II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Tata Udara

Hampir semua aktifitas dalam gedung seperti kantor, hotel, rumah sakit, apartemen, dan pusat belanja memerlukan listrik misalnya untuk keperluan lampu penerangan, pendingin ruangan, *lift*, dan eskalator. Di Indonesia yang beriklim tropis, sebagian besar energi listrik digunakan untuk mendinginkan ruangan dengan menggunakan sistem tata udara atau dikenal dengan *Air Conditioner* (AC). Bangunan gedung modern menggunakan berbagai sarana untuk memberi kenyamanan bagi penghuni dan tamunya. Sarana yang memberikan kenyamanan ini disebut dengan utilitas bangunan dengan distribusi pemakaian listrik dan sistem tata udara adalah konsumen pemakai listrik terbesar.

Pada dasarnya sistem tata udara terbagi menjadi 2, yaitu :

- Sistem tata udara langsung (*Direct Cooling*).

  Pada sistem ini udara diturunkan suhunya oleh refrigran *freon* dan disalurkan ke dalam ruangan tanpa saluran udara (*ducting*). Jenis yang digunakan adalah AC *Window* berkapasitas 0,5 – 2 pk, AC *split* berkapasitas 0,5 – 3 pk dan AC *package* berkapasitas sampai 10 pk.
- Sistem tata udara tidak langsung (*Indirect Cooling*).

Refrigran yang digunakan bukan *freon* tetapi air es (*chilled water*) dengan suhu sekitar 5^0C. Air es dihasilkan dalam *chiller* (mesin pembuat es yang menggunakan refrigran sebagai zat pendingin). Sistem ini dikenal dengan sistem tata udara terpusat (*Central Air Conditioning System*). [6]

Bagi negara berkembang seperti Indonesia, menghemat energi berarti mengurangi biaya produksi dan menambah keuntungan atau suatu kesempatan untuk program pengembangan produktivitas/daya saing usaha. Dalam menghemat energi pada bangunan gedung paska konstruksi, ada lima hal pokok yang perlu dilakukan yaitu : komitmen manajemen, identifikasi masalah, penunjukan petugas energi, implementasi dan evaluasi pelaksanaan. Hasil-hasil penelitaian tentang lingkungan kerja menunjukkan bahwa di dalam ruang berudara segar civitas/karyawan dapat bekerja lebih baik dan jumlah kesalahan dapat dikurangi sehingga efisiensi kerja dapat ditingkatkan.[9]

B. Manajemen Sistem Tata Udara

Instalasi pendinginan pertama kali dibuat dan dipatenkan oleh seorang berkebangsaan Amerika, yaitu Joseph Mc.Creaty, dalam tahun 1897. Pada waktu itu, instalasi tersebut dinamai mesin pencuci udara (*air washer*), yaitu suatu sistem pendinginan yang menggunakan percikan air. Sedangkan Dr. Willis Haviland Carrier (Amerika Serikat, 1906) dapat dianggap sebagai orang pertama yang berhasil membuat alat pengatur temperatur dan kelembaban udara, ia berhasil menyegarkan udara dari sebuah percetakan dengan menggunakan sistem pencuci udara. Dalam hal tersebut ia mendinginkan dan menjenuhkan udara sampai mencapai titik embunnya. Teori Termodinamika yang dihasilkannya itu

dikemukakan pada suatu pertemuan *The American Society of Mechanical Engineers* tahun 1911. Sampai beberapa tahun setelah perang dunia kedua, instalasi penyegaran udara hanya dipergunakan untuk keperluan industri. Namun, setelah itu penggunaannya diperluas untuk memenuhi kebutuhan akan kenyamanan dan kesegaran udara di hotel, kantor, gedung bioskop, di rumah, dan sebagainya.

Penelitian tentang manajemen sistem tata udara telah banyak dilakukan, manajemen tata udara disini berarti penggunaan sistem tata udara secara efektif untuk mencapai sasaran optimal pemakaian. Achmad Marzuki dan Rusman (2012) melakukan penelitian tentang audit energi pada bangunan gedung direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AC menyumbang cukup besar dari segi beban yaitu sekitar 57,36%. Namun dilihat dari nilai target IKE yang digunakan untuk klasifikasi perkantoran (komersil) yaitu sebesar 240 kWh/m^2 per tahun, nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik per satuan luas total gedung yang dikondisikan (ber-AC) pada gedung direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII yaitu sebesar 194.17 kWh/m2 per tahun nilai ini masih relatif lebih rendah dari standar target yang ditentukan.[5]

Berdasarkan dari beberapa hasil penelitian ternyata AC memberikan beban yang cukup besar, dan apabila tidak dilakukan suatu manajemen pada sistem tata udaranya maka tingkat konsumsi listrik pada bangunan tersebut menjadi tidak efisien dan bisa berujung pada pemborosan.

Sebelum diuraikan lebih lanjut tentang sistem tata udara bangunan gedung ada baiknya dipahami terlebih dahulu tentang satuan energi, prinsip konservasi energi dan cara kerja sistem tata udara.

Satuan Energi

Satuan energi yang biasa digunakan adalah :

- Energi listrik dengan satuan kWh (kilo *Watt hour*)
- Ukuran kapasitas pendingin AC dengan satuan Ton Refrigrasi (Ton Ref).

  1 Ton Ref = 3.032 kkal per jam

  = 12.000 btu per jam (satuan Britania)

  = 3,517 kW

C. Komponen Utama dan Cara Kerja Sistem Tata Udara

C.1. Komponen Sistem Tata Udara

Sistem tata udara / AC (*Air Conditioner*) dalam operasinya didukung oleh beberapa komponen yang masing-masing mempunyai karakteristik. Komponen dasar dan cara kerja sistem AC dapat dijelaskan sebagai berikut :

- *Compressor*

  Compressor berfungsi mensirkulasikan dan menekan refrigeran (misalnya *freon*) dalam sistem mesin pendingin. Akibat pendinginan pada *condensor*, refrigran bertekanan mencair dan secara bertahap melalui pipa kapiler atau katup ekspansi mengalir ke *evaporator* karena adanya perbedaan tekanan yang dihasilkan *compressor* pada area *condensor* dan *evaporator*.

- *Evaporator*

  Refrigran cair dengan suhu hampir sama dengan udara luar ini mengalir ke pipa *evaporator* bertekanan rendah melalui sebuah katup ekspansi atau pipa kapiler.

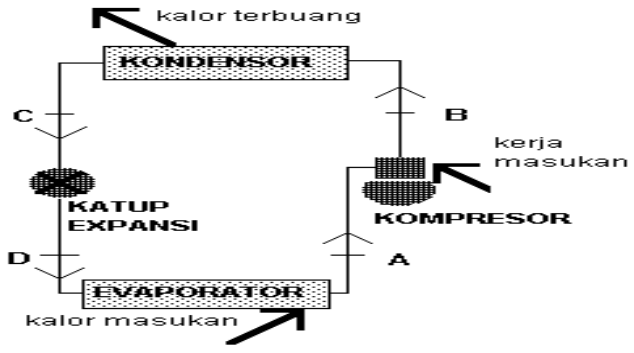
Proses "*trottling*" terjadi pada katup ekspansi mengakibatkan refrigran berubah fase dari cair menjadi uap di *evaporator*. Proses penguapan ini membutuhkan panas dari sekitar yang menyebabkan daerah di sekitar *evaporator* menjadi dingin. Dengan kata lain perpindahan panas berlangsung dari udara sekitar *evaporator* ke refrigran di dalam *evaporator*, proses perpindahan panas ini dipercepat dengan mensirkulasikan udara di dalam ruangan dengan sebuah *fan* sirkulasi sehingga suhu udara di dalam ruangan menjadi turun. Hal inilah yang menyebabkan rasa dingin di dalam ruangan ber AC.

- *Condensor*

Refrigran cair dialirkan ke *condensor* yang letaknya di luar ruangan didinginkan dengan udara melalui sebuah kipas angin agar pendinginan berlangsung lebih cepat dan elektif sehingga pada ujung akhir pipa *condensor* suhu refrigran cair sudah mendekati suhu udara luar, dengan demikian di *condensor* terjadi pelepasan panas dari refrigran ke udara luar.

C.2. Cara Kerja Sistem AC

Cara kerja sistem AC diperlihatkan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 : Sistem AC [4]

Gambar 2.1 merupakan cara kerja sistem AC yang dimulai dari gas refrigran yang terbentuk pada *evaporator* karena penyerapan panas mengalir ke *compressor*

dengan menggunakan daya isap dari *compressor* untuk selanjutnya ditekan mengikuti siklus. Untuk mengatur suhu di dalam ruangan agar tidak terlalu dingin. maka sistem pengatur suhu diletakkan pada bagian *evaporator*. Bila suhu ruangan sudah mencapai rasa nyaman yang dikehendaki, maka alat pengatur suhu ini bekerja unituk memutuskan hubungan aliran listrik dari sumbernya (jaringan PLN) ke motor penggerak *compressor*. Akibatnya motor penggerak berbenti bekerja dan aliran refrigran berhenti pula mengalir, ini berarti proses pendinginan juga berhenti. Selanjutnya bila suhu di dalam ruangan naik kembali, saklar otomatis pengatur suhu akan secara otomatis tersambung kembali sehingga aliran listrik ke motor penggerak *compressor* dan kipas pendingin tersambung. Dengan demikian proses pendinginan dimulai kembali. Untuk menghindari menempelnya debu pada pipa pendingin *evaporator*, yang dapat menghambat proses perpindahan panas, maka biasanya dipasang saringan udara pada kipas angin *evaporator*. Saringan ini secara periodik perlu dibersihkan.

Pengoperasian

Efisiensi penggunaan energi sistem tata udara bangunan gedung sangat ditentukan oleh pola pengoperasian dan pemeliharaan sistem tata udara yang dilakukan, baik oleh pemakai, pengelola maupun pemilik bangunan. Perlunya petunjuk pengoperasian dan pemeliharaan sistem tata udara adalah untuk mencapai efisiensi dan optimalisasi penggunaan energi sistem tata udara. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan sistem tata udara yang berkaitan dengan efisiensi pemakaian energi sebagaimana diuraikan berikut ini.

Pengoperasian/Penggunaan komponen bangunan

- Pintu dan jendela ruangan yang dikondisikan harus dijaga selalu dalam keadaan tertutup dan sebaiknya menggunakan penutup otomatis;
- Dinding kaca harus diusahakan tidak meneruskan sinar matahari langsung kedalam ruangan dengan cara memberi peneduh atau tirai;
- Ruangan yang dikondisikan harus dijaga agar tidak terjadi kebocoran udara luar atau infiltrasi;
- Dihindarkan bangunan peralatan-peralatan yang menghasilkan panas;
- *Finishing* dinding, plafon dan lain-lain diusahakan sesuai dengan perencanaan;
- Pemanfaatan ruangan sesuai dengan perencanaan.

D. Pahami Situasi Pemakaian Energi Tata Udara

Selain melakukan pemeriksaan pada utilitas tata udara bangunan gedung, memahami situasi pemakaian energi sistem tata udara yang berkaitan dengan kinerja penggunaan energi secara keseluruhan sangat penting dengan cara:

- Mencatat, mengukur, dan menghitung pemakaian energi
- Identifikasi/observasi langsung untuk mengetahui situasi operasi aktual
- Diskusi langsung dengan operator yang mengetahui kondisi operasi sehari hari dan untuk mengetahui ide- ide yang berharga dari mereka.

Hemat energi pada gedung diartikan sebagai pemanfaatan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang benar-benar untuk mempertahankan kenyamanan dan fungsi bangunan gedung. Penghematan energi pada sistem tata udara bangunan jadi (*Existing Building*), dapat dilakukan dengan

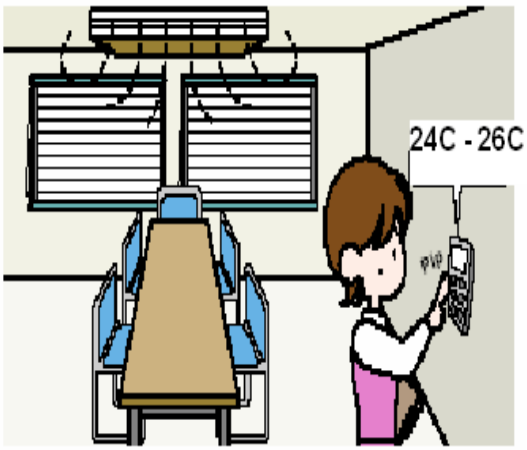
beberapa metoda antara lain: metoda pengendalian operasi, metoda pemeliharaan dan pengelolaan serta metoda dengan modifikasi. Dua metoda pertama lebih disenangi, karena tidak membutuhkan banyak perubahan pada peralatan yang ada.[8]

Parameter kenyamanan gedung ditentukan oleh :

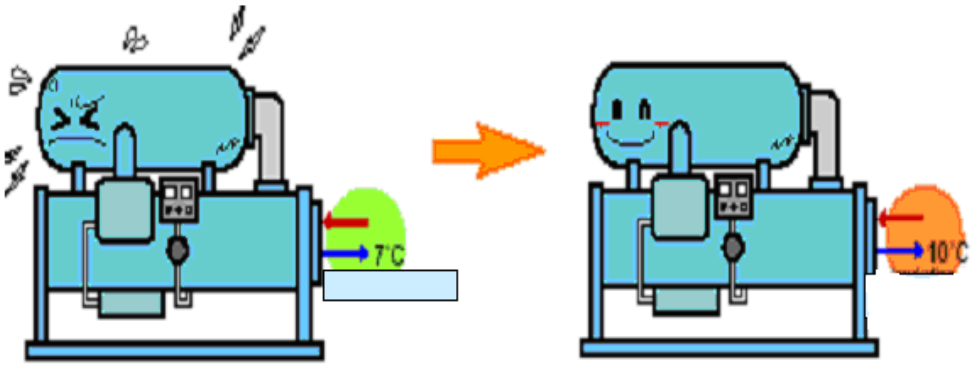
- Temperatur : Tidak terlalu panas dan dingin untuk beraktivitas
- *Humidy* : Untuk memberi rasa segar dalam beraktivitas
- Sirkulasi udara : Untuk memenuhi kebutuhan udara segar
- Kwalitas udara : Yang berkaitan dengan kesehatan penghuni gedung
- *Acoustic* : Yang berkaitan dengan udara
- *Lighting* : Yang berkaitan dengan level cahaya

Untuk memenuhi rasa nyaman tersebut diperlukan pengkondisian udara. Mengondisikan udara adalah perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan dan pendistribusiannya secara simultan guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang ada didalamnya.[10] Berbagai fasilitas dan peralatan energi antara lain AC, lampu, *fan* dan lain-lain diperlukan dalam pengkondisian udara. Dalam operasinya peralatan ini membutuhkan energi listrik yang harus dibiayai oleh pemilik/pengelola gedung. Agar biaya energi dapat ditekan, maka perlu diterapkan prinsip-prinsip hemat energi pada peralatan energi yang ada serta mengoperasikanya dengan cara yang rasional. Prinsip-prinsip konservasi energi yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian sistem tata udara bangunan gedung adalah sebagai berikut :

- Tinjau kembali *setting* temperatur ruangan gedung ber AC. Misalnya dengan menaikan suhu ruangan dari 24 ^{o}C menjadi 26 ^{o}C seperti terlihat pada gambar 2.2. Sedangkan pada gambar 2.3, dimana *setting* suhu *chilled water* naik dari 7 ^{o}C menjadi 10 ^{o}C dan ini akan memberikan perbaikan *performace* AC yang cukup signifikan.



Gambar 2.2 : *Setting* suhu yang benar [4]



Gambar 2.3 : *Setting* suhu mempengaruhi konsumsi energi [4]

Peralatan kontrol

Kinerja sistem tata udara sangat berpengaruh oleh faktor beban ruangan, Oleh karena itu penyesuaian sistem tata udara terhadap perubahan beban adalah sangat penting. Hal ini dapat dilaksanakan jika sistem tata udara dilengkapi

dengan peralatan kontrol yang responsif dan akurat. Perubahan yang perlu diperhatikan antara lain :

- Beban sensibel, variabel yang menentukan beban sensibel adalah beda temperatur luar dan dalam ruangan. Penyesuaian diri sistem tata udara terhadap perubahan beban sensibel dilakukan dengan mengendalikan jumlah distribusi udara.
- Beban laten, variabel yang menentukan beban laten adalah perubahan kelembaban udara di dalam ruangan. Penyesuaian diri sistem tata udara terhadap perubahan beban laten dilakukan dengan mengendalikan temperatur *coil* pendingin.

Untuk beban pendinginan berdasarkan fungsi bangunan dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1. Beban pendinginan berdasarkan fungsi bangunan[11]

Fungsi Bangunan	Beban per 100 m^3 ruangan (TR)
Apartemen	0,5 – 1,0
Hotel	1,0 – 1,5
Kampus	1,5 – 2,0
Kantor	1,5 – 2,0
Rumah Sakit	1,0 – 1,5

Dengan memperhatikan faktor perubahan beban pengendalian sistem tata udara dilakukan oleh peralatan kontrol sebagai berikut :

- Thermostat berfungsi mengendalikan temperatur dengan cara memberikan sinyal kepada "*modulating damper*" atau pengatur kecepatan *fan.*

- Humidistat berfungsi mengendalikan kelembaban dengan cara memberikan sinyal kepada pompa atau keran/katup regulasi.

E. Pengujian Efisiensi Sistem Tata Udara

Cara terbaik mengevaluasi efisiensi penggunaan energi pada sistem tata udara bangunan gedung adalah dengan menggunakan suatu indikator kinerja. Indikator tersebut merupakan rasio antara konsumsi energi terhadap *output* dari setiap aktivitas sistem tata udara yang dilakukan dalam suatu periode tertentu. Indikator kinerja penggunaan energi merupakan tolak ukur keberhasilan dalam pemanfaatan setiap satu satuan energi pada sistem tata udara bangunan gedung**.**

Makna dari indikator ini hampir sama dengan efisiensi pemakaian energi yaitu perbandingan antara *output* dengan *input*. Perbedaannya adalah bahwa efisiensi energi menggunakan satuan *output* dan *input* yang sama. Oleh karena itu hasil akhir dari efisiensi tanpa satuan, tetapi dinyatakan dalam persen (%). Sedangkan kinerja pemakaian energi, satuan *input* dan *output* tidak sama, sehingga satuan kinerja ini mengikuti satuan dasar *input-output* nya.

F. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi pada suatu sistem (bangunan). Namun energi yang dimaksudkan dalam hal ini adalah energi listrik. Pada hakekatnya Intensitas Konsumsi Energi ini adalah hasil bagi antara konsumsi energi total selama periode tertentu (satu tahun) dengan luasan bangunan. Satuan IKE adalah kWH/m^2 per tahun.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN-USAID pada tahun 1987 yang laporannya baru dikeluarkan 1992, target besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik untuk Indonesia adalah sebagai berikut : (Direktorat Pengembangan Energi)

a. IKE untuk perkantoran (komersil) : 240 kWH/m^2 per tahun
b. IKE untuk pusat belanja : 330 kWH/m^2 per tahun
c. IKE untuk hotel / apartemen : 300 kWH/m^2 per tahun
d. IKE untuk rumah sakit : 380 kWH/m^2 per tahun

Standar IKE (Intensitas Konsumsi Energi) yang ditetapkan Permen ESDM no.13 tahun 2012 tentang kriteria penggunaan energi di gedung perkatoran ber-AC, dinyatakan dalam table 2.2 :

Tabel 2.2. Permen ESDM no.13 tahun 2012

Kriteria	**Konsumsi Energi Spesifik (kWH/m2/bulan**
Sangat Efisien	$x < 8.5$
Efisien	$8.5 \leq x < 14$
Cukup Efisien	$14 \leq x < 18.5$
Boros	$x \geq 18.5$

Rumus Perhitungan IKE (Intensitas Konsumsi Energi) :

$$\text{IKE} = \frac{kWh\ total\ (kWh/bulan)}{Luas\ Total\ (m^2)} \quad \text{.....2.1}$$