

Perencanaan Ulang Sistem Pengkondisian Udara pada Lantai 1 dan 2 Gedung *Surabaya Suite Hotel* di Surabaya

Wahyu Priatna dan Ary Bachtiar Krishna Putra

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: arybach@me.its.ac.id

Abstrak—Sistem pengkondisian udara menggunakan *Air conditioner* tidak hanya berfungsi sebagai pendingin, melainkan dituntut untuk dapat menghasilkan suatu kondisi udara nyaman. Perencanaan ulang yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan yang digunakan apakah telah sesuai dengan kebutuhan atau tidak. Perencanaan ulang ini dilakukan dengan perhitungan beban pendinginan dari setiap ruangan dan penurunan tekanan pada saluran *ducting* dengan menggunakan metode CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) dengan memperhatikan letak geografis, dimensi, konstruksi dan kondisi luar bangunan. Desain temperatur ruangan didasarkan pada ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) *standard comfort zone* sedangkan desain di luar gedung didasarkan pada data dari BMKG Juanda. Dari hasil perhitungan beban pendinginan dan kapasitas udara, didapatkan peralatan pengkondisian udara yakni AHU dan FCU yang mengalami kelebihan kapasitas pendinginan dan kapasitas udara suplai menyebabkan ruangan yang dikondisikan nantinya tidak berada pada kondisi nyaman dikarenakan temperatur yang dihasilkan lebih rendah dari temperatur ruangan pada kondisi nyaman. Dari hasil perhitungan, juga didapatkan peralatan pengkondisian udara dengan kapasitas yang lebih rendah dari kapasitas perencanaan ulang pada kondisi nyaman menyebabkan kondisi ruangan tidak lagi pada kondisi nyaman. Dari hasil perhitungan perencanaan ulang juga didapatkan besar *fan static pressure* yang dibutuhkan oleh tiap peralatan pengkondisian udara untuk mensirkulasikan udara didalam sistem termasuk menyalurkan udara suplai ruangan yang dikondisikan dimana kebutuhan *fan static pressure* terbesar ialah pada FCU 1-6 sebesar 318,33 Pa dan terkecil pada FCU 206 sebesar 1,08 Pa.

Kata Kunci—beban pendinginan, *fan static pressure*, pengkondisian udara

I. PENDAHULUAN

SISTEM pengkondisian udara dewasa ini memegang peranan penting. Hal tersebut terlihat dengan semakin banyak digunakannya perlengkapan ini secara luas di berbagai bidang kegiatan manusia dikarenakan manusia dapat melakukan aktivitasnya secara maksimal jika ia merasa nyaman dengan lingkungan disekitarnya. Suatu sistem pengkondisian udara dalam penggunaannya memerlukan energi yang besar dalam bentuk energi listrik. Disisi lain ketersediaan akan energi semakin menipis, ditambah lagi dengan jumlah populasi manusia yang semakin hari semakin meningkat menyebabkan konsumsi energi semakin besar. Tanpa adanya peralatan ini banyak kegiatan yang tidak dapat dilakukan dengan baik, utamanya kegiatan yang dilakukan

dalam ruangan, misalnya didalam gedung bertingkat, pabrik, rumah sakit, dan gedung perkantoran. Salah satu gedung bertingkat yang memerlukan sistem pengkondisian udara adalah hotel.

Pada dasarnya prinsip kerja dari *Air Conditioner* (AC) hampir sama dengan refrigerasi, namun *Air Conditioner* (AC) sendiri tidak hanya berfungsi sebagai pendingin, tetapi juga dituntut untuk dapat menghasilkan suatu kondisi udara yang nyaman. Untuk mendapatkan keadaan tersebut dilakukan dengan jalan pengontrolan terhadap kondisi udara yang meliputi suhu, kelembaban, gerakan udara, tekanan udara, pada sistem tata udara ‘Gedung Surabaya Suite Hotel di Surabaya’.

Sistem pengkondisian udara pada bangunan yang besar sangat membutuhkan efisiensi dalam penggunaan energi. Dengan sistem pengkondisian udara yang benar dan sesuai dengan spesifikasinya serta perhitungan *cooling load* yang benar akan berkaitan dengan kenyamanan pekerja dan pengunjung. Dengan melakukan analisa energi pada ‘*Air Handling Unit (AHU) dan Fan Coil Unit (FCU)*’ yang digunakan dalam sistem tata udara pada gedung Surabaya Suite Hotel di Surabaya, memungkinkan kita untuk dapat mengetahui apakah kondisi ruangan yang dikondisikan telah mencapai tingkat kenyamanan yang baik serta untuk mengetahui sumber pemborosan energi yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengambil bahasan tentang pengkondisian udara ini sebagai bahan Tugas Akhir dengan objek perancangan pada area Gedung Surabaya Suite Hotel di Surabaya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada setiap peralatan pengkondisian udara beserta ruangan yang disuplai dengan mengumpulkan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan cara pengukuran langsung sesuai dengan kondisi di lapangan. Pengumpulan data sekunder seperti kapasitas pendinginan dan kapasitas udara desain awal, denah bangunan, denah saluran udara, bahan dinding, dan luasan tiap ruangan diperoleh dari pihak pengelola gedung hotel.

Perencanaan ulang sistem pengkondisian udara dengan metode CLTD (*cooling load temperature difference*) didasarkan pada ASHRAE-*Handbook-1997 Fundamental* [1]. Perhitungan besar kebutuhan *fan static pressure* untuk tiap peralatan pengkondisian udara didasarkan pada perhitungan *pumps, fans, and blowers in fluid systems* [2].

A. Beban Penghuni

Beban penghuni dan pengunjung adalah beban pendinginan yang diakibatkan oleh adanya *heat gain* yang dihasilkan oleh tubuh manusia. Besarnya *heat gain* yang dihasilkan oleh tubuh manusia dapat diperoleh dengan persamaan:

$$Q_s = \frac{q_s}{person} \times no. of people \times CLF \quad (1)$$

$$Q_1 = \frac{q_1}{person} \times no. of people \times CLF \quad (2)$$

$$Q_{total} = Q_s + Q_1 \quad (3)$$

B. Beban Penerangan

Beban penerangan lampu adalah beban yang disebabkan oleh adanya *heat gain* yang dihasilkan oleh lampu yang menyala. Untuk memperoleh beban penerangan digunakan persamaan:

$$Q = 3,41 \times q_i \times F_u \times F_s \times CLF \quad (4)$$

C. Beban Peralatan

Semua peralatan listrik yang digunakan dalam gedung akan menghasilkan panas. Untuk memperoleh besarnya *heat gain* yang dihasilkan oleh peralatan, digunakan persamaan:

$$Q_{peralatan} = 3,41 \times 0,16 \times P \times CLF \quad (5)$$

D. Beban Partisi

Beban partisi merupakan penambahan panas yang disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur antara ruangan yang dikondisikan terhadap ruangan yang tidak dikondisikan. Besarnya penambahan kalor dapat diperoleh dari persamaan:

$$Q = U \times A \times TD \quad (6)$$

E. Beban Radiasi Melalui Kaca

Beban radiasi melalui kaca merupakan beban pendinginan eksternal. Besarnya beban radiasi melalui kaca dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF \quad (7)$$

F. Beban Transmisi Melalui Dinding Luar dan Kaca

Beban transmisi dinding luar dan kaca merupakan beban yang diakibatkan oleh adanya perpindahan panas secara konduksi dari luar ruangan kedalam ruangan yang dikondisikan melalui dinding luar dan kaca. Untuk memperoleh nilai beban transmisi dinding luar dan kaca, digunakan persamaan:

$$Q = U \times A \times CLTDC \quad (8)$$

dimana:

$$CLTDC_{dinding} = (CLTD + LM) \times K + (78 - T_R) + (T_o - 85)$$

$$CLTDC_{kaca} = CLTD + (78 - T_R) + (T_o - 85)$$

G. Beban Infiltrasi dan Ventilasi

Beban infiltrasi ialah laju aliran udara yang tidak terkendali dan tidak disengaja masuk ke dalam ruangan melalui celah dan bukaan lainnya akibat penggunaan pintu oleh penghuni. Beban ventilasi sendiri ialah udara yang dibawa masuk kedalam

ruangan dengan sengaja secara mekanis. Besarnya beban infiltrasi dan ventilasi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_s = 1,1 \times \Delta T \times scfm \quad (9)$$

$$Q_l = 4840 \times \Delta w \times scfm \quad (10)$$

$$Q_{total} = Q_s + Q_l \quad (11)$$

H. Beban Pendinginan Saluran Udara

Ketika saluran udara melewati ruangan yang tidak dikondisikan, maka akan terjadi perpindahan panas antara permukaan *ducting* terhadap udara luar. Berdasarkan buku panduan *Fundamental of Heat and Mass Transfer, by Frank P. Incropera* [3], Besarnya perpindahan panas yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = U \times A \times TD \quad (12)$$

I. Room Sensible Heat Factor (RSHF)

RSHF adalah perbandingan beban kalor sensibel ruangan terhadap keseluruhan beban kalor ruangan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *RSHF* adalah:

$$RSHF = \frac{RSHG}{RTHG} \quad (13)$$

J. Grand Sensible Heat Factor (GSHF)

GSHF adalah perbandingan total kalor sensibel dengan total kalor seluruhnya yang harus ditanggung oleh peralatan pengkondisian udara. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *GSHF* adalah:

$$GSHF = \frac{TSH}{GTH} \quad (14)$$

K. Debit Udara Zona Hotel

Debit udara zona hotel adalah jumlah kebutuhan udara suplai kedalam ruangan sehingga menjadikan ruangan suplai berada pada kondisi nyaman. Persamaan yang digunakan untuk menghitung debit udara adalah:

$$\text{Debit Udara} = \frac{RSHG}{1.1 (T_r - T_s)} \quad (15)$$

L. Kebutuhan Fan Static Pressure

Fan static pressure adalah tekanan statis yang dibutuhkan oleh fan untuk melawan *friction* disepanjang saluran udara. Berdasarkan buku panduan *Fluid Mechanics, by R.W. Fox* [2], persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan *fan static pressure* adalah:

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) = h_{te} - \Delta h_{fan} \quad (16)$$

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Beban Pendinginan

Analisa beban pendinginan adalah dengan membandingkan kapasitas pendinginan desain awal (kapasitas pendinginan peralatan yang terinstal) dengan kebutuhan beban pendinginan hasil perhitungan dengan standar *ASHRAE*. Kondisi nyaman dapat tercapai jika kapasitas pendinginan besarnya sama dengan beban pendinginan.

Berdasarkan tabel perbandingan kapasitas pendinginan terhadap beban pendinginan pada lantai 1, terdapat peralatan yang mengalami *over design* dimana kapasitas pendinginannya jauh lebih besar dari beban pendinginan. Pada tabel yang sama juga terdapat peralatan dengan kapasitas pendinginan jauh lebih kecil dari beban pendinginan. Sedangkan peralatan pengkondisian udara dengan kapasitas pendinginan yang sama besar dengan beban pendinginannya tidak ditemukan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa keseluruhan peralatan pengkondisian udara pada lantai 1 tidak dapat menghasilkan ruangan suplai dengan kondisi yang nyaman.

Tabel 1.

Perbandingan Kapasitas Pendinginan Terhadap Beban Pendinginan Peralatan Pengkondisian Udara Pada Lantai 1

AHU & FCU Lt.1	Cooling Load (Btu/hr)	
	Desain Awal	Perencanaan Ulang
AHU 1-1	180000	198316.94
AHU 1-2	180000	198313.75
FCU 1-1	36000	50886.69
FCU 1-2	36000	53937.44
FCU 1-3	43800	60051.42
FCU 1-4	13200	4998.51
FCU 1-6	108000	158627.85
FCU 1-7	36000	63478.94
FCU 1-8	36000	63503.47
FCU 1-9	36000	26135.72
FCU 1-10	24000	10902.84
FCU 1-11	36000	69078.68

Tabel 2.

Perbandingan Kapasitas Pendinginan Terhadap Beban Pendinginan Peralatan Pengkondisian Udara Pada Lantai 2

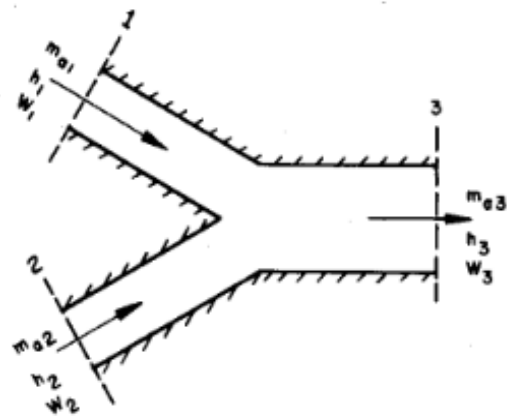
FCU Lt.2	Cooling Load (Btu/hr)	
	Desain Awal	Perencanaan Ulang
FCU 201	6630	11117.25
FCU 202	13800	7463.87
FCU 203	6630	11117.25
FCU 204	13800	9263.59
FCU 205	26130	14755.85
FCU 206	28410	9942.54
FCU 207	16110	7828.84
FCU 208	17310	10573.91
FCU 209	6630	11118.92
FCU 210	13800	7463.87
FCU 211	6630	11118.92
FCU 212	13800	7463.87
FCU 214	13800	7463.87
FCU 215	6630	11118.92
FCU 216	17310	10965.75
FCU 217	13680	7413.95
FCU 218	13680	7413.95
FCU 219	13680	10453.97
FCU 220	22050	14903.43
FCU 221	6630	7817.46
FCU 222	13800	9807.50
FCU 223	6630	7817.46
FCU 224	13800	11985.15
FCU 225	15150	19324.51
FCU 226	16710	12518.12
FCU 227	13680	12519.38
FCU 228	13680	12519.38
FCU 229	13680	12519.38
FCU 230	16710	10949.65
FCU 231	6630	7819.13
FCU 232	13800	9807.50
FCU 233	6630	7819.13
FCU 234	13800	9807.50
FCU 235	6630	7819.13

FCU 236	13800	9807.50
FCU 237	21540	21872.40
FCU 238	13680	10453.97
FCU 239	13680	7413.95
FCU 240	13680	7413.95
FCU 241	16710	10822.03

Berdasarkan tabel perbandingan kapasitas pendinginan terhadap beban pendinginan pada lantai 2 diatas, juga tidak ditemukan peralatan dengan kapasitas pendinginan yang sama besar dengan beban pendinginan. Hal tersebut juga mengindikasikan bahwa keseluruhan peralatan pengkondisian udara pada lantai 1 tidak dapat menghasilkan ruangan suplai dengan kondisi yang nyaman.

B. Analisa Debit Udara Suplai

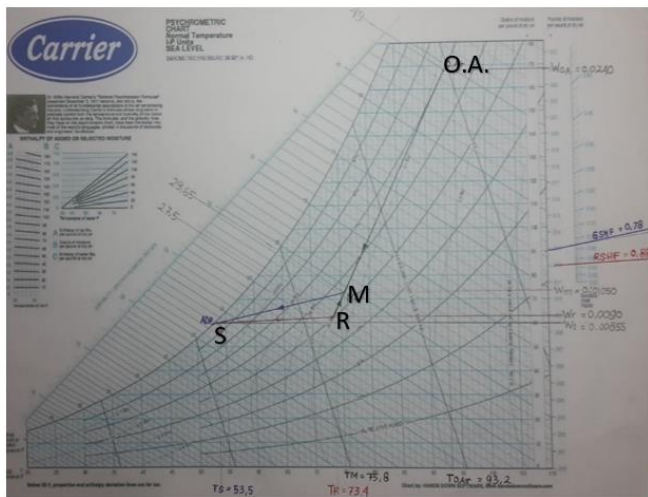
Setelah nilai beban pendinginan didapatkan, maka dilakukan perhitungan nilai RSHF dan GSHF. Selanjutnya dilakukan pengeplotan pada bagan psikrometrik untuk mengetahui kondisi udara suplai. Data awal temperatur lingkungan dari BMKG Janda Surabaya sebesar 93.2⁰F dan RH sebesar 70%, sedangkan temperature ruang desain sebesar 73.4⁰F dan RH sebesar 50%. Berdasarkan buku panduan *Fundamental of Engineering Thermodynamics, by M.J. Moran* [4] dengan mengasumsikan kondisi yang terjadi adalah *adiabatik mixing*, dengan perencanaan ulang udara campuran mengandung 10% *fresh air* maka kondisi campuran didapatkan dengan persamaan:



Gambar 1. Skema Adiabatik Mixing

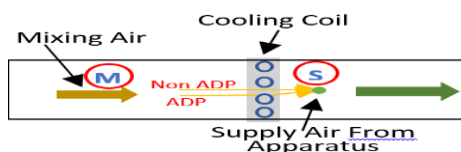
$$\begin{aligned}
 m_1 \cdot h_1 + m_2 \cdot h_2 &= m_3 \cdot h_3 && \text{Energi} \\
 m_1 + m_2 &= m_3 && \text{massa udara} \\
 m_1 \cdot W_1 + m_2 \cdot W_2 &= m_3 \cdot W_3 && \text{massa uap air}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan kondisi campuran pada h₃ sebesar 29.65 Btu/lb d.a. dengan W₃ sebesar 0.0105 lb/lb d.air. dengan nilai RSHF sebesar 0.88 dan GSHF sebesar 0.78, maka dari hasil pengeplotan pada bagan psikrometrik didapatkan kondisi udara suplai dengan temperatur sebesar 53.5⁰F dan W sebesar 0.00855 lb/lb d.a. seperti yang ditunjukkan oleh gambar dibawah ini:



Gambar 2. Aplikasi Bagan Psikrometrik

Sistem pengkondisian udara pada AHU dan FCU dapat digambarkan pada bagan psikrometrik seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas. Proses pencampuran *return air* (R) dengan *fresh air* (O.A.) diinterpretasikan oleh garis yang menghubungkan antara titik O.A. terhadap titik R. Proses pencampuran ini akan menghasilkan udara *mixing air* yang dilambangkan oleh titik M. Udara yang telah bercampur (*mixing air*) kemudian didinginkan dan akan mengalami pengurangan kelembaban ketika melewati koil pendingin (*cooling coil*). Ketika *mixing air* melewati koil pendingin, tidak keseluruhan udara akan tepat melintasi permukaan koil dikarenakan adanya jarak antar koil menyebabkan sebagian udara tidak tepat melintasi permukaan koil (*non ADP*). Udara yang tepat melintasi permukaan koil dan udara yang tidak tepat melintasi permukaan koil akan bercampur kembali setelah melewati koil pendingin sehingga udara yang keluar dari koil pendingin memiliki temperatur dan rasio humidity yang lebih besar dari kondisi *apparatus dew point* (ADP). Proses yang terjadi ketika *mixing air* melewati koil pendingin, diperlihatkan oleh gambar berikut:



Gambar 3. Proses *Mixing Air* Ketika Melalui Koil Pendingin

Proses udara yang tepat melalui koil pendinginan di interpretasikan oleh garis yang menghubungkan antara titik M terhadap titik ADP seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Sedangkan proses pencampuran antara udara yang tepat melintasi permukaan koil pendingin dengan udara yang tidak tepat melintasi permukaan koil pendingin diinterpretasikan oleh garis yang menghubungkan antara titik ADP terhadap titik S. Udara yang telah didinginkan dan telah mengalami pengurangan kelembaban tersebut (*Supply air from apparatus*), disalurkan ke ruangan melalui *supply fan*, *supply duct*, dan *diffuser*. Selanjutnya udara tersebut akan menyerap beban pendinginan baik dari ruangan maupun dari *supply fan* dan *supply ducting* sehingga membentuk udara ruangan (*room air*). Proses tersebut diinterpretasikan oleh garis yang menghubungkan antara titik S terhadap titik R pada gambar 2.

Setelah kondisi udara suplai diketahui, selanjutnya dilakukan perhitungan perencanaan kebutuhan debit udara suplai. Analisa debit udara suplai dilakukan dengan membandingkan debit udara desain awal dengan debit udara perencanaan ulang (hasil perhitungan pada kondisi nyaman).

Tabel 3.
Perbandingan Debit Udara Desain Awal terhadap Debit Udara Perencanaan Ulang Pada Lantai 1

AHU & FCU Lt.1	Air flow (ft ³ /min)	
	Desain Awal	Perencanaan Ulang
AHU 1-1	6000	6094.55
AHU 1-2	6000	6094.72
FCU 1-1	1200	1701.12
FCU 1-2	1200	1830.14
FCU 1-3	1460	1986.93
FCU 1-4	440	123.49
FCU 1-6	3600	5987.45
FCU 1-7	1200	2306.97
FCU 1-8	1200	2306.72
FCU 1-9	1200	857.66
FCU 1-10	800	325.49
FCU 1-11	1200	2379.84

Berdasarkan tabel perbandingan debit udara desain awal terhadap debit udara perencanaan ulang pada lantai 1 diatas, sebagian besar peralatan mengalami kekurangan debit udara suplai dimana akan menghasilkan kondisi ruangan dengan temperatur lebih tinggi dari kondisi nyaman. Sedangkan sisanya mengalami kelebihan kapasitas udara suplai yang nantinya akan menyebabkan kondisi ruangan tidak lagi pada kondisi nyaman melainkan temperatur yang dihasilkan lebih rendah dari temperatur nyaman.

Tabel 4.
Perbandingan Debit Udara Desain Awal terhadap Debit Udara Perencanaan Ulang Pada Lantai 2

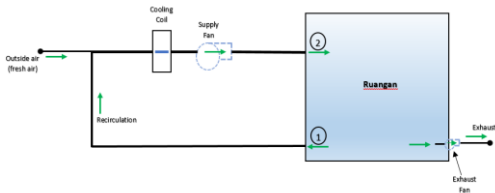
FCU Lt.2	Air flow (ft ³ /min)	
	Desain Awal	Perencanaan Ulang
FCU 201	221	404.09
FCU 202	460	261.18
FCU 203	221	404.09
FCU 204	460	313.30
FCU 205	871	516.12
FCU 206	947	343.12
FCU 207	537	266.23
FCU 208	577	366.56
FCU 209	221	404.17
FCU 210	460	261.18
FCU 211	221	404.17
FCU 212	460	261.18
FCU 214	460	261.18
FCU 215	221	404.17
FCU 216	577	380.85
FCU 217	456	258.11
FCU 218	456	258.11
FCU 219	456	362.14
FCU 220	735	527.76
FCU 221	221	265.57
FCU 222	460	351.05
FCU 223	221	265.57
FCU 224	460	499.24
FCU 225	505	711.19
FCU 226	557	527.96
FCU 227	456	528.04
FCU 228	456	528.04
FCU 229	456	528.04

FCU 230	577	437.48
FCU 231	221	265.67
FCU 232	460	351.05
FCU 233	221	265.67
FCU 234	460	351.05
FCU 235	221	265.67
FCU 236	460	351.05
FCU 237	718	847.70
FCU 238	456	380.18
FCU 239	456	258.11
FCU 240	456	258.11
FCU 241	577	379.12

Berdasarkan tabel perbandingan debit udara desain awal terhadap debit udara perencanaan ulang pada lantai 2 diatas, tidak ditemukan peralatan dengan kapasitas pendinginan yang sama besar dengan beban pendinginan melainkan keseluruhan peralatan pengkondisian udara mengalami kelebihan dan kekurangan debit udara suplai yang nantinya menyebabkan kondisi ruangan terasa panas untuk yang mengalami kekurangan debit udara suplai sedangkan yang mengalami kelebihan udara suplai justru menghasilkan ruangan dengan temperatur yang terlalu dingin. Hal tersebut mengindikasikan bahwa keseluruhan dari peralatan pengkondisian udara yang berada pada lantai 2 tidak dapat menghasilkan ruangan suplai dengan kondisi yang nyaman.

C. Analisa Kebutuhan Fan Static Pressure

Perhitungan kebutuhan fan static pressure ini didasarkan pada kesamaan pressure drop pada setiap percabangan (equal friction method). Berdasarkan buku panduan Air Conditioning And Systems An Energy Approach, by Edward G. Pita [5], untuk equal friction method, pressure drop hanya dihitung pada saluran terpanjang saja. Pada gedung Surabaya Suite Hotel, Unit pengkondisian udara yang terpasang (AHU dan FCU) mensirkulasikan sebagian besar udara yang ada didalam ruangan dimana terdapat juga udara yang dibuang keluar ruangan (exhaust) dan digantikan dengan udara segar (fresh air) dengan jumlah yang sama. Sistem pengkondisian udara yang terpasang dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. Model Sistem Pengkondisian Udara

besarnya fan static pressure yang dibutuhkan oleh fan untuk mensirkulasikan udara kedalam ruangan melalui saluran udara, dapat direpresentasikan oleh head kecepatan yang diakibatkan karena adanya perbedaan antara kecepatan aliran fluida pada sisi hisap terhadap sisi tekan serta headloss atau pressure drop disepanjang saluran udara.

Tabel 5.

Total Kebutuhan Fan Static Pressure Peralatan Pengkondisian Udara Pada Lantai 1

AHU & FCU Lt.1	Inlet (Pa)	Exit (Pa)	Head Kecepatan (Pa)	Saluran Lurus (Pa)	Elbow 90° (Pa)	Diverging Wye (Pa)	Static Pressure (Pa)
AHU 1-1	21.23	34.33	15.24	88.56	13.33	138.66	311.35
AHU 1-2	21.23	34.33	15.24	87.75	12.75	138.76	310.05
FCU 1-1	13.05	21.92	6.46	139.92	19.13	71.30	271.79
FCU 1-2	14.63	24.46	7.71	121.03	22.86	62.97	253.66

FCU 1-6	28.05	45.58	13.49	53.25	9.15	168.82	318.33
FCU 1-7	18.75	44.24	8.45	71.62	21.02	130.89	294.98
FCU 1-8	17.53	39.22	10.26	86.93	10.18	139.63	303.75
FCU 1-9	19.29	36.97	3.47	105.41	9.65	51.99	226.78
FCU 1-10	4.61	9.54	4.06	54.85	0.92	17.91	91.89
FCU 1-11	15.18	25.02	4.13	106.57	15.24	75.18	241.33

Berdasarkan tabel total kebutuhan fan static pressure peralatan pengkondisian udara pada lantai 1 diatas, terlihat bahwa kebutuhan fan static pressure terbesar dialami oleh FCU1-6. Hal ini dikarenakan debit udara yang mengalir didalam saluran udara FCU 1-6 cukup besar sedangkan dimensi dari saluran udaranya cukup kecil sehingga menyebabkan pressure drop yang terjadi disepanjang alirancukup besar dan menjadi yang terbesar pada lantai 1. Sedangkan yang terkecil terjadi pada FCU1-10 dimana pada peralatan pengkondisian udara ini debit udaranya jauh lebih kecil dari yang lain sedangkan dimensiductingnya tergolong besar untuk ukuran debit udara yang mengalir didalamnya sehingga pressure drop yangtimbul disepanjang aliran juga cukup kecil.

Tabel 6.

Total Kebutuhan Fan Static Pressure Peralatan Pengkondisian Udara Pada Lantai 2

FCU Lt.2	Exit (Pa)	Saluran Lurus (Pa)	Elbow 90° (Pa)	Diverging Wye (Pa)	Static Pressure (Pa)
FCU 201	11.53	6.89		6.30	24.72
FCU 202	1.31	0.79		0.96	3.06
FCU 203	11.53	6.87		6.30	24.69
FCU 204	2.05	1.18		1.49	4.73
FCU 205	0.95	0.95	2.47	0.79	5.15
FCU 206	0.43	0.29		0.37	1.08
FCU 207	0.31	0.48	1.05		1.85
FCU 208	0.53	0.76	1.81		3.10
FCU 209	7.05	5.51		2.80	15.36
FCU 210	1.31	0.80		0.96	3.06
FCU 211	7.05	5.51		2.80	15.36
FCU 212	1.31	0.80		0.96	3.06
FCU 214	1.31	0.80		0.96	3.06
FCU 215	7.05	5.51		2.80	15.36
FCU 216	0.49	0.85	1.68		3.03
FCU 217	0.47	0.68	1.24		2.39
FCU 218	0.47	0.68	1.24		2.39
FCU 219	0.94	1.25	2.51		4.70
FCU 220	0.68	0.88	4.94		6.50
FCU 221	5.39	3.17		3.14	11.71
FCU 222	2.64	1.51		1.97	6.12
FCU 223	5.39	3.17		3.14	11.71
FCU 224	5.20	2.86		3.26	11.33
FCU 225	2.64	3.64	8.94		15.21
FCU 226	1.15	1.77	3.90		6.83
FCU 227	2.04	2.66	5.40		10.10
FCU 228	2.04	2.66	5.40		10.10
FCU 229	2.04	2.66	5.40		10.10
FCU 230	0.67	0.95	2.27		3.89
FCU 231	3.27	2.29		1.28	6.84
FCU 232	2.62	1.51		1.92	6.05
FCU 233	3.27	2.29		1.28	6.84
FCU 234	2.63	1.51		1.93	6.07
FCU 235	3.27	2.29		1.28	6.84
FCU 236	2.63	1.51		1.93	6.07
FCU 237	1.75	2.20	12.62		16.56
FCU 238	1.06	1.40	2.80		5.26
FCU 239	0.47	0.68	1.24		2.39
FCU 240	0.47	0.68	1.24		2.39
FCU 241	0.91	0.85	1.68		3.44

Sama halnya pada lantai 1, pada tabel total kebutuhan fan static pressure pada lantai 2 diatas, juga ditemukan peralatan pengkondisian udara dengan kebutuhan fan static pressure terbesar yang dialami oleh FCU 201. Hal ini juga disebabkan karena debit udara yang mengalir didalam saluran udara FCU 201 cukup besar sedangkan dimensi saluran udaranya cukup kecil menyebabkan pressure drop yang terjadi disepanjang

aliran cukup besar. Sedangkan yang terkecil terjadi pada FCU 206 dikarenakan debit udara yang mengalir didalam saluran tergolong cukup kecil untuk dimensi saluran udaranya yang tergolong besar.

Ketika kapasitas pendinginan berdasarkan perhitungan ulang ternyata lebih kecil dari desain awal, maka akan menyebabkan temperatur udara didalam ruangan yang dikondisikan lebih rendah dari temperatur yang direncanakan sehingga akan dijumpai kondisi yang kurang nyaman pada ruangan tersebut. Begitu pula ketika kapasitas pendinginan berdasarkan perhitungan ulang lebih besar dari desain awal, maka akan menyebabkan kondisi yang kurang nyaman pada ruangan dikarenakan temperatur ruangan yang dihasilkan lebih besar dari temperatur ruangan yang direncanakan.

Sama halnya dengan kapasitas pendinginan, kelebihan debit udara suplai juga akan menyebabkan kondisi yang kurang nyaman pada ruangan dikarenakan temperatur yang dihasilkan lebih rendah dari temperatur ruangan yang direncanakan. Begitupun sebaliknya, kekurangan debit udara suplai juga akan menyebabkan temperatur ruangan yang dihasilkan lebih besar dari temperatur ruangan yang direncanakan menyebabkan ruangan yang dikondisikan menjadi kurang nyaman. Hal ini dikarenakan perhitungan kebutuhan debit udara didasarkan pada beban pendinginan pada ruangan sehingga ketika debit udara lebih kecil dari hasil perhitungan, maka tidak mampu untuk menanggulangi beban pendinginan yang terjadi pada ruangan, akibatnya temperatur yang dihasilkan nantinya lebih besar dari yang direncanakan pada kondisi nyaman.

Pada lantai 1 terdapat beberapa peralatan pengkondisian udara yang mengalami kekurangan kapasitas pendinginan dan debit udara suplai yang cukup besar sehingga perlu dilakukan penambahan unit peralatan pengkondisian udara agar kapasitas pendinginan serta kapasitas udara suplai dapat disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas pendinginan dan udara suplai hasil perencanaan ulang pada kondisi nyaman. Untuk lantai 2, tidak perlu dilakukan penambahan unit pengkondisian udara. Yang perlu dilakukan hanya pengalihan sebagian udara suplai dari peralatan pengkondisian udara yang mengalami kelebihan terhadap peralatan pengkondisian yang justru mengalami kekurangan kapasitas pendinginan serta udara suplai agar nantinya keseluruhan ruangan yang dikondisikan dapat mencapai ruangan dengan kondisi nyaman.

Selain itu, hal yang perlu diperhatikan ialah pengaturan bukaan damper pada saluran udara. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar debit udara yang disuplai nantinya sesuai dengan kebutuhan udara suplai untuk tiap ruangan sekaligus untuk menjaga agar debit udara suplai dapat disalurkan secara merata kedalam ruangan yang dikondisikan. Pengaturan kecepatan putaran kompresor dengan pemasangan inverter pada unit pengkondisian udara juga perlu dilakukan agar *debit chilled water* dapat menyesuaikan dengan kapasitas pendinginan yang dibutuhkan sehingga penghematan energi dapat tercapai

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dari perbandingan desain awal terhadap perencanaan ulang diketahui terdapat peralatan pengkondisian udara dengan kapasitas pendinginan dan debit udara suplai lebih besar

dari perencanaan ulang. Hal ini menyebabkan kondisi ruangan menjadi kurang nyaman dikarenakan temperatur ruangan akan menjadi lebih kecil dari yang direncanakan. Peralatan pengkondisian udara yang dimaksud ialah FCU 1-4, FCU 1-9, FCU 1-10, FCU 202, FCU 204, FCU 205, FCU 206, FCU 207, FCU 208, FCU 210, FCU 212, FCU 214, FCU 216, FCU 217, FCU 218, FCU 219, FCU 220, FCU 222, FCU 224, FCU 226, FCU 227, FCU 228, FCU 229, FCU 230, FCU 232, FCU 234, FCU 236, FCU 238, FCU 239, FCU 240 dan FCU 241.

2. Dari perbandingan desain awal terhadap perencanaan ulang diketahui terdapat peralatan pengkondisian udara dengan kapasitas pendinginan dan debit udara suplai lebih kecil dari perencanaan ulang. Hal ini menyebabkan kondisi ruangan menjadi kurang nyaman dikarenakan temperatur ruangan akan menjadi lebih besar dari yang direncanakan. Peralatan pengkondisian udara yang dimaksud ialah AHU 1-1, AHU 1-2, FCU 1-1, FCU 1-2, FCU 1-3, FCU 1-6, FCU 1-7, FCU 1-8, FCU 1-11, FCU 201, FCU 203, FCU 209, FCU 211, FCU 215, FCU 221, FCU 223, FCU 225, FCU 231, FCU 233, FCU 235 dan FCU 237.
3. Dari hasil perhitungan perencanaan ulang didapatkan besar kebutuhan *fan static pressure* tiap peralatan pengkondisian udara untuk mensirkulasikan udara didalam system termasuk menyalurkan udara suplai keruangan yang dikondisikan dimana kebutuhan *static pressure fan* terbesar ialah pada FCU 1-6 sebesar 318,33 Pa dan yang terkecil pada FCU 206 sebesar 1,08 Pa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Ary Bachtiar K.P., ST, MT, Ph.D selaku pembimbing penelitian tugas akhir ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASHRAE. ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
- [2] R.W. Fox and A.T. McDonald, "SI Version Introducing To Fluid Mechanics Seventh Edition," (2008)
- [3] F. P. Incopera, "Fundamental of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition," New York: John Willey & Sons, Inc (2011).
- [4] M.J. Moran and H.N. Shapiro, "Fundamental of Engineering Thermodynamics Third Edition," New York: John Willey and Sons, inc (1998).
- [5] Edward G. Pita, "Air Conditioning Principles and Systems An Energy Approach," USA: John Willet & Sons (1981).