

Analisa Frekwensi (*Hourly Frequency*) Temperatur dan Kelembaban Jakarta Tahun 1994 – 1996 dengan menggunakan Metoda *Modified Bin* pada *Psychrometrics*

M. Idrus Alhamid

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424
E-mail : mamak@indo.net.id

Abstrak

Data Meteorologi, – terutama data temperatur, kelembaban, radiasi matahari, tekanan udara dan kecepatan angin – sangat diperlukan pada perhitungan beban pendinginan untuk perancangan sistem tata udara dan refrigerasi. Paper ini menganalisa data jam-jaman (hourly data) suhu dan kelembaban di Jakarta selama tiga tahun, mulai tahun 1994 sampai dengan tahun 1996. Data yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika Stasiun Menteng/Kwitang sebanyak 26.304 buah data, diperiksa terlebih dahulu terhadap kesalahan “ketik” ketika memasukkan data dry bulb dan wet bulb kedalam komputer, beda suhu (depression) antara temperatur bola kering (dry bulb) dan temperatur bola basah (wet bulb) serta konsistensi dengan data secara berturutan. Selanjutnya dihitung kandungan uap air yang ada di udara berdasarkan tekanan udara (diasumsikan konstan sebesar 101.325 kPa), temperatur bola kering dan bola basah berdasarkan persamaan yang direkomendasikan. Kemudian data tersebut dikelompokkan pada diagram psychrometrics udara, yang telah dibagi dalam kelompok yang sejajar dengan sumbu x (temperatur, °C) dan sumbu y (kelembaban, $g_{air}/kg_{udara\ kering}$) serta kelompok lain yaitu kelompok temperatur bola kering dan temperatur bola basah. Dari hasil analisa data jam-jaman, tampak bahwa kejadian yang terbanyak harian (pk 7 – 6 WIB) berada pada daerah temperatur bola kering 26 – 27 °C dengan rasio kelembababan 18 – 19 gr/kg udara kering sebanyak 1731 kali, serta pada daerah suhu 26 – 27 °C dengan temperatur bola basah sebanyak 2518 kali. Untuk waktu yang lain, antara pukul 7 – 18 WIB, 11 – 14 WIB serta pukul 19 – 06 WIB dapat dilihat digambar yang disajikan.

Kata kunci: Penghematan Energi, Psychrometrics, Beban Pendinginan, Perancangan Sistem Tata Udara.

Pendahuluan

Dalam merancang sistem tata udara, seorang perancang memerlukan data temperatur dan kelembaban udara luar guna menghitung beban pendinginan. Beban pendinginan tsb dapat dibedakan menjadi beban akibat aliran kalor sensibel dan aliran kalor laten yang masuk atau keluar sistem tsb.. Beban sensibel sangat dipengaruhi oleh suhu udara luar, radiasi matahari dan kecepatan angin, sedang beban laten dipengaruhi oleh kelembaban (untuk udara ventilasi) dan tekanan udara (untuk beban infiltrasi udara). Untuk perancangan sistem tata udara data yang paling berperan adalah temperatur udara luar, sedang untuk memilih peralatan pembuang kalor, misalnya cooling tower, evaporative cooler maupun air-cooled condenser, lebih dititik beratkan kepada temperatur bola basah. Dengan prakiraan data temperatur dan kelembaban yang mendekati kenyataan, maka perhitungan dalam perancangan sistem dan pemilihan peralatannya juga mendekati kebenaran, sehingga tidak hanya tercapai kenyamanan termal yang diinginkan, tetapi juga dapat menghemat biaya secara keseluruhan, baik biaya pembelian peralatan, persiapan ruang (space) serta biaya operasional termasuk biaya energinya.

Untuk merancang diperlukan data meteorologi bulanan atau tahunan (8760), data tsb diolah sehingga didapatkan 0.4% (35 jam), 1% (88 jam), 2% (175 jam) dan 5% (438 jam) dilampaui dalam waktu setahun, walaupun mungkin saja tidak sama setiap tahunnya, untuk itu data yang ada dikelompokkan kedalam *bin* (kotak). Rudoy (1979) menyarankan temperatur bola kering guna perancangan sistem tata udara guna perhitungan beban pendinginannya, untuk Jakarta yaitu 32.2 °C, 31.7 °C dan 31.1 °C, sedang temperatur bola basah 26.7 °C, 26.1 °C dan 25.5 °C berturut turut untuk *failure rate* sebesar

1.0%, 2.5% dan 5%. *Failure rate* adalah jumlah jam (akumulatif) yang terjadi diatas temperatur tertentu. ASHRAE (1993) pernah memuat data temperatur dan kelembaban guna perancangan kota Jakarta, tetapi pada tahun 1997 data tersebut “dihapus” atau tidak tercantum dari handbook yang ada, namun demikian dalam ASHRAE (2005) menyantumkan lagi data temperatur Jakarta yang diwakili oleh data dari Bandara Sukarno Hatta sebesar 33.2 °C, 32.9 °C dan 32.2 °C, sedang temperatur bola basah 27.7 °C, 27.3 °C dan 27 °C berturut turut untuk *failure rate* sebesar 0.4%, 1% dan 2%. Rana (2006) dalam diskusi HATUR menganalisa data temperatur tahun 1994 – 1996 yang didapat dari Station Badan Meteorologi & Geofisika (BMG – Patung Tani – Menteng) Jakarta, dengan hasil temperatur bola kering sebesar 33.4 °C, 33.0 °C dan 33.6°C serta temperatur bola basah sebesar 26.9 °C, 26.6 °C dan 26.2°C pada failure rate 0.5 %, 1 % dan 1.5 %. Rana juga menganalisa temperatur maksimum yaitu sebesar 34°C yang terjadi hanya empat jam dan temperatur bola basahnya adalah 27.4°C yang terjadi hanya enam jam. SNI (1993) menyarankan kondisi perancangan luar untuk Jakarta sebesar 33°C dan RH 74 % (setara dengan temperature bola basah 28.9 °C), sedangkan kondisi udara luar maksimum ada pada temperatur sebesar 35 °C dan RH 95% (setara dengan temperatur bola basah 34.3 °C).

Metodologi

Didalam pengolahan data dilakukan langkah langkah sebagai berikut :

- Data yang ada diperiksa dan ditest atas kesalahan ketik.
- Dari data temperatur bola kering dan temperatur bola basah dihitung rasio kelembabannya.
- Mempersiapkan bin pada bagan psychrometrics pada sumbu x (temperatur) setiap satu derajat Celsius dan sumbu y (rasio kelembaban) setiap satu gram per kilogram udara kering.
- Menghitung frekwensi/kejadian temperatur dan rasio kelembaban secara bersamaan (simultan) sesuai dengan bin yang dipersiapkan.
- Demikianpula untuk bin temperatur bola kering dan temperatur bola basah.

Psychrometrics

Diagram Psychrometrics digunakan untuk menunjukkan hubungan antara sifat sifat udara, apabila diketahui dua properties yang lain pada tekanan udara yang konstan. Dalam hal ini diasumsikan bahwa tekanan udara adalah 101.325 kPa untuk kondisi ketinggian nol meter atau diatas permukaan laut. Rumus rumus yang dipergunakan guna mengetahui sifat sifat termodinamika udara digunakan acuan yang dianjurkan oleh ASHRAE pada Olivieri (1986). Dari data temperatur bola kering dan bola basah, untuk menghitung rasio kelembaban digunakan rumus :

$$W = \frac{(2501 - 2.381t_{wet})W_{sat,wet} - c_{pa}(t - t_{wet})}{2501 + 1.805t - 4.186t_{wet}} \quad (1)$$

dimana :

- t = temperatur udara (bola kering), °C,
- t_{wet} = temperatur bola basah, °C,
- W = rasio kelembaban (*humidity ratio*), g uap air/kg udara kering
- $W_{sat,wet}$ = rasio kelembaban kondisi saturasi dan temperatur bola basah, g uap air/kg udara kering
- c_{pa} = kalor jenis udara, kJ/kg.°C.

Adapun $W_{wet,sat}$ dapat dihitung dari hubungan antara rasio kelembaban dan tekanan saturasi, yaitu :

$$W_{sat,wet} = 0.62198 \frac{P_{sat,wet}}{p - P_{sat,wet}} \quad (2)$$

dimana :

p = tekanan udara, Pa.

$p_{sat,wet}$ = tekanan uap air kondisi saturasi dan pada temperatur bola basah, Pa

Untuk menghitung tekanan uap air pada kondisi saturasi pada temperatur antara 273.15 °K dan 322.15 °K digunakan rumus :

$$p_{sat} = 1000 \exp(\alpha) \quad (3)$$
$$\alpha = AT^2 + BT + C + DT^{-1}$$

dimana :

p_{sat} = tekanan uap air pada kondisi saturasi, Pa

T = temperatur absolut, °K

A = $0.1255001965 \times 10^{-4}$

B = $-0.1923595289 \times 10^{-1}$

C = 0.2705101899×10^2

D = $-0.6344011577 \times 10^4$

Jadi, dengan mengetahui data temperatur bola kering dan bola basah dapatlah dihitung rasio kelembabannya.

Pengolahan Data

Data yang diolah adalah data temperatur bola kering dan bola basah yang dicatat setiap jam (0 – 23 GMT) secara bersamaan untuk tahun 1994 (365 hari atau 8760 jam), 1995 (365 hari atau 8760 jam) dan 1996 (366 hari atau 8784 jam), atau jumlah totalnya 26304 pasang data. Selanjutnya data yang ada “diperiksa” terlebih dahulu atas kesalahan dalam pengetikan. Jenis kesalahan yang dapat terjadi adalah kesalahan ketik yang “nyata” misalnya komanya dua kali; atau nilainya “tidak masuk akal” dll. Jenis kesalahan kedua adalah apabila temperatur bola kering lebih kecil dari temperatur bola basah. Untuk perbaikan kedua kesalahan tersebut, pedoman yang digunakan adalah nilai yang berurutan sebelum dan sesudah kesalahan itu. Untuk kesalahan jenis pertama, diperbaiki kesalahan ketiknya. Untuk kesalahan jenis kedua kemungkinan kesalahannya dapat terjadi pada temperatur bola kering (9 pasang) atau temperatur bola basah (6 pasang), apabila hal ini tidak dapat “diperbaiki” maka data tersebut tidak dipakai lagi atau dihapus (46 pasang), total sejumlah 61 pasang data (atau 0.23 %), sehingga yang akan diolah sejumlah 26243 pasang data.

Selanjutnya diagram Psychrometrics dibagi bagi menurut sumbu x (temperatur, °C) dengan interval satu °C dan sumbu y (rasio kelembaban, $g_{air}/kg_{udara\ kering}$) dengan interval satu $g_{air}/kg_{udara\ kering}$, sehingga masing masing merupakan sebuah “bin” atau kelompok. Kemudian setiap pasang data dimasukkan kedalam bin yang bersangkutan. Sebagai contoh, sejumlah data (misalkan, 114 buah) masuk dalam bin antara 24 – 25 °C dan antara 16 – 17 $g_{air}/kg_{udara\ kering}$ berarti ada sebanyak 114 kali (jam) kejadian temperatur sebesar 24 °C dan lebih kecil dari 25 °C serta kelembaban sebesar 16 dan lebih kecil 17 $g_{air}/kg_{udara\ kering}$. Demikianpula untuk pengelompokan antara temperatur bola kering (°C) dan temperatur bola basah (°C). Periode waktu yang digunakan adalah untuk keseluruhan selama tiga tahun dan setiap jam 0 – 23 GMT (7 – 6 WIB), siang hari 0 – 11 GMT (7–18 WIB), tengah hari 4 – 7 GMT (11–14WIB) dan malam hari 12–23 GMT (19– 6 WIB).

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengelompokan dan frekwensi kejadiannya dapat dilihat pada gambar 1 – 4, sedang frekwensi kejadian dua terbesar dapat dilihat pada tabel I.

Untuk empat baris bagian atas adalah pengelompokan berdasarkan temperatur dan kelembaban ditandai dengan huruf tebal (*bold*), sedang kelembaban relative (RH) dan temperatur bola basahnya dihitung berdasarkan temperatur dan kelembaban. Empat baris berikutnya adalah berdasarkan

temperatur bola kering dan temperatur bola basah, ditandai dengan huruf tebal (bold), sedang kelembaban relative (RH) dan rasio kelembabannya dihitung berdasarkan temperatur bola kering dan temperatur bola basah. Tampak, seolah olah ada ketidak konsistenan antara keduanya, hal ini dapat terjadi karena batas atas dan batas bawah yang berbeda, yang satu menggunakan rasio kelembaban sebagai batasnya sedang yang lain menggunakan temperatur bola basah sebagai batasnya.

Tabel I : Frekwensi dua terbesar dari pengelompokkan temperatur dan kelembaban serta temperatur bola kering dan temperatur bola basah.

Periode waktu	Jumlah data	Temperatur bola kering	Kelembaban $g_{air}/kg_{u. kering}$	RH %	Temperatur bola basah	Frekwensi kali (jam)	% total
0 – 23 GMT (7 – 6 WIB)	26 258	26 – 27	18 – 19	80 – 88	24 – 25	1731	6.6
		25 – 26	18 – 19	84 – 93	24 – 25	1694	6.5
0 – 11 GMT (7–18 WIB)	13 135	29 – 30	18 – 19	67 – 74	25 – 26	834	6.3
		30 – 31	18 – 19	64 – 70	25 – 26	819	6.2
4 – 7 GMT (11–14WIB)	4 379	31 – 32	17 – 18	56 – 63	25 – 26	381	8.7
		30 – 31	18 – 19	63 – 70	25 – 26	372	8.5
12–23 GMT (19– 6 WIB)	13 123	25 – 26	18 – 19	84 – 94	24 – 25	1324	10.1
		26 – 27	18 – 19	80 – 88	24 – 25	1276	9.7
0 – 23 GMT (7 – 6 WIB)	26 258	26 – 27	18 – 19	84 – 85	24 – 25	2518	9.6
		27 – 28	17 – 19	78 – 79	24 – 25	2004	7.6
0 – 11 GMT (7–18 WIB)	13 135	29 – 30	17 – 18	66 – 67	24 – 25	786	5.9
		27 – 28	17 – 19	78 – 79	24 – 25	743	5.6
4 – 7 GMT (11–14WIB)	4 379	31 – 32	17 – 19	62 – 63	25 – 26	606	13.8
		30 – 31	18 – 19	67 – 68	25 – 26	569	12.99
12–23 GMT (19– 6 WIB)	13 123	26 – 27	18 – 19	84 – 85	24 – 25	1854	14.1
		25 – 26	17 – 18	84 – 85	23 – 24	1454	11.1

Gambar 1 memberikan gambaran frekwensi kejadian pasangan temperatur dan kelembaban di Jakarta selama tiga (1994 – 1996) antara pukul 7 WIB s/d 6 WIB (0 s/d 23 GMT), terdapat empat kali didaerah nyaman sebagaimana yang ditentukan oleh ASHRAE Standard (1995). Kejadian tersebut boleh jadi terjadi diwaktu malam hari (lihat gambar 4) atau dipagi hari (lihat gambar 2). Temperatur 34 °C dilampai hanya 4 kali selama tiga tahun (atau 0.015 %) sedangkan 33 °C dilampai sebanyak 165 kali (atau 0.68 %). Adapun rasio kelembaban maksimum 22 $g_{air}/kg_{udara kering}$ dan lebih dari itu, terjadi 5 kali, itupun terjadi ditengah hari (lihat pula gambar 3). Dari gambar satu pula, terlihat bahwa failure rate untuk temperatur bola kering sebesar 33 °C adalah 0.6% (169 jam/26.258 jam), hal ini terjadi di siang hari (gambar 2).

Konsep *failure rate* juga dapat digunakan untuk menganalisa kelembaban kota Jakarta. Untuk rasio kelembaban 20 $g_{air}/kg_{u. kering}$ *failure rate*- nya cukup tinggi sebesar 2.4%, hal ini juga terjadi disiang dan malam hari (lihat gambar 2-4). Rasio kelembaban 20 $g_{air}/kg_{u. kering}$ dapat digunakan sebagai dasar perancangan untuk ruang penyimpanan barang atau arsip.

Untuk temperatur bola basah, terlihat pada gambar 5 bahwa temperatur 26 °C dan 27 °C mempunyai *failure rate* berturut turut 0.12 % dan 3.8 %. Hal ini terutama terjadi di siang hari sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6, yaitu sebesar 0.2 % dan 6.3 %, bahkan di tengah haripun *failure rate* masih cukup tinggi yaitu 0.4% dan 9% sebagaimana ditunjukkan digambar 7.

Kesimpulan

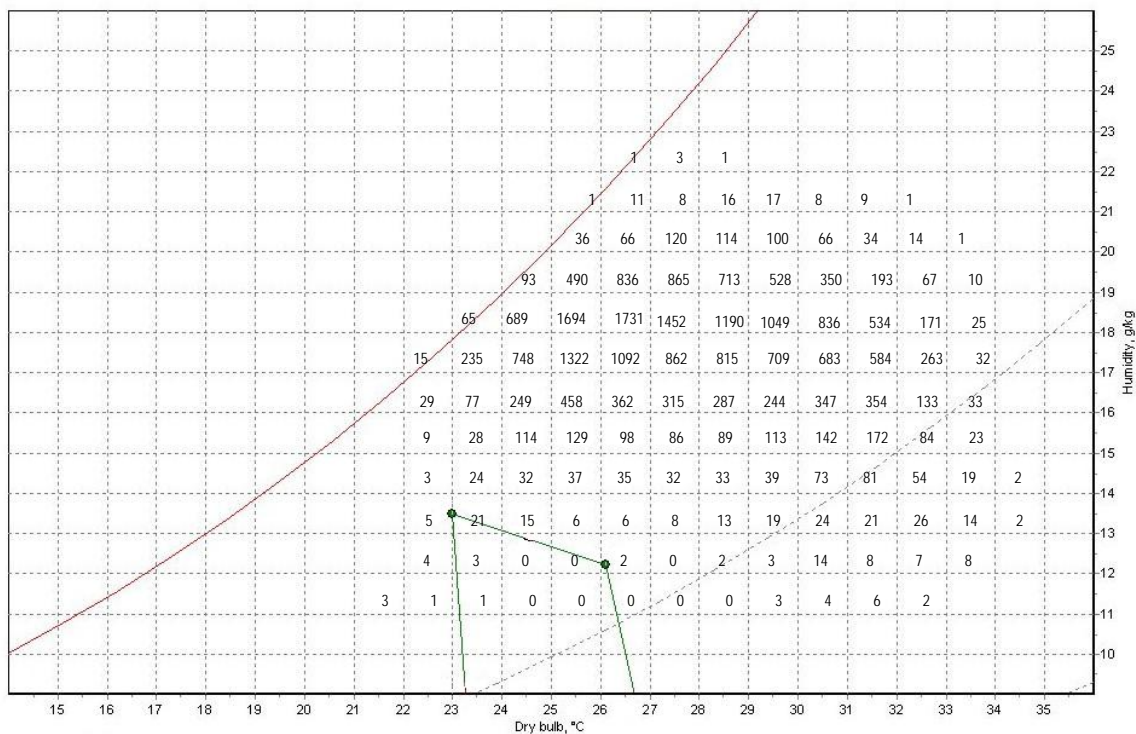
1. Frekwensi dua terbanyak dari kelompok temperatur dan kelembaban serta kelompok temperatur bola kering dan temperatur bola basah dapat dilihat ditabel I.
2. Untuk perancangan sistem tata udara hendaknya menggunakan temperatur udara luar sebesar 33 °C
3. Untuk perancangan guna memilih peralatan pembuang kalor hendaknya menggunakan temperatur bola basah sebesar 26 °C.

Ucapan Terimakasih

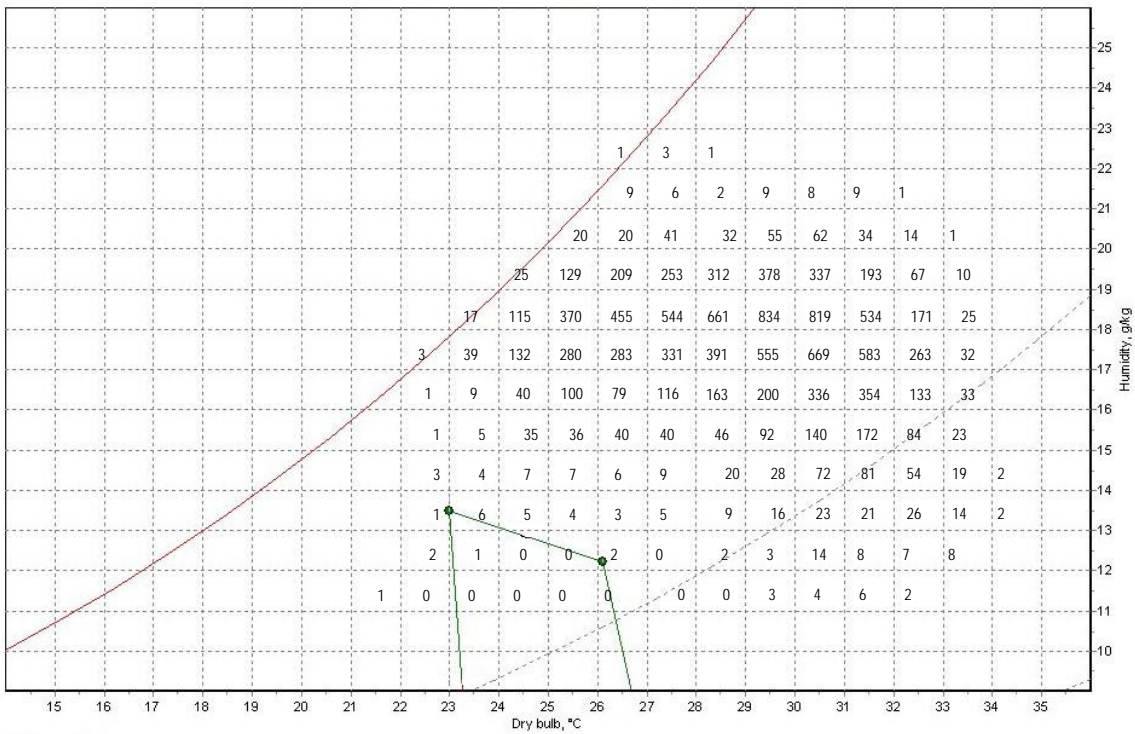
Terimakasih kami sampaikan kepada Bapak Ir. Rana Yusuf atas izin dan pemberian data BMG untuk diolah dan dianalisa.

Daftar Pustaka.

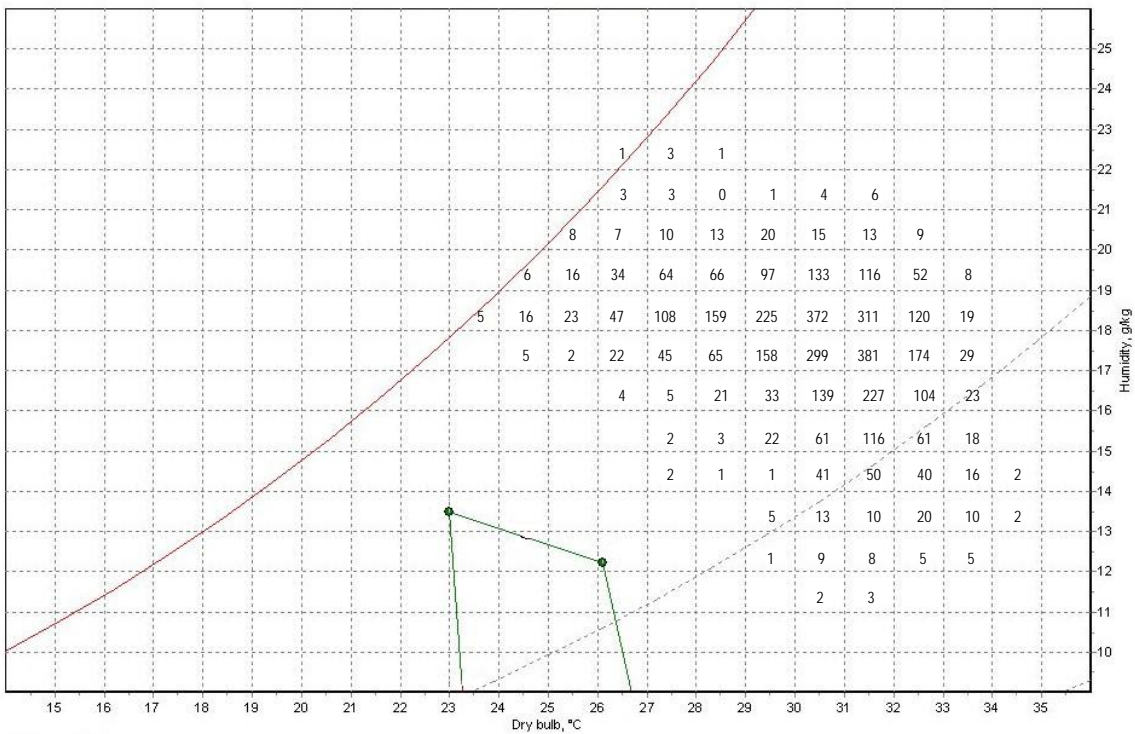
ASHRAE, 1993, *ASHRAE Handbook Fundamentals*, SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., USA.
 ASHRAE, 1997, *ASHRAE Handbook Fundamentals*, SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., USA.
 ASHRAE, 2005, *ASHRAE Handbook Fundamentals*, SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., USA.
 ASHRAE Standard, 1995, ANSI/ASHRAE 55a-1995, *Thermal Environmental Condition for Human Occupancy*, Addendum to ANSI-ASHRAE 55-1992, ASHRAE, USA
 Olivieri, J dan Singh T, 1996, *Psychrometrics : Theory and Practices*, ISBN 1-883413-39-7, ASHRAE, USA.
 Rudoy, William et all, 1979, *Cooling and Heating Load Calculation Manual*, ASHRAE GRP 158, ASHRAE, USA.
 SNI, 1993, SNI T-14-1993-03, *Tatacara Perancangan Konservasi Energi Pada Bangunan Gedung*, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
 Yusuf, Rana, 2006, *Outdoor air dry bulb dan wet bulb untuk cooling load calculation*, Diskusi Terbatas HATUR, Himpunan Ahli Tata Udara dan Refrigerasi (HATUR), 14 Agustus, Gedung PII, Jakarta.



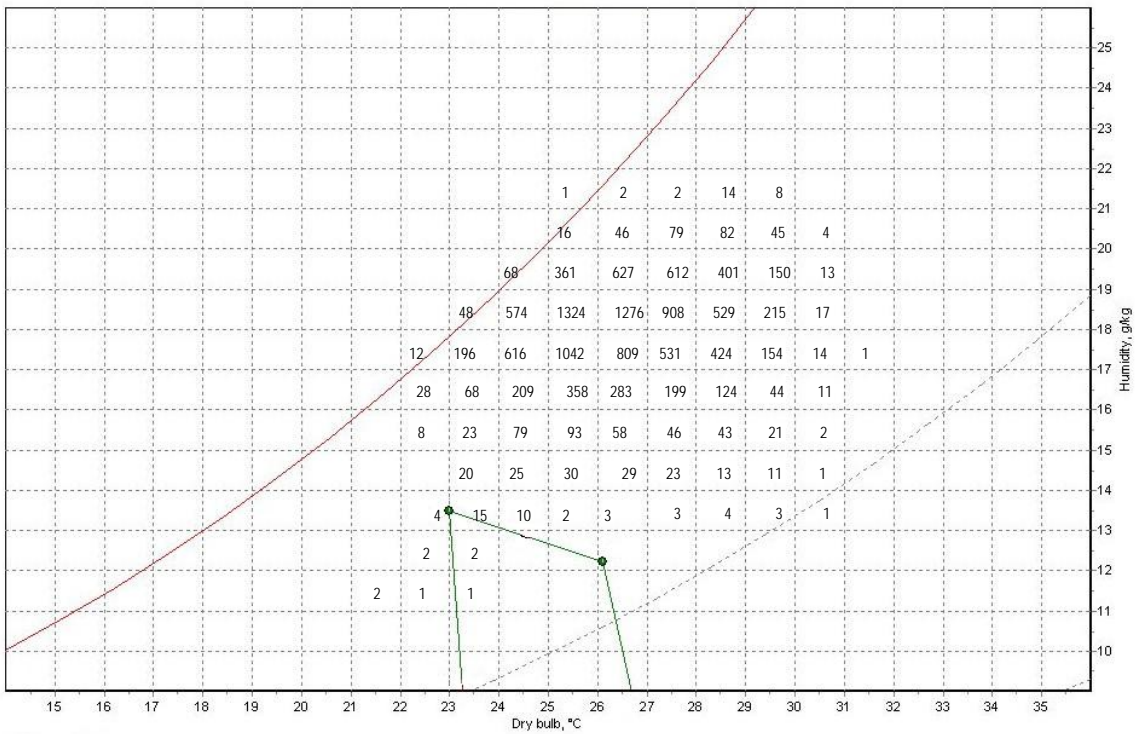
Gambar 1 : Frekwensi (jam) temperatur dan rasio kelembaban untuk tahun 1994 – 1996 pada pk. 0 – 23 GMT (pk 7 – 06 WIB).



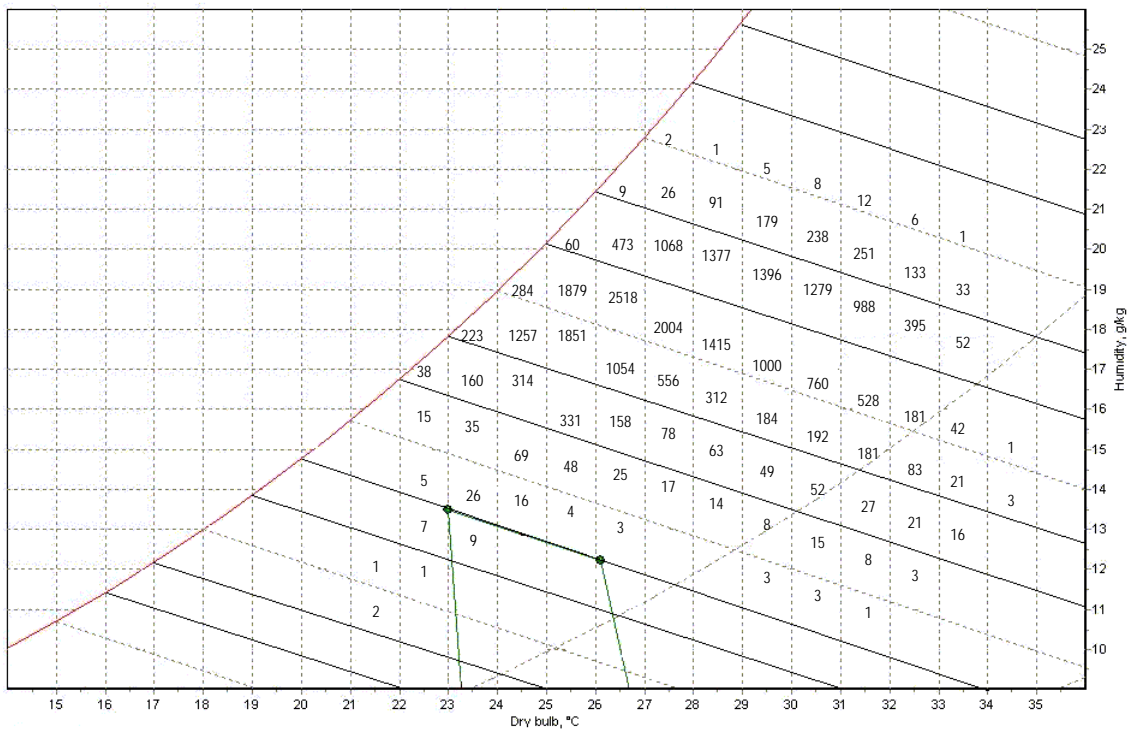
Gambar 2 : Frekwensi (jam) temperatur dan rasio kelembaban untuk tahun 1994 – 1996 pada pk. 0 – 11 GMT (pk 7 – 18 WIB).



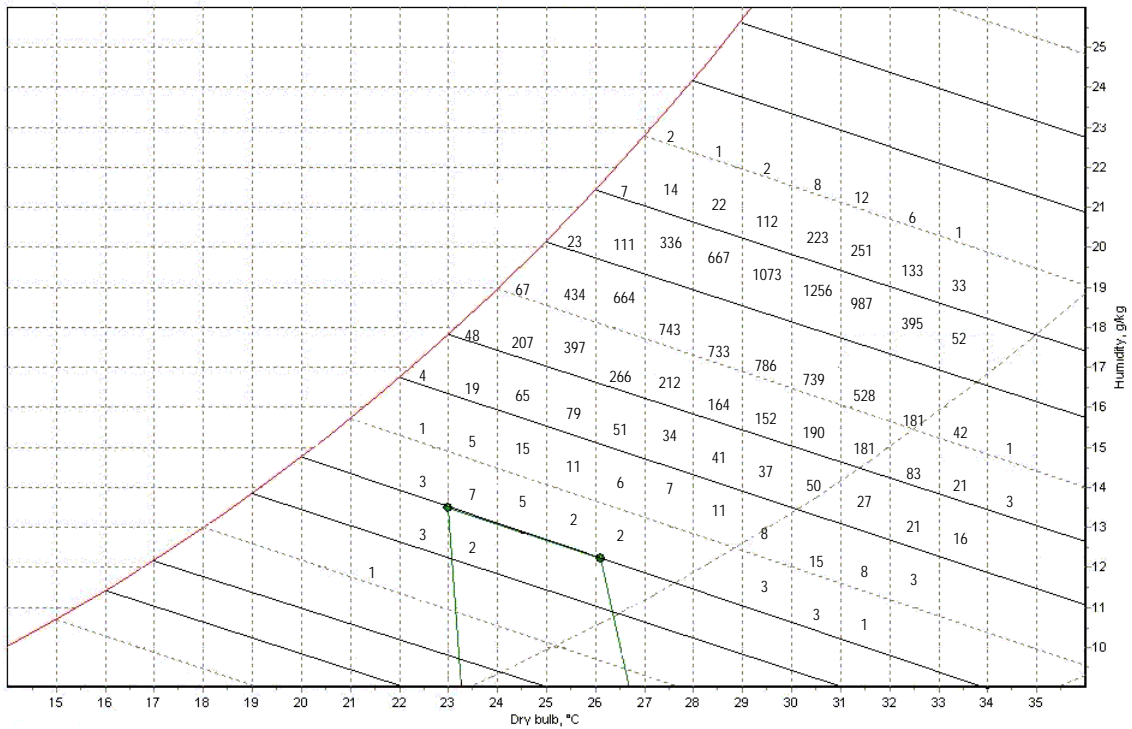
Gambar 3 : Frekwensi (jam) temperatur dan rasio kelembaban untuk tahun 1994 – 1996 pada pk. 4 – 7 GMT (pk 11 – 14 WIB).



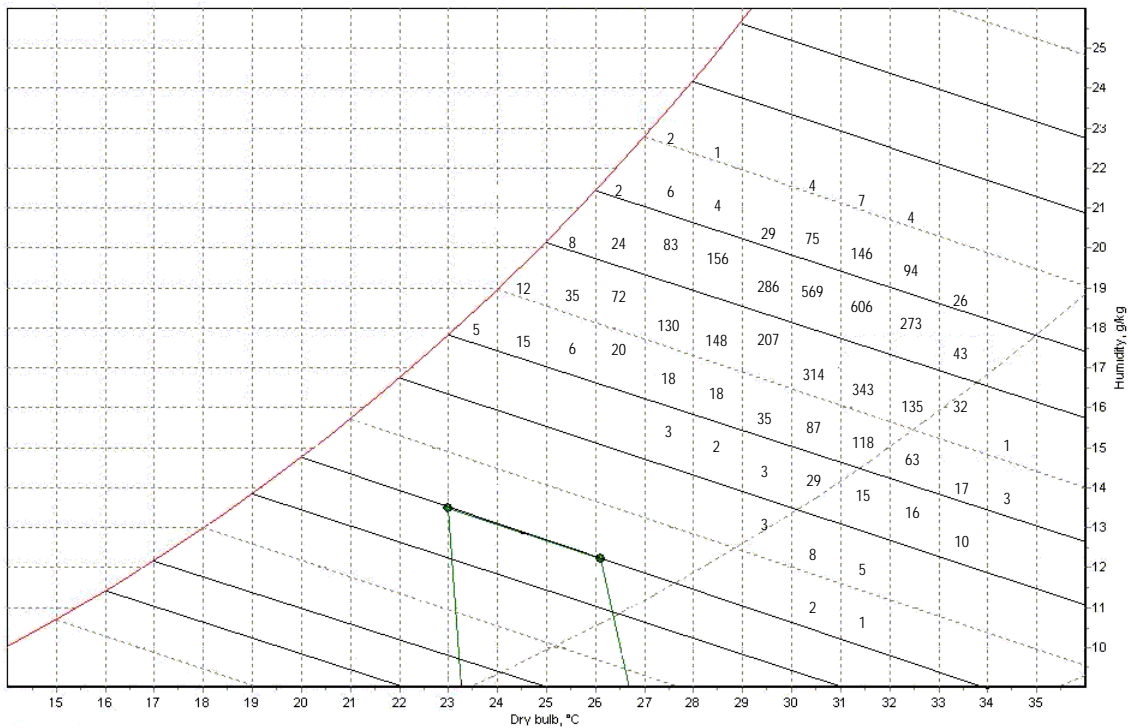
Gambar 4 : Frekwensi (jam) temperatur dan rasio kelembaban untuk tahun 1994 – 1996 pada pk. 12 – 23 GMT (pk 19 – 06 WIB).



Gambar 5 : Frekwensi (jam) temperatur bola kering dan temperatur bola basah untuk tahun 1994 – 1996 pada pk. 0 – 23 GMT (pk 7 – 06 WIB).



Gambar 6 : Frekwensi (jam) temperatur bola kering dan temperatur bola basah untuk tahun 1994 – 1996 pada pk. 0 – 11 GMT (pk 7 – 18 WIB).



Gambar 7 : Frekwensi (jam) temperatur bola kering dan temperatur bola basah untuk tahun 1994 – 1996 pada pk. 4 – 7 GMT (pk 11 – 14 WIB).