

PENGARUH KENAIKAN TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA SISTEM TATA UDARA

Kamin Sumardi

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK UPI

Jl. Dr. Setiabudhi No.207 Bandung 40154

kaminsumardi@yahoo.co.id

Abstract

In designing air conditioning system, global warming effect within a region is a very important factor because it can affect the performance or the efficiency and the electricity consumption of the air conditioning system. The increase in outside environment will increase the heat load that must be controlled by the air conditioning system. This study is aimed to analyze the increase of outside air temperature or the environment in the City of Bandung, West Java, Indonesia on the performance of the air conditioning system and electric energy consumption. Results of this study indicate that an increase in outside environment air temperature by 1°F reduce the cooling power (refrigerating effect) by 0.5 Btu/lb, in average and increases the theoretical compressor power by 0.39 Btu/lb in average. The increase in outside air temperature by 1°F also decreases the Coefficient of Performance (CoP) in average by 0.3; decrease the refrigerant circulation in the system in average by 0.025 lb/ton-min, and raises electric energy consumption in average by 26.38 watts/ton or 0.035 HP/ton.

Key word: temperature raise, electrical energy consumption, efficiency

1. Pendahuluan

Kota Bandung dalam sepuluh tahun terakhir telah mengalami perubahan iklim permukaan yang cukup berpengaruh terhadap kenyamanan tubuh manusia. Perubahan suhu tersebut diakibatkan oleh berbagai faktor, antara lain: penambahan jumlah penduduk, perumahan, berkurangnya luas hutan, pembangunan pabrik-pabrik dan sebagainya. Faktor-faktor tersebut memberikan andil yang cukup besar terhadap percepatan pemanasan global (*global warming*) yang banyak mempengaruhi iklim di suatu negara atau daerah. Sementara itu, perubahan iklim secara global turut mempengaruhi iklim kota Bandung.

Akibat perubahan iklim tersebut sehingga udara kota Bandung semakin tidak nyaman bagi tubuh manusia. Dimana kenyamanan tubuh manusia ada pada suhu 20-26 °C dengan kelembaban udara 45-50% dan kecepatan udara rata-rata 0,25 m/det. (Stoecker & Jones, 1982). Untuk memperoleh

udara yang nyaman tentu udara tersebut harus dikondisikan oleh suatu mesin, yaitu *air conditioner*.

Lang (1971) mendefinisikan tata udara sebagai berikut: proses di mana panas, kebersihan, sirkulasi udara, kandungan uap air dalam udara diatur atau dikondisikan sesuai dengan kebutuhan penggunaannya (manusia). Idealnya, pengkondisian udara tersebut dilakukan atau berlangsung secara terus menerus sepanjang tahun. Pada dasarnya tata udara yaitu membuang panas dari dalam ruangan ke luar ruangan. Untuk membuang panas tersebut juga diikuti dengan persyaratan kenyamanan tubuh manusia dan kesehatan.

Perkembangan sistem tata udara semakin berkembang pesat seiring tumbuhnya kebutuhan manusia. Kebutuhan akan tata udara bukan saja untuk manusia, tetapi juga untuk berbagai keperluan. Perkembangan yang paling mendasar pada saat sekarang yaitu teknologi tata udara yang ramah lingkungan. Bahan pendingin (refrigeran) yang

digunakan harus yang tidak merusak lapisan ozon (O₃). Perkembangan lain dari tata udara yaitu dengan ditambahkan beberapa alat tambahan, misalnya ionizer, inverter, pengharum dan pengatur kelembaban udara. Sistem tata udara juga diharapkan dapat mengkonsumsi listrik yang semakin kecil dengan penggunaan teknologi terkini.

Kondisi iklim atau udara luar merupakan faktor yang berpengaruh besar terhadap kinerja unit pengkondisian udara. Oleh karena itu, perhitungan kondisi udara menjadi sangat penting agar unit pengkondisian udara bekerja efektif. Agar sistem tata udara mampu bekerja baik pada saat beban puncak, maka harus diketahui kondisi temperatur terpanas yang pernah terjadi. Dalam satu tahun akan ada kondisi dimana temperatur mencapai puncaknya (tertinggi). Temperatur tersebut harus dijadikan patokan dalam merancang sistem tata udara dalam menentukan beban pendinginnya. Temperatur tertinggi setiap tahun tidaklah sama, ada kecenderungan terus meningkat. Kecenderungan tersebut seiring dengan perkembangan pembangunan yang tidak berpihak pada lingkungan dan pertambahan kepadatan kota.

Penentuan beban puncak pendinginan akan berpengaruh pada pemilihan unit tata udara. Pemilihan tersebut dapat terjadi menjadi lebih kecil atau terlalu besar. Pemilihan unit tata udara yang tidak tepat akan berpengaruh pada efektivitas dan efisiensi unit tersebut (Jordan & Priester, 1985). Pada gilirannya akan merugikan kedua belah pihak, baik konsumen maupun produsen. Pemilihan unit yang

tidak tepat akan terjadi unit tata udara kurang dingin (tidak nyaman) pada saat terjadi beban puncak. Kemudian akan terjadi pemborosan energi (listrik) apabila pemilihan unit tata udara yang terlalu besar.

Secara umum, tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis kenaikan temperatur udara luar atau lingkungan terhadap kinerja sistem tata udara (*air conditioning*) secara keseluruhan. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk melihat dampak dari kenaikan temperatur luar/lingkungan terhadap kinerja sistem tata udara yang meliputi: efek pendinginan (*refrigerating effect*), daya kompresor teoritis, koefisien kinerja (CoP), refrigeran yang mengalir dalam sistem dan konsumsi energi listrik pada sistem tata udara (*air conditioning*).

2. Metodologi

Metode penelitian adalah eksperimen yang digabungkan dengan analisis mendalam secara teoritis data dari lapangan. Penelitian ini dilaksanakan di Kota Bandung dengan mengambil data perubahan temperatur lingkungan dalam rentang lima tahun terakhir. Data yang telah diperoleh dari BMKG Kota Bandung dianalisis secara teoritis dengan menggunakan diagram tekanan-enthalpi (p-h diagram). Komponen yang dianalisis meliputi efek pendinginan (*refrigerating effect*) atau RE, daya kompresor teoritis (W), *Coeffisien of Performance* (CoP), refrigeran yang mengalir di sistem, dan konsumsi energi listrik tiap ton refrigerasi (hp dan watt).

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan

T _u (°F) (°C)	RE (Btu/lb)	W (Btu/lb)	CoP	Refrigeran yg yg bersirkulasi (lb/ton-min)	Piston displacement (cu.ft/ton.min)	HP/Ton	Watt/ton
100/37,7	65.00	8.50	7.647	3.077	2.382	0.616	459,479
101/38,3	64.50	9.00	7.167	3.101	2.400	0.657	490,278
102/38,9	64.00	9.50	6.737	3.125	2.419	0.699	521,559
103/39,4	63.50	9.83	6.460	3.150	2.438	0.729	543,926
104/40,0	63.00	10.16	6.201	3.175	2.457	0.760	566,647
105/40,5	62.50	10.50	5.952	3.200	2.477	0.791	590,295
106/41,1	62.00	10.83	5.725	3.226	2.497	0.823	613,757
107/41,6	61.50	11.16	5.511	3.252	2.517	0.855	637,601
108/42,2	61.00	11.50	5.304	3.279	2.538	0.888	662,411
109/42,8	60.50	12.00	5.042	3.306	2.559	0.934	696,924

Tabel 2. Rata-rata Hasil Perhitungan

RE (Btu/lb)	W (Btu/lb)	CoP	Refrigeran yg bersirkulasi (lb/ton-min)	Piston displacement (cu.ft/ton.min)	HP/Ton	Watt/ton
0,50	0,50	0,480	0,024	0,018	0,041	30,80
0,50	0,50	0,430	0,024	0,019	0,042	31,28
0,50	0,33	0,277	0,025	0,019	0,030	22,37
0,50	0,33	0,259	0,025	0,019	0,031	22,72
0,50	0,34	0,249	0,025	0,020	0,031	23,65
0,50	0,33	0,227	0,026	0,020	0,032	23,46
0,50	0,33	0,214	0,026	0,020	0,032	23,84
0,50	0,34	0,207	0,027	0,021	0,033	24,81
0,50	0,50	0,262	0,027	0,021	0,046	34,51
0,50	0,50	0,480	0,024	0,018	0,041	30,80
<0,50	>0,39	<0,289	>0,025	>0,020	>0,035	>26,383

Keterangan:

T_u = temperatur udara luar atau lingkungan

RE (refrigerating effect) = efek pendinginan

W = daya atau kerja kompresor

CoP = Coeffisien of Performance = koefisien kinerja unit AC

Piston displacemen = volume/isi piston kompresor

HP/Ton dan Watt/Ton = konsumsi energi listrik

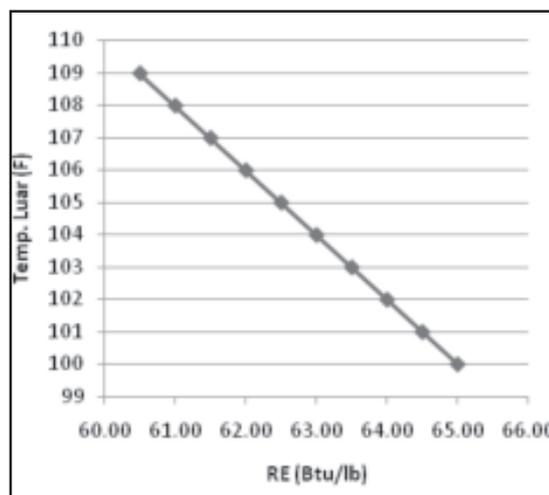
Lambang < adalah penurunan dan lambang > adalah kenaikan

Semua parameter tersebut didapatkan dari p-h diagram R-134a, karena cukup panjang tidak dipaparkan disini, tetapi dalam pembahasannya dijelaskan.

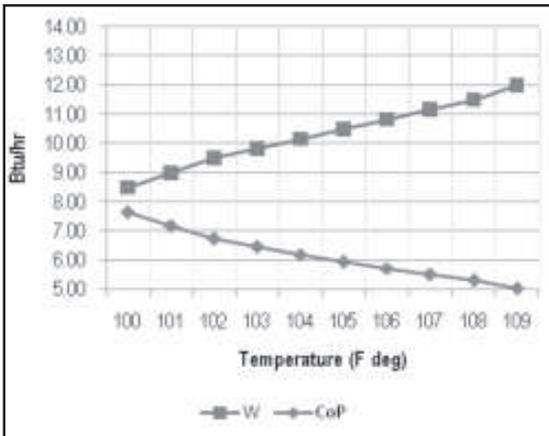
Untuk mendukung hasil data analisis secara teoritis, dilakukan eksperimen (tes) yang dilakukan di Lab. Teknik Refrigerasi dan Rata Udara FPTK UPI. Eksperimen ini dilakukan untuk mendukung hasil analisis secara teoritis yang diterapkan pada sistem sesungguhnya. Eksperimen dilakukan pada AC tipe Split dengan kapasitas 1 HP. Kondenser yang disimpan di luar ruangan yang berhubungan dengan cuaca luar dikondisikan dengan diberikan temperatur yang berbeda-beda dengan selisih 1 °F. Setiap perbedaan temperatur diukur arus listrik yang masuk dengan menggunakan tang amper (amper meter).

3. Hasil dan Pembahasan

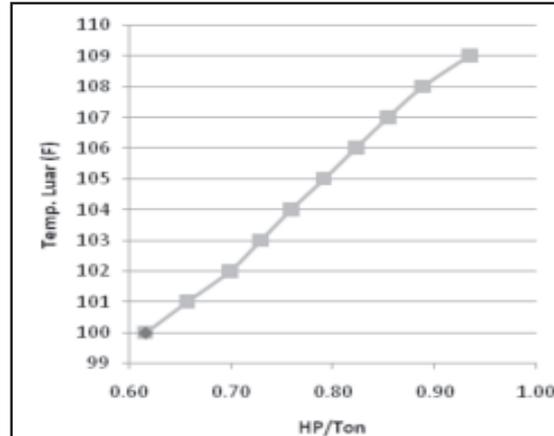
Setelah dilakukan analisis secara teoritis pada diagram tekanan-entalpi dan pengukuran serta pengamatan selama eksperimen, telah diringkas pada tabel 1 dan tabel 2.



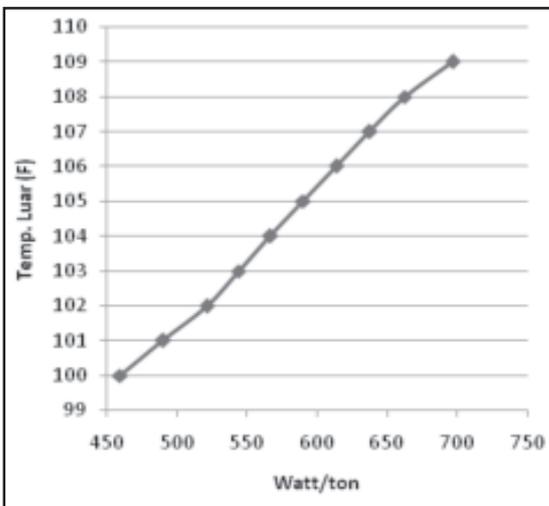
Gambar 1. Grafik temperatur luar terhadap efek pendinginan (RE)



Gambar 2. Grafik temperatur luar terhadap kerja kompresor dan CoP



Gambar 3. Grafik temperatur luar terhadap konsumsi energi listrik (HP/Ton)



Gambar 4. Grafik temperatur luar terhadap konsumsi energi listrik (Watt/Ton)

Pembahasan hasil analisis dan eksperimen akan dipaparkan sesuai dengan urutan kolom yang ada pada Tabel 1 dan 2. Pembahasan merupakan kajian dari perpaduan secara teoritis dan hasil tes/eksperimen yang telah dilakukan. Hasil eksperimen dengan analisis secara teoritis memang ada perbedaan, namun secara umum konsep dan kecenderungannya memiliki kesamaan. Rentang temperatur yang dianalisis merupakan temperatur kerja yang terjadi pada condensing unit pada sistem tata udara.

Efek pendinginan (*refrigerating effect*) atau RE, merupakan kemampuan unit tata udara (AC) dalam

mengambil panas dari dalam ruangan. Kemampuan tersebut akan dipengaruhi oleh jenis evaporator, katup ekspansi, refrigeran dan termodinamika proses (Gunawan, 1988). Efek pendinginan inilah yang menjadi patokan dalam sistem tata udara apakah unit itu dingin, kurang dingin atau tidak dingin. Efek pendinginan dapat diukur pada evaporator dalam unit tata udara (AC). Apabila dilihat dari p-h diagram, makin panjang garis evaporasi, makin besar kemampuan pendinginannya dan sebaliknya. Sedangkan hasil pengukuran pada eksperimen menunjukkan bahwa setiap kenaikan temperatur 1 °F ada penurunan RE sebesar 0,5 Btu/lb. Hal tersebut menunjukkan bahwa kenaikan udara lingkungan akan menurunkan efek pendinginan pada sistem AC. Penurunan tersebut terjadi untuk setiap 1 HP daya AC, jika dalam satu gedung daya AC-nya besar maka akan besar pula penurunannya efek pendinginannya. Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ketika udara luar/lingkungan (T_u) berpengaruh kurang baik pada efek pendinginan (RE). Pada Gambar 1, menunjukkan laju penurunan efek pendinginan yang terjadi di dalam sistem tiap kenaikan 1°F. Udara luar/lingkungan (T_u) naik akan menimbulkan turunnya efek pendinginan.

Daya kompresor teoritis (W), merupakan daya kompresor yang dihitung secara berdasarkan beban pendinginan yang dilihat pada diagram tekanan-entalpi (p-h diagram). Daya kompresor menunjukkan kekuatan atau kemampuan kompresor dalam menghasilkan efek pendinginan (ASHRAE, 2001). Daya kompresor berkaitan erat dengan motor listrik penggerak kompresor. Semakin besar daya

kompresor, maka makin besar pula motor listrik yang diperlukan. Pemilihan jenis kompresor akan berpengaruh terhadap efisiensi kompresor tersebut. Gambar 2 menunjukkan bahwa temperatur udara luar mempengaruhi kinerja kompresor. Kenaikan temperatur udara luar akan menaikkan kerja kompresor. Artinya ada kenaikan konsumsi energi listrik.

Daya kompresor teoritis bekerja pada garis tekanan dan entalpi tidak konstan. Pada kasus ini entalpi refrigeran yang ke luar kompresor (atau yang masuk ke kondenser) atau h_2 dikurangi oleh entalpi refrigeran yang masuk ke kompresor atau h_1 (Carrier, 1965). Hasil pengurangan tersebut merupakan daya yang harus ditanggulangi oleh kompresor dalam hal ini adalah motor kompresor. Makin panjang garis tersebut makin melengkung dan akan membuat bertambah besar atau meningkat pula daya kompresor. Hal tersebut tentu saja dipengaruhi oleh naiknya temperatur udara luar/lingkungan (T_u), seperti terlihat pada Tabel 1. Pada Gambar 2, menunjukkan laju kenaikan daya kompresor teoritis yang terjadi di dalam sistem tiap kenaikan 1°F . Tentu saja hal tersebut baru berdasarkan teoritis sehingga perlu dibuktikan secara eksperimen yang akan dinyatakan dalam satuan daya listrik Watt atau HP.

Coeffisien of Performance (CoP), merupakan koefisien kinerja unit AC yang merupakan hasil dari pembagian efek refrigerasi (RE) dengan daya kompresor teoritis (W). CoP tidak memiliki satuan, namun maksimum bernilai satu (1). Artinya, apabila nilai CoP-nya mendekati satu (1), maka dikatakan koefisien kinerja unit AC tersebut sangat baik dan sebaliknya, bila nilai CoP-nya mendekati 0, maka dikatakan koefisien kinerja unit tata udara (AC) tersebut tidak baik. Tabel 1 memperlihatkan pengaruh temperatur udara luar/lingkungan (T_u) terhadap CoP. Kenaikan temperatur udara luar akan menurunkan CoP unit tata udara (AC) tersebut. Gambar 3 menunjukkan tingkat penurunan CoP yang terjadi di dalam sistem tiap kenaikan 1°F .

Refrigeran yang mengalir di sistem, merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi dan kinerja suatu unit tata udara (AC). Setiap refrigeran memiliki spesifikasi yang berbeda-beda dengan keperluan yang berbeda pula. Refrigeran untuk tata udara (AC) berbeda dengan refrigeran yang digunakan di refrigerator (kulkas) atau yang digunakan pada AC mobil. Dipasaran banyak refrigeran yang beredar sesuai dengan kebutuhan

alat dan industri tertentu, misalnya R-134a, R-12, R-22, R-507, Amoniak dan sebagainya.

Refrigeran yang mengalir di sistem unit tata udara (AC) sesungguhnya bergantung pada kinerja katup ekspansi (TXV atau pipa kapiler). Katup ekspansi atau pipa kapiler merupakan penyuplai refrigeran ke evaporator (Althouse, A.D., Turnquist, C.H., and Bracciano, A.F., 1992). Efisiensi aliran refrigeran yaitu ketika refrigeran disuplai sesuai dengan kebutuhan beban panas yang terjadi di evaporator. Makin baik atau lancar aliran refrigeran, maka makin baik pula kinerjanya. Ketika beban panas naik, refrigeran mengalir harus besar pula dan sebaliknya bila beban panas berkurang, refrigeran alirannya dikurangi. Ketika adanya kenaikan temperatur udara luar/lingkungan (T_u) berpengaruh pada jumlah refrigeran yang harus mengalir dalam unit AC. Sehingga makin tinggi temperatur udara luar/lingkungan (T_u), makin banyak refrigeran yang dialirkan dalam unit AC, seperti terlihat pada Tabel 1.

Konsumsi energi listrik tiap ton refrigerasi (hp dan watt) merupakan sumber tenaga yang digunakan oleh unit AC untuk beroperasi (Air Conditioning & Refrigeration Institute, 1987). Energi listrik yang dihitung dalam penelitian ini yaitu tiap ton refrigerasi atau TR, dimana 1 TR adalah 12.000 Btu. Konsumsi energi listrik sangat sulit untuk dikurangi karena terkait dengan kinerja kompresor. Kompresor 1 hp maka ia akan mengkonsumsi listrik kurang lebih 750 watt. Apabila dikurangi kompresor tersebut tidak akan bisa bekerjadenganbaik. Untuk meningkatkan efisiensi kompresor diperlukan faktor-faktor yang mendukung menaikkan efisiensi kerja kompresor.

Pada tabel 2, ditunjukkan bahwa setiap kenaikan temperatur udara luar/lingkungan 1°F akan menaikkan konsumsi listrik rata-rata 0,035 hp/ton atau 26,38 watt/ton. Hal tersebut diukur pada 10 temperatur udara luar yang berbeda. Sedangkan pada tabel 1, menunjukkan peningkatan konsumsi listrik pada sistem udara dan pada Gambar 3 dan 4, menunjukkan laju kenaikan konsumsi listrik unit tata udara tiap kenaikan 1°F . Data tersebut menunjukkan bahwa kenaikan udara luar/lingkungan dapat meningkatkan konsumsi energi listrik setiap 1 hp-nya yaitu 26,38 watt. Misalkan dalam satu gedung perkantoran menggunakan sistem tata udara (AC) 10 uah dengan masing-masing unit 1 hp, maka kenaikan konsumsi listrik adalah 263,8 watt. Diasumsikan unit tata udara (AC) tersebut bekerja 5 hari dalam seminggu artinya

5x263,8= 1.319 watt, untuk satu bulan (asumsi 22 hari kerja) 22x263,8=5.803,6 watt. Artinya setiap bulan kantor tersebut akan membayar kelebihan daya 5.803 watt dari yang seharusnya. Apabila hal tersebut berlangsung setahun, atau bertahun-tahun, maka akan makin besar kerugian dan pemborosan energi listrik.

Hal tersebut di atas merupakan salah satu contoh kecil saja, dapat kita kalkulasikan apabila dalam satu buah mall yang menggunakan tata udara dengan menggunakan daya ratusan hp. Atau hotel berbintang dengan ratusan kamar yang mencapai daya sistem tata udara antara 100-200 TR, berapa banyak energi listrik yang dikonsumsi dan berapa kerugian yang harus ditanggung baik oleh masyarakat maupun pemerintah. Oleh karena itu, menjaga lingkungan agar tetap sejuk, hindari bahan atau kegiatan yang menimbulkan efek rumah kaca dan *global warming*. Tanam pohon, jaga hutan dan kurangi konsumsi bahan bakar minyak, plastik dan bahan perusak lingkungan lainnya.

Daftar Pustaka

- Air Conditioning & Refrigeration Institute. 1987. *Refrigeration and Air Conditioning 2nd Edition*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.
- Althouse, A.D., Turnquist, C.H., and Bracciano, A.F. 1992. *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. The Goodheart & Wilcox Co. Inc., Illinois.
- ASHRAE. 1997. *ASHRAE Handbook of Air Conditioning Fundamentals SI Edition*. ASHRAE Engineers Inc., Atlanta.
- ASHRAE. 2001. *Handbook and Fundamental Air Conditioning*. George Bantu Corp. Inc., Wisconsin.
- Carrier. 1965. *Handbook of Air Conditioning System Design*. McGraw Hill Book Co., New York.
- Gunawan, R. 1988. *Pengantar Teori Teknik Pendingin*. Depdikbud, Jakarta
- Jordan, R.C. and Priester, G. B. 1985. *Refrigeration and Air Conditioning*. Prentice Hall of India, New Delhi.
- Lang, P.V. 1971. *Principles of Air Conditioning*. Delmar Publishers Inc., New York.
- Stoecker, W.F., and Jones, J.W. 1987. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Alih Bahasa Supratman Hara. Erlangga, Jakarta.

4. Simpulan dan Saran

Hasil dari analisis dan tes terhadap sistem tata udara (AC) dapat disimpulkan bahwa kenaikan temperatur udara luar/lingkungan berpengaruh besar terhadap kinerja secara keseluruhan. Setiap kenaikan temperatur udara luar 1 °F dapat menurunkan daya pendinginan (*refrigerating effect*) dan menurunkan sirkulasi refrigeran serta menurunkan koefisien kinerja atau CoP (*Coeffisien of Performace*) dalam sistem tata udara. Kenaikan temperatur udara luar juga berpengaruh besar terhadap kenaikan daya kompresor secara teoritis. Selain itu naiknya udara luar/lingkungan ternyata dapat meningkatkan konsumsi energi listrik pada sistem tata udara.

Penggunaan system tata udara untuk rumah atau kantor, sebaiknya memperhatikan tata letak outdoor atau condensing unit. Usahakan disimpan dengan sirkulasi udara yang baik dan tidak terlalu dekat dengan benda yang menghasilkan panas. Jarak penyimpanan minimal 35 cm dari dinding atau tembok menggunakan dudukan yang berperedam.