Lampu	0,860 kcal/kW (pijar) 1,000 kcal/kW (neon)

Tabel 2.8 Jumlah kalor manusia dan faktor kelompok

Kondisi kerja	Bangunan	Jumlah kalor total laki-laki dewasa	Jumlah kalor total yang disesuaikan untuk wanita
		Kcal/jam	Kcal/jam
Duduk di kursi	Gedung	98	83
Bekerja di belakang meja	Kantor, hotel	120	113
Berdiri atau berjalan lambat	Toko serba ada, toko eceran	139	113
Bekerja berat	Pabrik	378	365

III. ANALISA PERHITUNGAN SISTEM

3.1 Pengukuran dan Perhitungan Besarnya Kapasitas Pendinginan Unit Air Conditioner

Perhitungan beban kalor ruangan dilakukan secara global, dengan mengambil contoh perhitungan pada Gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang. Perhitungan beban kalor yang terjadi pada tiap ruangan di Gedung Fakultas Teknik Elektro Universitas Diponegoro (dari tabel 4.1 hingga tabel 4.36), dilakukan pada tiap jam kerja, yaitu antara jam 07.00 pagi hingga jam 18.00 sore.

Besar kapasitas penyejuk udara yang perlu dipasang untuk menciptakan kondisi kenyamanan yang optimal, secara teori perhitungan dapat diperoleh dengan cara mengambil besar kalor maksimal yang terjadi dalam tiap ruangan. Dengan ini maka dapat diketahui besar kapasitas udara yang harus dipasang dalam satuan PK (satuan kapasitas penyejuk udara yang terdapat di pasaran).

Tabel 3.1 Perhitungan Kapasitas Penyejuk Udara Berdasarkan Besar Kalor Ruangan Maksimum

Gd	Lt	Ruang	Besar Kalor Maksimum Ruangan		
			Jam	Kcal/jam	PK
A	I	R.Perpustakaan	10.00	2361,68	3,67
		R.Adm KP&TA	14.00	1075,52	1,68
		R.Tata Usaha	15.00	2447,16	3,81
		R Internet	10.00	747,79	1,16
	II	R. Dosen	16.00	6581,35	10,25
		R. Kajur	14.00	1120,37	1,75
	III	R. Dosen	13.00	3822,26	5,95
		R. Sidang	13.00	5584,75	8,7
		R. Server	13.00	4536,67	7,07
		R. Seminar	13.00	5709,02	8,89
B	I	Lab Konversi I	15.00	5511,07	8,59
		Lab.Informatika	15.00	4115,96	6,41
		Lab.KPS	15.00	3946,51	6,15
		Lab.Elektronika	14.00	3574,66	5,57
		R. HME	13.00	1626,72	2,53
	II	R.Kuliah B201	16.00	3014,83	4,7
		R.Kuliah B202	16.00	2884,6	4,49
		R.Kuliah B203	16.00	4611,08	7,18
		R.Kuliah B204	16.00	4741,3	7,39
		R.Kuliah B205	15.00	4433,8	6,91
		R.Kuliah B206	15.00	4883,68	7,61
	III	R.B301	14.00	6634,7	10,34
		R.B302	14.00	6817,57	10,62
		Lab Konversi II	14.00	9188,54	14,31
		Lab TKO I B304	14.00	8858	13,8
		Lab TKO II B.305	14.00	8558,99	13,33
R. B306	14.00	9209,82	14,35		

Dari tabel 3.1 di atas, dapat kita lihat besar kapasitas sistem penyejuk udara yang diperlukan dalam tiap ruangan Gedung Fakultas Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang, guna mencapai kondisi kenyamanan sesuai standar *ASHRAE Handbook of Fundamentals* dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001, yaitu suhu ruangan berkisar antara 75°F atau sekitar 23°C pada kelembaban 50% sampai 78°F atau sekitar 26°C pada kelembaban 70%.

Berdasar tabel di atas, ruangan yang memiliki atap, atau dalam hal ini ruangan yang berada pada lantai paling atas, membutuhkan kapasitas sistem penyejuk udara yang sangat besar. Hal ini disebabkan, sebagian besar radiasi panas matahari masuk melalui atap, mengingat letak atap tersebut tegak lurus dengan arah sinar matahari, terutama pada waktu tengah hari (diantara jam 11.00 hingga jam 14.00). Lain halnya pada lantai 1 dan 2, kapasitas penyejuk udara yang dibutuhkan tidak terlalu besar, dikarenakan radiasi matahari hanya masuk melalui dinding dan jendela yang berhubungan langsung dengan udara luar, atau dapat dikatakan bagian dinding dan jendela yang terkena panas matahari.

3.2 Perbandingan Hasil Analisis dengan Kondisi Terpasang

Tabel 3.2 Perbandingan Besar Kapasitas Sistem Hasil Perhitungan dengan Sistem Terpasang

Gd	Lt	Ruang	Analisis Perhitungan	Kondisi Terpasang
			(PK)	(PK)
A	I	R.Perpustakaan	3,67	-
		R.Adm KP&TA	1,68	-
		R.Tata Usaha	3,81	-
		R Internet	1,16	1,5
	II	R. Dosen	10,25	6
		R. Kajur	1,75	1,5
	III	R. Dosen	5,95	1,5
		R. Sidang	8,7	3
		R. Server	7,07	-
		R. Seminar	8,89	3
B	I	Lab Konversi I	8,59	1
		Lab.Informatika	6,41	6
		Lab.KPS	6,15	1,5
		Lab.Elektronika	5,57	6
		R. HME	2,53	-
	II	R.Kuliah B201	4,7	3
		R.Kuliah B202	4,49	3
		R.Kuliah B203	7,18	3
		R.Kuliah B204	7,39	3
		R.Kuliah B205	6,91	6
		R.Kuliah B206	7,61	3
	III	R.B301	10,34	-

	R.B302	10,62	-
	Lab Konversi II	14,31	3
	Lab TKO I B304	13,8	3
	Lab TKO II B.305	13,33	3
	R. B306	14,35	3

Besar kapasitas sistem penyejuk udara berdasarkan analisis perhitungan dapat dikatakan cukup tinggi. Hal ini merupakan suatu hal yang biasa terjadi, karena perkiraan beban pendinginan dilakukan untuk mendapatkan suatu pengkondisian udara dengan standar kenyamanan tinggi. Sedangkan dalam prakteknya, terkadang hanya dibutuhkan suatu sistem tata udara dengan kenyamanan dengan standar minimum demi mendapatkan suatu pengoperasian yang efisien atau ekonomis.

3.3 Analisis Penghematan Energi

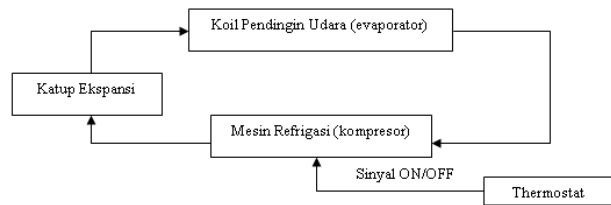
3.3.1 Efisiensi Kerja Sistem Penyejuk Udara

Dari tabel 3.2, dapat diambil suatu pernyataan bahwa sistem yang telah terpasang pada tiap ruangan Gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang, dapat dikatakan sudah tergolong ekonomis. Namun demikian standar kenyamanan yang dicapai masih minimum, dalam arti suhu yang terjadi di dalam ruangan dengan kapasitas yang telah terpasang sulit untuk mencapai standar kenyamanan yang telah ditetapkan berdasar rekomendasi dari *ASHRAE Handbook of Fundamentals* dan Standar Nasional Indonesia. Hal ini akan menimbulkan kondisi kerja yang berat dari sistem penyejuk udara.

Dalam hal ini adalah motor induksi sebagai penggerak kompresor, merupakan salah satu komponen utama yang mengalami beban kerja yang berat. Jika suhu ruangan standar kenyamanan (24°C) belum tercapai, maka motor kompresor akan terus menerus bekerja untuk mencapai suhu tersebut. Akibatnya motor akan panas, dan secara otomatis umur dari sistem akan pendek.

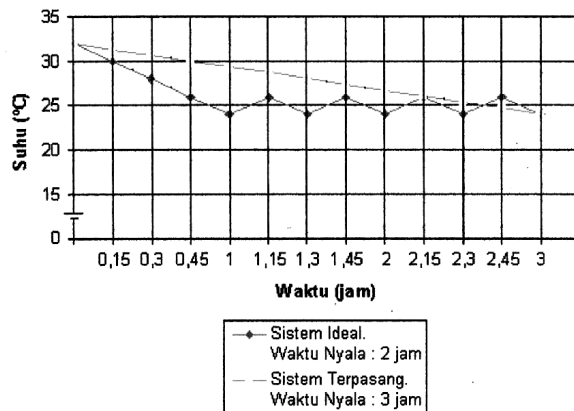
Beban motor penggerak kompresor pada sistem penyejuk udara tidaklah konstan. Beban pendinginan berubah menurut musim, waktu/jam, dan kondisi atmosfer. Sebagai contoh, apabila temperatur udara luar turun, maka beban pendinginan yang harus dipikul oleh sistem akan berkurang. Oleh karena itu dipandang perlu untuk menyesuaikan besar kapasitas sistem yang terpasang dengan kondisi analisis perhitungan, sehingga diperoleh efisiensi kerja dari sistem. Demikian juga dengan kondisi sebaliknya, jika kapasitas sistem penyejuk yang terpasang telah sesuai dengan beban kalor maksimum yang terdapat dalam ruangan, maka sistem dapat dengan mudah

mencapai suhu standar kenyamanan, dan sistem dapat secara otomatis mempertahankan kondisi suhu tersebut. Untuk mempertahankan kondisi temperatur standar, pada sistem penyejuk udara telah terpasang alat kontrol otomatis *thermostat* (Gambar 3.1), yang akan menjalankan dan menghentikan kerja kompresor, dengan ketelitian suhu pada umumnya berkisar $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3.1 Kontrol Otomatik Sistem Penyejuk

Sebagai contoh perhitungan, pada Ruang Perpustakaan Lantai I Gedung A Teknik Elektro Universitas Diponegoro yang menggunakan sistem pendingin ruangan ideal dengan kapasitas terpasang 1 PK, atau sebesar 2547,02 BTU/jam. Artinya, sistem penyejuk udara tersebut hanya mampu memberi kapasitas pendinginan sebesar 2547,02 Bit dalam jangka waktu 1 jam. Sedangkan beban kalor ruangan yang terjadi menurut pengukuran adalah sebesar 9371,15 BTU/jam, atau kurang lebih 3 kali lebih besar daripada kapasitas sistem terpasang. Sebagai akibatnya, waktu nyala kompresor sistem terpasang akan 3 kali lebih lama dalam mencapai suhu yang diinginkan, dibandingkan dengan kompresor sistem perhitungan.



Gambar 3.2 Grafik Perbandingan Kapasitas Sistem Terpasang dan Perhitungan

Grafik di atas adalah grafik durasi waktu nyala kompresor secara ideal. Dalam arti, beban kalor ruangan yang terjadi konstan, dan sistem yang bekerja dalam kondisi ideal. Secara teknis, berdasar contoh grafik di atas, pembebanan KWH yang terjadi dalam waktu penyalan sistem selama 3 jam

oleh sistem terpasang dan berkapasitas ideal dapat dijabarkan sebagai berikut.

- Beban Kalor Sensibel Ruangan : 2361,68 Kcal/jam = 9371,15 BTU/jam
- Sistem Rancangan : 3,67 PK = 9371,15 BTU/jam = 2,7 KW :
 - Ketelitian Thermostat : 2°C
 - Waktu nyala : 1 jam
 - Waktu nyala idle : 4x15menit=1 jam
 - Waktu nyala total : 2 jam
 - BebanKWH : 2jamx2,7KW = 5,4 KWh
- Sistem Terpasang : 1 PK = 2547,02 BTU/jam = 0,75 KW:
 - Waktu nyala : 3 jam
 - BebanKWH : 3jamx0,75 KW = 2,25 KWh

Dari contoh perhitungan di atas, diketahui bahwa sistem dengan kapasitas rendah, beban KWH yang ditimbulkan lebih kecil daripada sistem rancangan (ideal). Hal ini disebabkan, dalam waktu penyalaan sistem selama 3 jam, sistem dengan kapasitas ideal akan cepat mencapai suhu ideal, namun kemudian sistem memerlukan waktu lebih untuk menjaga agar suhu terjaga pada nilai yang diinginkan.

Ditinjau dari segi ekonomis, sistem dengan kapasitas lebih rendah akan semakin ekonomis, dikarenakan lebih rendahnya harga dan sistem penyejuk udara itu sendiri, serta beban KWH diperlukan lebih rendah. Sedangkan dari segi kenyamanan, pemasangan sistem berkapasitas lebih rendah ini dapat dikatakan kurang memenuhi standar. Hal ini dikarenakan sistem akan memakan waktu lama untuk mencapai suhu yang diinginkan.

3.3.2 Perbaikan Faktor Daya Sistem

PLN memberikan biaya kelebihan pemakaian kVARH pada pelanggan, jika faktor dayanya lebih kecil dari 0,85. Karena nilai faktor daya gedung yang cukup rendah sehingga dikenai biaya terhadap daya reaktif, untuk memperbaiki faktor daya sehingga biaya kelebihan pemakaian kVARH ini tidak perlu dikeluarkan, maka pada jaringan instalasi listrik perlu dilengkapi dengan *power capacitor*. Selain itu keuntungan pemasangan *power capacitor* dapat menghindari beban lebih dari trafo, sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia. Disamping itu juga dapat mengurangi turunnya tegangan (*voltage drop*) pada ujung jaringan listrik.

Untuk menentukan besar kapasitas kapasitor, langkah pertama adalah menentukan batas minimal dan maksimal kapasitas kapasitor. Untuk sisi primer batas minimalnya adalah dipilih daya reaktif (kVAR) dengan faktor daya 0,85. Faktor daya 0,85 dipilih karena batas minimal tidak

terkena denda pinalti adalah 0,85. Sedangkan batas maksimalnya adalah daya reaktif dengan faktor daya 1,00. Faktor daya dijaga agar jangan sampai melebihi 1,00, karena pada keadaan faktor daya lebih dari 1,00, kapasitor tidak bekerja sebagai kompensator daya reaktif tetapi akan menjadi beban yang akan memperbesar beban reaktif.

Dalam kasus sistem penyejuk udara, telah diambil contoh pengukuran beberapa merk sistem, dan didapatkan hasil bahwa faktor daya sistem telah berada pada nilai di atas 0,85. Namun demikian, tidak menutup kemungkinan jika terdapat sistem dengan faktor daya kurang dari 0,85, dapat dihitung besar kapasitor bank yang harus dipasang pada sistem.

Sebagai contoh, jika sistem penyejuk udara mempunyai spesifikasi sebagai berikut.

- Daya Aktif (P) : 2514,02 VA
- Faktor daya (pf) terukur : 0,705

Dari data tersebut, maka dapat diketahui besar daya kompleks (S), daya reaktif (Q), dan besar kompensasi kapasitor bank yang harus dipasang.

- Daya kompleks :

$$S = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{2514,02}{0,705} = 3565,99 \text{ VA}$$

- Daya reaktif :

$$Q = \tan \theta \times P = 1,006 \times 2514,02 = 2529,02 \text{ VAR}$$

Apabila pf dinaikkan menjadi 0,85 maka daya reaktif baru ($Q_{0,85}$) menjadi sebesar: $Q_{0,85} = 3565,99 \text{ VA} \times \sin(\cos^{-1}0,85) = 1878,56 \text{ VAR}$

Selisih daya reaktif lama dan baru merupakan daya reaktif yang harus diberikan oleh kapasitor ke sistem untuk meningkatkan pf dari 0,705 menjadi 0,85.

$$\Delta Q_{\min} = Q_c = (2529,02 - 1878,56) \text{ VAR} = 650,46 \text{ VAR}$$

Untuk pf 1,00 :

$$Q_{1,00} = 1595,74 \text{ Va} \times \sin(\cos^{-1} 1,00) = 0,00 \text{ VAR}$$

maka

$$\Delta Q_{\max} = Q_c = (2529,02 - 0) \text{ kVAR} = 2529,02 \text{ VAR}$$

Jadi agar tercapai faktor daya dengan *range* 0,85 – 1,00, kompensasi kapasitor bank yang diberikan ke sistem minimal (ΔQ_{\min}) 650,46 VAR dan maksimal (ΔQ_{\max}) 2529,02 VAR.

3.3.3 Analisis Kelembaban Ruangan

Standar kenyamanan *ASHRAE Handbook of Fundamentals* tahun 1981 mendeskripsikan efek kesehatan dari pengkondisian udara yang berkaitan dengan kelembaban ruangan, yaitu :

1. Ruangan yang memiliki kelembaban relatif (RH) di atas 75%, merupakan daerah di mana virus, bakteri, dan jamur akan meningkat populasinya dengan cepat.
2. Ruangan yang memiliki kelembaban relatif (RH) antara 70-75%, akan terjadi *ststic*

electricity (listrik statis), terutama pada daerah yang lantainya menggunakan karpet.

- Ruangan yang memiliki kelembaban relatif (RH) antara 50-70%, merupakan standar kenyamanan yang terbaik bagi rumah, perkantoran, dan jenis hunian lainnya.
- Ruangan yang memiliki kelembaban relatif (RH) di bawah 50%, merupakan daerah yang terlalu kering, yang dapat menyebabkan infeksi saluran pernafasan.

Untuk mencapai standar kenyamanan yang ideal, dengan mengacu pada keempat item di atas, maka perencanaan sistem dapat dikondisikan dengan cara mengatur besarnya jumlah aliran udara sistem.

Jumlah udara yang diperlukan dalam ruangan, dapat dihitung jika diketahui beban kalor sensibel ruangan,

$$(qd)_s = \frac{(Hd)_s}{0,24x \frac{tr - ta}{v.(1 + X)}}$$

- (Hd)_s = beban kalor sensibel ruangan
- (qd)_m = pengukuran aliran udara pada sisi bagian dalam unit (m³/jam)
- tr = temperatur udara ruangan (°C)
- ta = temperatur udara keluar dari sitem pendingin (°C)
- v = volume spesifik udara (m³/kg).
- X = kelembaban nisbi absolut dari udara (kg/kg*).

Tabel 3.3 Kondisi kerja baku dari peralatan sistem tata udara

	Mesin pendingin dengan pendinginan air	Mesin pendingin dengan pendinginan udara	Unit lemari dengan pendinginan air
Suhu air keluar mesin pendingin	6,7 °C	6,7 °C	-
Suhu air masuk mesin pendingin	12,2 °C	6,7 °C	-
Suhu air keluar kondensor	35,0 °C	-	35,0 °C
Suhu air masuk kondensor	29,4 °C	-	29,4 °C
Suhu udara masuk kondensor	-	35,0 °C	-
Suhu udara masuk evaporator	-	-	26,7 °C

Dalam hal ini, tr (temperatur ruangan) diset menurut suhu ruangan dengan kelembaban relatif 50% sampai dengan 70%. Sedangkan temperatur udara yang keluar dari kisi-kisi sistem pendingin, dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut. Tabel 3.3 berikut merupakan standar ideal kondisi kerja baku peralatan sistem tata udara menurut SNI 03-6759-2002. Dari tabel ini diperoleh temperatur air pendingin yang keluar dari koil pendingin (kondensor). Sedangkan temperatur air dingin ini biasanya 5°C lebih rendah daripada titik embun sistem. Dan temperatur udara yang keluar dari sistem akan naik kurang lebih 1°C karena adanya penambahan kalor yang dikeluarkan oleh motor kipas udara. Singkatnya, temperatur udara yang keluar dari kisi sistem pendingin akan 4-5°C lebih tinggi dari temperatur air yang keluar dari kondensor.

Sebagai contoh perhitungan, Ruang Perpustakaan Lantai I Gedung A Teknik Elektro Universitas Diponegoro yang menggunakan sistem pendingin ruangan ideal, diinginkan berada pada temperatur 24°C dan range kelembaban 50% hingga 70%. Baban kalor yang terjadi di dalam ruangan sebesar 2162,23 kcal/jam. Maka untuk mencapai kondisi kenyamanan ideal, diperlukan aliran udara sebagai berikut.

Beban Kalor Sensibel Ruangan = 2162,23 kcal/jam
 Temperatur Udara Pendingin = 6,7°C+5°C = 10,7°C

dengan diagram psikometrik (lampiran) dapat diketahui :

Temperatur Rancangan = 24 °C

RH min = 50% maka volume spesifik = 0,8450 dan X = 0,0086 kg/kg*

RH max = 70% maka volume spesifik = 0,8598 dan X = 0,0126 kg/kg*

Sehingga :

$$(qd)_s \text{ min} = \frac{2162,23}{0,24x \frac{24 - 10,7}{0,845x1,0086}} = 583,47 \text{ m}^3/\text{jam}$$

dan

$$(qd)_s \text{ max} = \frac{2162,23}{0,24x \frac{24 - 10,7}{0,859x1,0126}} = 589,76 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Hasil di atas merupakan debit udara yang dibutuhkan suatu ruangan untuk mencapai kondisi standar kenyamanan yang ideal. Untuk mengetahui besar kecepatan udara, dapat dihitung dengan membagi debit udara dengan luas penampang kisi lubang udara.

Ukuran penampang kisi udara : p x l = 1 m x 0,2 m

(qd)_s min = 583,47 m³/jam, dan

(qd)_s max = 589,76 m³/jam

maka :

$$V_{\min} = \frac{583,47}{3600 \times 1 \times 0,2} = 0,80 \text{ m/s}$$

$$V_{\max} = \frac{589,76}{3600 \times 1 \times 0,2} = 0,82 \text{ m/s}$$

Untuk mencapai Standar Kenyamanan *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, berkaitan dengan kelembaban udara yang mempengaruhi efek kesehatan manusia, maka dibutuhkan kecepatan aliran udara dari sistem penyejuk udara pada Ruang Perpustakaan Lantai I Gedung A Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan *range* 0,8 m/s hingga 0,82 m/s.

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari analisa dan evaluasi hasil perhitungan rekapitulasi beban kalor ruangan dan perancangan besar kapasitas sistem penyejuk udara, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kapasitas sistem penyejuk udara terpasang yang terdapat pada ruangan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang, belum memenuhi standar kenyamanan berdasarkan pada *ASHRAE Handbook of Fundamentals* maupun Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001 dan SNI 03-6759-2002.
2. Berdasar perhitungan, sistem penyejuk udara terpasang yang terdapat pada ruangan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang, perlu ditambah atau dikurangi kapasitasnya agar dicapai kondisi kenyamanan sesuai dengan standar yang berlaku, antara lain : Pada ruangan Gedung A, Ruang Internet dikurangi 0,34 PK, Ruang Dosen Lantai II ditambah 4,25 PK, Ruang Kajar ditambah 0,25 PK, Ruang Dosen Lantai III ditambah 4,45 PK, Ruang Sidang ditambah 5,7 PK, dan Ruang Seminar ditambah 5,89 PK. Sedangkan pada ruangan Gedung B, Lab Konversi Lantai I ditambah 7,59 PK, Lab. Informatika ditambah 0,41 PK, Lab. KPS ditambah 4,65 PK, Lab. Elektronika dikurangi 0,43 PK, R. Kuliah B.201 ditambah 1,7 PK, R. Kuliah B.202 ditambah 1,49PK, R. Kuliah B.203 ditambah 4,18PK, R. Kuliah B.204 ditambah 4,39 PK, R. Kuliah B.205 ditambah 0,91 PK, R. Kuliah B.206 ditambah 4,61 PK, R. Lab Konversi Lantai III ditambah 11,31 PK, Lab. TKO I B.304 Lantai III ditambah 10,8 PK, Lab. TKO II Lantai III ditambah B.305 10,33 PK, R. B.306 ditambah 11,35 PK.
3. Ruang yang terletak pada lantai paling atas, memerlukan kapasitas sistem penyejuk udara yang cukup besar. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi panas matahari yang masuk melalui atap. Dalam hal ini, besar kecilnya ruang kap

dapat mempengaruhi jumlah radiasi panas yang masuk melalui atap ruangan tersebut.

4. Untuk pengaturan kelembaban ruangan (RH) sesuai dengan standar kesehatan pada *ASHRAE Handbook of Fundamentals* tahun 1981, yaitu pada *range* RH 50% - 70 %, dapat dilakukan dengan pengaturan kecepatan udara yang keluar dari lubang kisi udara sistem penyejuk udara. Besar kecepatan udara ini dapat diketahui melalui perhitungan *software*.
5. Sistem penyejuk udara dengan kapasitas kecil, akan memakan waktu lama untuk mencapai suhu standar kenyamanan (23°C pada kelembaban 50% sampai 26°C pada kelembaban 70%). Hal ini sangat mempengaruhi kenyamanan penghuni ruangan. Sebalikny, jika kapasitas telah diperhitungkan dengan cara yang baku mengacu pada usaha konservasi energi, maka akan dicapai kondisi nyaman pada penghuni ruangan, dengan tidak mengabaikan standar penghematan energi.
6. Sistem penyejuk udara yang baik dan sesuai dengan acuan konservasi energi, harus dilengkapi dengan alat kontrol suhu. Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6759-2002, alat kontrol suhu (*thermostat*) harus dapat diset di tempat atau dari kejauhan, pada batas suhu 23°C hingga 27°C.
7. Hasil perhitungan yang dihasilkan *software* dapat digunakan sebagai acuan perencanaan sistem penyejuk udara yang efisien secara teknis dan ekonomis, dengan tidak mengesampingkan segi kenyamanan ruangan. Hal ini karena pembuatan *software* telah sesuai dengan standar konservasi energi yang berlaku, yaitu berdasar Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6759-2002, (SNI) 03-6572-2001, serta standar internasional sistem tata udara *ASHRAE Handbook of Fundamentals*.

4.2 Saran

Software Perencanaan Sistem Penyejuk Udara Dalam Rangka Konservasi Energi Tata Udara ada Bangunan Gedung ang telah dirancang masih belum sempurna. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, perlu dilakukan beberapa perbaikan, diantaranya :

1. Diperlukan perbandingan cara perhitungan beban kalor ruangan dengan metoda yang lain.
2. Beban motor penggerak kompresor pada sistem penyejuk udara tidaklah konstan. Beban pendinginan berubah menurut musim, waktu/jam, dan kondisi atmosfer. Sebagai contoh, apabila temperatur udara luar turun, maka beban pendinginan yang harus dipikul oleh sistem akan berkurang. Oleh karena itu, pembuatan *software* ini akan lebih lengkap, jika

parameter perubahan musim, cuaca, serta kondisi atmosfer yang terjadi diikutsertakan dalam perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Buku Panduan Teknis Penghematan Energi Pada Rumah Tangga dan Bangunan Gedung*. Jakarta : Proyek Pembinaan dan Pengembangan Konservasi Energi Dirjen Listrik dan Pengembangan Energi Departemen Pertambangan dan Energi.
2. *Badan Standarisasi Nasional*. SNI 03-6196-2000, SNI 03-6090-2000, SNI 03-6197-2000, SNI 03-6759-2002, SNI 03-6572-2001. Jakarta : Bagian Proyek Efisiensi Energi Depdiknas. 2001.
3. *Petunjuk Teknis Konservasi Energi*. Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung. Departemen Pertambangan dan Energi.
4. A. Arismunandar, Dr, S. Kawahara, Dr, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II*, Pradnya Paramita. Jakarta. 1973.
5. Agus J Alam M, *Belajar Sendiri Borland Delphi 6.0*, PT. Elex Media Komputindo. Jakarta. 2001.
6. Air Conditioning Company, Carrier Corp. *Handbook Of Air Conditioning System Design*. McGraw-Hill. New York. 1965.
7. Arismunandar, Wiranto. Saito, Fleizo. *Penyegaran Udara*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. 2002.
8. Departemen Pekerjaan Umum. SNI T-14-1993-03. *Tata Cara Perencanaan Teknis Konsercasi Energi Pada Bangunan Gedung*. Yayasan LPMB. Bandung.
9. Harten, P. Van. Ir.E.Setiawan. *Instalasi Listrik Arus Kuat 2*. Bina Cipta. Bandung. 1995.
10. Pranata, Antony. *Pemrograman Borland Delphi 6 Edisi 4*, Andi Offset. Yogyakarta. 2002.
11. Wahana Komputer, Team, *Membuat Program Kreatif dan Profesional dengan Delphi*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta 2005.

BIODATA PENULIS



Sendi Surya Raharja
(L2F001640), lahir di Semarang tanggal 30 Desember 1983. Saat ini sedang menyelesaikan studi Strata 1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan mengambil konsentrasi Tenaga Listrik.

Mengetahui dan menyetujui,
Pembimbing I Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP. 131 668 485

Karnoto, ST
NIP. 132 162 547