

Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Pendingin Ruangan (Air Conditioning) Di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak

Rina Dwi Yani

Program Studi Manajemen Energi, Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak,
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak
email : dwiyani_rina@gmail.com

Abstract– Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa konsumsi energi pada gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak yang pada akhirnya diharapkan untuk mendapatkan optimasi penggunaan energi pada sistem pendingin ruangan. Penelitian ini dilakukan pada ruangan yang terletak pada lantai 1, lantai 2 dan lantai 3 gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak. Perhitungan beban pendinginan menggunakan metode CLTD (Cooling Load Temperature Difference) berdasarkan ASHRAE Handbook Fundamental 1997. Perhitungan beban pendinginan berdasarkan data sekunder yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan kapasitas beban pendinginan terpasang. Hasil akhir dari penelitian ini diperoleh beban pendinginan maksimum pada kondisi puncak sebesar 794.004,52 Btu/hr (88,22 Pk), sedangkan kapasitas pendinginan yang terpasang adalah 89 Pk. Beban yang terpasang sesuai dengan hasil perhitungan ulang, maka celah penghematan masih bisa diperoleh sebesar 14,388 % dengan mengurangi faktor pencahayaan dari lampu; mengubah set point temperatur didalam ruangan; memperkecil SC (shading of Coefficien); dan mengurangi infiltrasi udara luar. Dari hasil analisis biaya, Break Event Point (BEP) akan diperoleh kembali pada pertengahan tahun ke lima.

Keywords- Beban pendinginan, sistem pendingin udara, optimasi

1. Pendahuluan

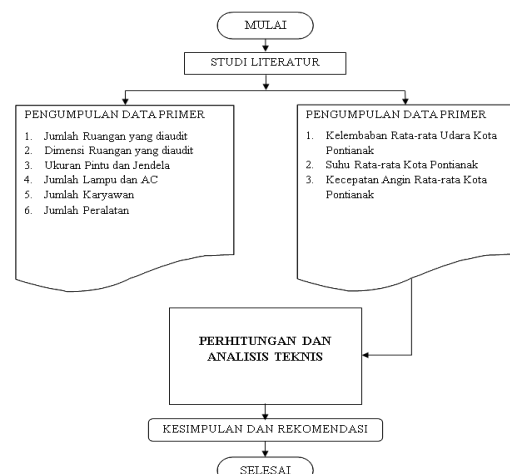
Bangunan merupakan faktor penyaring penyebab alamiah ketidak nyamanan, seperti hujan, terik matahari, angin kencang, dan udara panas tropis, agar tidak masuk ke dalam bangunan. Udara luar yang panas dimodifikasi bangunan dengan bantuan AC menjadi udara dingin. Dalam hal ini dibutuhkan energi listrik untuk menggerakkan mesin AC. Demikian juga halnya bagi penerangan malam hari atau ketika langit mendung, diperlukan energi listrik untuk lampu penerangan. Hampir sekitar + 60% pemakaian energi listrik digunakan untuk sistem pengkondisian udara, sisanya untuk keperluan penerangan, peralatan elektronik, dan peralatan lainnya.

Konservasi energi adalah peningkatan efisiensi energi yang digunakan atau proses penghematan energi. Dalam proses ini meliputi adanya audit energi yaitu

suatu metode untuk menghitung tingkat konsumsi energi suatu gedung atau bangunan, yang mana hasilnya nanti akan dibandingkan dengan standar yang ada untuk kemudian dicari solusi penghematan konsumsi energi jika tingkat konsumsinya melebihi standar baku yang ada. Untuk audit energi dan peluang penghematan energi diutamakan pada sistem pengkondisian udara karena penggunaan energi listriknya dapat mencapai + 60% melebihi standar yang disampaikan oleh Tim Hemat Energi (THE) yaitu 48,50%.

2. Teori Dasar

2.1. Konsep Penelitian



Gambar 1. Skema Penelitian

2.2. Cooling Load Temperature Difference (CLTD)/Solar Cooling Load (SCL) /Cooling Load Factor (CLF).^[1]

Berikut merupakan rumus-rumus yang digunakan dalam menghitung beban pendinginan dengan menggunakan metode CLTD berdasarkan ASHRAE Handbook 1997.

A. Beban Pendinginan External

- Atap dan dinding

$$q = UA(CLTD)..... (1)$$

U = koefisien desain perpindahan panas untuk atap atau dinding (W/m^2K).

A = luas atap, dinding, atau kaca, dihitung dari rencana Pembangunan (m^2)

CLTD perbedaan temperature beban pendinginan, atap, dinding atau kaca (K)

Dimana nilai U dapat dihitung melalui tahanan total (Rt) dengan rumus:

$$U = 1/R_r \dots\dots\dots (2)$$

Untuk nilai CLTD didapatkan dari CLTD maksimum dan koreksi perbedaan suhu rata-rata.

$$CLTD = CLTD_{Maks} + (t_r - t_0) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

t₀ = suhu yang dikondisikan

t_i = suhu udara luar

- Kaca

$$q = A.SC.SCL \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

SC = koefisien peneduh

SCL = faktor beban pendinginan matahari tanpa peneduh dalam atau dengan peneduh.

- Langit-Langit

$$q = UA (t_b - t_{ic}) \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

U= koefisien perpindahan panas desain

A= luas partisi, langit-langit, atau lantai, dihitung dari bangunan rencana

t_b= temperatur di ruang yang berdekatan

t_{ic}= temperatur desain dalam (konstan)di ruang AC.

- Lantai

$$q = UA (t_b - t_i) \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

U= koefisien perpindahan panas desain

A= luas partisi, langit-langit, atau lantai, dihitung dari bangunan rencana

t_b= temperatur di ruang yang berdekatan

t_i= temperatur desain dalam (konstan)di ruang AC.

B. Beban Pendinginan Internal

- Orang

$$q_{sensible} = N (Panas sensible) CLF \dots\dots\dots (7)$$

$$q_{latent} = N (Panas Laten) \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

N= jumlah orang dalam ruang,

CLF = factor beban pendinginan, dengan jam hunian

- Lampu

$$q_{el} = W.F_{ut}.F_{sa} (CLF) \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

W = watt masukan dari rencana listrik atau data pencahayaan

F_{ul} = faktor penggunaan pencahayaan

F_{sa} = faktor ballast untuk lampu fluerescent

CLF = faktor beban pendinginan, dengan jam hunian

- Peralatan Elektronik

$$q = SHG (CLF) \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

q = Perolehan kalor Watt atau Btu/h

SHG = Perolehan kalor sensible

CLF = Faktor beban pendinginan, dengan jam

terjadwal danberpeneduh atau tidak

C. Ventilasi Dan Infiltrasi

$$q_{sensible} = 1,23Q (t_o - t_i) \dots\dots\dots (11)$$

$$q_{latent} = 3010Q (W_o - W_i) \dots\dots\dots (12)$$

$$q_{total} = 1,20Q (h_o - h_i) \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

t_o, t_i = suhu udara luar dan dalam, °C

W_o, W_i = luar, kelembaban udara didalam rasio, kg(air) / kg (udara kering)

h_o, h_i = laju, entalpi udara, kJ/kg (udara kering)

Q = laju aliran udara ventilasi yang sesuai

Nilai Q dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Q = \frac{A_L}{1000} \sqrt{C_s \Delta t + C_w V^2} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

A_L = kebocoran udara efektif area (cm²)

C_s = koefisien stack (L/s)²/(cm⁴.K)

Δt = perbedaan suhu rata-rata untuk interval waktu perhitungan, K

C_w = koefisien angin (L/s)²/[cm⁴.(m/s)²]

V = rata-rata kecepatan angin diukur di stasiun cuaca local untukwaktu interval perhitungan m/s.

3. Hasil Pengukuran dan Analisis

3.1. Data Gedung Direktorat

Gedung Direktorat memiliki luas bangunan total 2.535 m2. Sirkulasi udara pada beberapa bagian gedung cukup bebas. Penerangan ruangan didalam gedung sebagian tergantung pada energi listrik dan sedikit menggunakan cahaya penerangan luar. Luas bidang permukaan dinding yang menerima sinar matahari langsung tidak begitu luas, namun permukaan kaca jendela yang menerima sinar matahari langsung cukup banyak. Kondisi demikian akan meningkatkan suhu ruangan, sehingga diperlukan energi listrik yang cukup besar untuk menjaga kestabilan suhu ruangan dengan pengoperasian peralatan pengkondisi udara (air conditioner), terutama pada musim panas. Untuk bangunan yang bertingkat 4 ini, dimana bangunan pada lantai 2, 3 dan 4 yang paling banyak menerima radiasi sinar matahari akan memerlukan energi listrik yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan pada lantai dibawahnya.

Adapun data-data yang dikumpulkan berdasarkan hasil pengukuran untuk masing-masing ruangan disajikan dalam tabel-tabel berikut.

Tabel 1. Luas dinding yang terpapar sinar matahari langsung

Ruang	ARAH DINDING	Dinding	
		Bahan	Luas (M ²)
1	N	Plester Batako	37,20
2	N	Plester Batako	41,60
3	S	Plester Batako	23,40
4	S	Plester Batako	37,20
5	N	Plester Batako	37,10
6	N	Plester Batako	41,60
7	S	Plester Batako	55,20
8	S	Plester Batako	49,30
9	S	Plester Batako	41,60
10	S	Plester Batako	17,20
11	S	Plester Batako	56,10
12	N	Plester Batako	17,20
13	N	Plester Batako	55,20
14	N	Plester Batako	37,20
15	S	Plester Batako	17,20
16	S	Plester Batako	37,10
17	S	Plester Batako	41,60

Tabel 2. Luas kaca yang terpapar sinar matahari langsung

Ruang	Jendela	
	Bahan	Luas (M ²)
1	Kaca Polos 6,4 mm	12,597
2	Kaca Polos 6,4 mm	-
3	Kaca Polos 6,4 mm	-
4	Kaca Polos 6,4 mm	12,597
5	Kaca Polos 6,4 mm	25,193
6	Kaca Polos 6,4 mm	-
7	Kaca Polos 6,4 mm	12,597
8	Kaca Polos 6,4 mm	-
9	Kaca Polos 6,4 mm	3,599
10	Kaca Polos 6,4 mm	28,792
11	Kaca Polos 6,4 mm	19,764
12	Kaca Polos 6,4 mm	9,882
13	Kaca Polos 6,4 mm	25,138
14	Kaca Polos 6,4 mm	11,529
15	Kaca Polos 6,4 mm	8,235
16	Kaca Polos 6,4 mm	6,588
17	Kaca Polos 6,4 mm	19,764

Tabel 3. Luas Langit-Langit/Plafond

Ruang	Plafond/Langit-Langit	
	Bahan	Luas (M ²)
1	Gypsum 15,9	117,978
2	Gypsum 15,9	45,443
3	Gypsum 15,9	22,046
4	Gypsum 15,9	108,599
5	Gypsum 15,9	108,599
6	Gypsum 15,9	72,000
7	Gypsum 15,9	137,647
8	Gypsum 15,9	11,072
9	Gypsum 15,9	48,909
10	Gypsum 15,9	90,032
11	Gypsum 15,9	86,112
12	Gypsum 15,9	69,394
13	Gypsum 15,9	94,980
14	Gypsum 15,9	43,376
15	Gypsum 15,9	13,790
16	Gypsum 15,9	71,718
17	Gypsum 15,9	51,100

Tabel 4. Luas Lantai

Ruang	Lantai	
	Bahan	Luas (M ²)
1	Keramik	117,978
2	Keramik	45,443
3	Keramik	22,046
4	Keramik	108,599
5	Keramik	108,599
6	Keramik	72,000
7	Keramik	137,647
8	Keramik	11,072
9	Keramik	48,909
10	Keramik	90,032
11	Keramik	86,112
12	Keramik	69,394
13	Keramik	94,980
14	Keramik	43,376
15	Keramik	13,790
16	Keramik	71,718
17	Keramik	51,100

Tabel 5. Tingkat Hunian

Ruang	Jumlah Orang
1	10
2	7
3	6
4	6
5	5
6	7
7	5
8	2
9	2
10	7
11	100
12	2
13	8
14	4
15	3
16	5
17	5

Tabel 6. Penerangan

RUANG	JUMLAH LAMPU	JENIS LAMPU	DAYA LAMPU	DAYA INPUT (WATT)
1	14	CFL	9	126
2	10	CFL	9	90
3	8	CFL	9	72
4	15	CFL	9	135
5	10	CFL	9	90
6	11	CFL	9	99
7	14	CFL	9	126
8	4	CFL	9	36
9	12	CFL	9	108
10	13	CFL	9	117
11	19	CFL	9	171
12	2	TL	36	72
13	10	CFL	9	90
14	15	CFL	9	135
15	6	CFL	9	54
16	12	CFL	9	108
17	6	CFL	9	54

Tabel 7. Peralatan Elektronik

RUANG	DAYA INPUT (WATT)
1	189
2	153
3	189
4	135
5	210
6	210
7	189
8	189
9	153
10	117
11	153
12	98
13	90
14	135
15	117
16	108
17	117

Tabel 8. Luas Kaca dan Pintu

Ruang	Luas (M ²)		Luas Total (M ²)
	Kaca	Pintu	
1	12,597	3,360	15,957
2	-	3,424	3,424
3	-	3,360	3,360
4	12,597	3,360	15,957
5	25,193	3,360	28,553
6	-	3,360	3,360
7	12,597	3,360	15,957
8	-	3,360	3,360
9	3,599	1,785	5,384
10	28,792	5,640	34,432
11	19,764	3,360	23,124
12	9,882	1,785	11,667
13	25,138	1,785	26,923
14	11,529	3,360	14,889
15	8,235	3,360	11,595
16	6,588	3,360	9,948
17	19,764	3,360	23,124

3.2. Perhitungan Kalor

A. Perolehan Kalor Eksternal

- Perolehan Kalor dari Dinding

Dinding pada bangunan gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak diasumsikan terbuat dari bahan yang sama, yaitu menggunakan batako dan plaster semen. Ukuran batako yang digunakan adalah batako 200 mm dan ketebalan masing-masing plasteran semen lebih kurang 10 mm.

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa luas dinding yang tersisa pada ruang 1 adalah 3,72 m². Dari tabel 4 ASHRAE 1997 bab24 didapat tahanan-tahanan:

- Plaster semen dalam 10 mm, $R_1 = 0,013 \text{ m}^2.\text{K/W}$
- Plaster semen dalam 10 mm, $R_2 = 0,013 \text{ m}^2.\text{K/W}$

- Batako 200 mm, $R_3 = 0,37 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Dari nilai tahanan pada dinding diatas maka nilai U dihitung menggunakan rumus 2, maka:

$$\begin{aligned} U &= 1/R_t \\ &= 1/(R_1+R_2+R_3) \\ &= 1/(0,013+0,013+0,37) \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ &= 1/0,396 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} = \mathbf{2,53 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}} \end{aligned}$$

Dinding ruang 1 menghadap ke utara, nilai CLTD_{maks} adalah sebesar 9°C (W.F. Stoecker, J.W Jones 1994, tabel 4-15, hal.76). Suhu yang dikondisikan sebesar 18°C , dan suhu udara luar untuk kota pontianak pada bulan agustus 34°C . Sehingga nilai CLTD berdasarkan rumus 3, adalah:

$$\begin{aligned} \text{CLTD} &= \text{CLTD}_{\text{maks}} + (t_1 - t_0) \\ &= 9 + (34 - 18) = 25^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka beban pendinginan dari dinding pada ruang 1 dihitung menggunakan rumus 2.1, didapat:

$$\begin{aligned} q &= UA(\text{CLTD}) \\ &= 2,53 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \times 37,2 \text{ m}^2 \times 25 \text{ K} \\ &= 2352,9 \text{ W} \end{aligned}$$

Dimana 1 W = 3,412 Btu/h, maka beban pendingin ruang 1 adalah sebesar:

$$q = 2352,9 \times 3,412 = \mathbf{8013,03 \text{ Btu/h}}$$

Total beban pendinginan dari dinding didapat sebesar 154.698,87 Btu/h.

- Perolehan Kalor dari Kaca

Sebagian besar gedung merupakan jendela kaca yang terbuat dari kaca bening dengan ketebalan 6,4 mm. Ruang yang dihitung pada bagian ini hanya bagian kaca yang terkena sinar matahari langsung.

Dari tabel 2 didapat luas kaca pada ruang 1 adalah 12,597 m². Koefisien peneduh (SC) bernilai 0,94 (ASHRAE 1997 tabel 11 bab 29, hal 29.25) dan faktor beban pendingin matahari adalah 249 untuk arah selatan dan 107 untuk arah utara (ASHRAE 1997 tabel 39 bab 28, hal 28.50). Maka beban pendingin dari kaca pada ruang 1 menggunakan rumus 4 adalah:

$$\begin{aligned} q &= A \cdot SC \cdot SCL \\ &= 12,597 \text{ m}^2 \times 0,94 \times 107 \\ &= 1.267,00626 \text{ W} \\ &= 4322,85 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Untuk besar beban pendinginan dari kaca pada ruangan lain dihitung dengan total beban pendinginan sebesar 117.258,89 Btu/h.

- Perolehan Kalor dari Langit-Langit

Bahan yang digunakan untuk langit-langit adalah gypsum dengan ketebalan 15,9 mm.

Tahanan (R1) untuk gypsum setebal 15,9 mm adalah 0,099 K.m²/W (ASHRAE 1997 tabel 4 bab 24, hal 24.4). Posisi permukaan adalah horizontal dengan aliran panas menuju ke bawah maka nilai tahanan (R2) untuk udara adalah 0,48 (ASHRAE 1997 tabel 1 bab 24, hal 24.2). Suhu udara yang dikondisikan adalah sebesar 180C dan suhu udara luar 340C. Luas langit langit dilihat pada tabel 3, 117,978 m².

Koefisien perpindahan panas desain (U) dihitung dengan rumus 2, sehingga didapat:

$$\begin{aligned} U &= 1/R_t \\ &= 1/(R_1+R_2) \\ &= 1/(0,099+0,48) \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} = 1,73 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{aligned}$$

Sehingga dengan menggunakan rumus 5, maka beban pendinginan dari langit-langit dihitung:

$$\begin{aligned} q &= UA (t_b - t_{ic}) \\ &= 1,73 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \times 117,978 \text{ m}^2 \times (34-18) \text{ K} \\ &= 3.265,63104 \text{ W} = 11.123,72 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Total beban pendinginan Langit-langit sebesar 112.464,58 Btu/h.

- Perolehan Kalor dari Lantai

Untuk lantai, diasumsikan seluruh ruangan adalah sama, yaitu lantai semen yang dilapis keramik. Luas lantai didapat dari tabel 3.4, 117,978 m². Tahanan (R1) untuk keramik adalah 0,009 K.m²/W dan tahanan (R2) untuk semen adalah 0,026 K.m²/W. Posisi permukaan adalah horizontal dengan aliran panas menuju ke atas maka nilai tahanan (R3) untuk udara adalah 0,17. Suhu udara yang dikondisikan adalah sebesar 180C dan suhu udara luar 340C.

Koefisien perpindahan panas desain (U) dihitung dengan rumus 2, sehingga didapat:

$$\begin{aligned} U &= 1/R_t \\ &= 1/(R_1+R_2+R_3) \\ &= 1/(0,009+0,026+0,17) \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} = 4,88 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{aligned}$$

Sehingga dengan menggunakan rumus 6, maka beban pendinginan dari langit-langit dihitung:

$$\begin{aligned} q &= UA (t_b - t_i) \\ &= 4,88 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \times 117,978 \text{ m}^2 \times (34-18) \text{ K} \\ &= 9.211,72 \text{ W} = 31.417,72 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Untuk besar beban pendinginan Total dari lantai pada ruangan lain sebesar 317.643,87 Btu/h.

- B. Perolehan Kalor Internal

- Perolehan Kalor dari Orang

Jenis ruangan adalah kantor dengan keaktifan yang tinggi, maka nilai kalor sensible adalah sebesar 75 W dan kalor laten 55 W (ASHRAE 1997 tabel 3 bab 28, hal 24.8). Faktor beban pendinginan dengan jam hunian (CLF) dengan jam kerja 9 jam adalah 0,92 (ASHRAE 1997 tabel 37 bab 28, hal 28.51). Jumlah orang didalam ruangan dapat dilihat pada tabel 3.5.

Jumlah orang pada ruang 1 adalah 10 orang, maka dengan menggunakan rumus 2.7 dan 2.8, dihitung:

$$\begin{aligned} q_{\text{sensible}} &= N (\text{Perolehan Panas sensible}) \cdot \text{CLF} \\ &= 10 \times 75 \times 0,92 = 690 \text{ W} = 2354,28 \text{ Btu/h} \\ q_{\text{latent}} &= N (\text{Perolehan Panas Laten}) \\ &= 10 \times 55 = 550 \text{ W} = 1876,6 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Untuk total beban pendinginan kalor sensible sebesar 43.318,75 Btu/h dan kalor laten sebesar 34.529,44 Btu/h. Sehingga beban kalor total sebesar 77.848,19 Btu/h.

- Perolehan Kalor dari Lampu

Jumlah lampu pada setiap ruangan dapat dilihat pada tabel 3.6. Faktor penggunaan cahaya (Ful), 1 (ASHRAE 2009, bab 18, hal 4). Faktor pencahayaan khusus yang diijinkan (FSA) sesuai dengan nilai yang direkomendasikan untuk aplikasi umum adalah 1,2 (ASHRAE 1997, bab 28, hal 28.8). Faktor beban pendinginan dengan jam hunian (CLF) dengan jam kerja 9 jam adalah 0,92 (ASHRAE 1997 tabel 38 bab 28, hal 28.52).

Jumlah lampu pada ruang 1 14 buah dengan total daya 126 W. Dengan rumus 9, dihitung:

$$\begin{aligned} q_{\text{el}} &= W \cdot \text{Ful} \cdot \text{Fsa} \cdot \text{CLF} \\ &= 126 \text{ W} \times 1 \times 1,2 \times 0,92 \end{aligned}$$

$$= 139,10 \text{ W} = 474,62 \text{ Btu/h}$$

Untuk hasil perhitungan pada ruangan lainnya dengan total beban pendingin 6339,61 Btu/h

- Perolehan Kalor dari Peralatan Elektronik

Jumlah daya peralatan elektronik yang merupakan kalor sensibel (SHG) pada setiap ruangan dapat dilihat pada tabel 3.7. Faktor beban pendinginan dengan jam hunian (CLF) dengan jam kerja 9 jam adalah 0,89 (ASHRAE 1997 tabel 39 bab 28, hal 28.53).

Jumlah total daya peralatan elektronik pada ruang 1 adalah 189 W. Dengan rumus 10, dihitung:

$$\begin{aligned} q &= \text{SHG} (\text{CLF}) \\ &= 189 \text{ W} \times 0,89 \\ &= 168,209 \text{ W} = 573,93 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan pada ruangan lainnya didapat dengan total beban pendingin 7749,61 Btu/h.

- C. Perolehan Kalor dari Udara Ventilasi dan Infiltrasi

Luas pintu dan kaca dapat dilihat pada tabel 3.8. Untuk ruang 1, total luas pintu dan kaca adalah 117,683 m². Diasumsikan kebocoran udara hanya pada pintu dan jendela. Koefisien area kebocoran udara efektif adalah 0,45 per unit (cm²) (ASHRAE 1997, bab 25, tabel 3, hal 25.18). Koefisien stack (Cs) 0,000145 (L/s)²/(cm⁴.K) (ASHRAE 1997, bab 25, tabel 6, hal 25.22). Suhu udara yang dikondisikan adalah sebesar 180C dan suhu udara luar ruangan 250C. Koefisien angin, Cw sebesar 0,000246 (L/s)²/(cm⁴ . (m/s)²) (ASHRAE 1997, bab 25, tabel 8, hal 25.22). Dari Stasiun Meteorologi Supadio Pontianak 2005-2015 didapat rata-rata kecepatan angin (V) pada tahun 2014 sebesar 207 m/s.

Dengan menggunakan rumus 14, dapat dihitung:

$$Q = \frac{A_L}{1000} \sqrt{C_s \Delta t + C_w V^2}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_L &= 0,45 \times \text{Luas kaca dan pintu} \\ &= 0,45 \times 15,957 = 7,18065 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{7,18065}{1000} \sqrt{0,000145 \times 7 + 0,000246 \times 207^2} \\ &= 0,0004 \text{ (m}^3/\text{s)} \end{aligned}$$

Sehingga perolehan kalor sensible dapat dihitung menggunakan rumus 2.11:

$$\begin{aligned} q_{\text{sensible}} &= 1,23Q (t_o - t_i) \\ q_{\text{sensible}} &= 1,23 \times 0,0004 (25 - 18) = 0,003444 \text{ W} \\ &= 0,0127 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Rasio kelembaban pada temperatur di luar ruangan (Wo) 0,020170 kg(air) / kg (udara kering) dan temperatur yang dikondisikan (Wi) 0,012989 kg (air) / kg (udara kering) (ASHRAE 1997, bab 6, tabel 2, hal 6.4.)

Sehingga perolehan kalor laten dihitung dengan menggunakan rumus 12:

$$\begin{aligned} q_{\text{latent}} &= 3010Q (W_o - W_i) \\ q_{\text{latent}} &= 3010 \times 0,0004 \text{ m}^3/\text{s} (0,020170 - 0,012989) \\ &= 0,004531244 \text{ W} = 0,032 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Entalpi udara di luar ruangan (Ho) 25,153 KJ/Kg udara kering dan entalpi udara yang dikondisikan (Hi) 18,108 KJ/Kg (ASHRAE 1997, bab 6, tabel 2, hal 6.4.).

Sehingga perolehan kalor total dengan menggunakan rumus 13:

$$\begin{aligned} q_{\text{total}} &= 1,20Q (h_o - h_i) \\ q_{\text{total}} &= 1,20 \times 0,0004 \text{ m}^3/\text{s} (25,153 - 18,108) \\ &= 0,0033816 \text{ W} \\ &= 0,012 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan didapat total beban pendingin 0,8975 Btu/h.

3.3. Analisis Pembebanan

Setelah menghitung beban pendinginan diatas, maka dapat diperoleh total beban pendinginan yang sebenarnya, disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 10. Total Beban Pendingin

No	Sumber Kalor	Uraian	Total Kalor (Btu/h)	Total Kalor (Pk)
1	External	- Dinding	154.698,87	17,19
		- Kaca	117.258,89	13,03
		- Langit-langit	112.464,58	12,50
2	Internal	- Lantai	317.643,87	35,29
		- Orang	77.848,19	8,65
		- Lampu	6.339,61	0,70
3	Ventilasi dan Infiltrasi	- Peralatan Elektroni	7.749,61	0,86
			0,8975	0,0001
BEBAN TOTAL			794.004,52	88,22

Ket : 1 PK = 9000 Btu

Dari tabel terlihat bahwa beban total pendinginan yang diperlukan adalah sebesar 794.004,52 Btu/h atau setara dengan 88,22 PK dengan beban kompresor 65,81 KW.

Kapasitas pendingin yang terpasang pada gedung direktorat adalah sebesar 89 Pk.

Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa kapasitas pendingin yang terpasang dengan beban pendinginan yang dibutuhkan sudah sesuai.

3.4. Peluang Pengehematan

Mengubah tingkat pencahayaan dengan mengganti jenis lampu.

Perhitungan dengan menggunakan lampu LED 5 terlihat adanya pengurangan beban pendinginan sebesar 5736,91 Btu/h dari beban pendingin yang terpasang sekarang, atau adanya penghematan sebesar 90,5%.

Mengubah setpoint suhu didalam ruang dari 180C menjadi 200C

Perubahan setpoint juga dapat menghemat energi yang digunakan. Pada beban pendingin dari dinding dapat dilakukan penghematan sebesar 11.080,38 Btu/h atau sebesar 7, 16%. Pada beban pendingin dari langit-langit dapat dilakukan penghematan sebesar 14.058,07 Btu/h atau sebesar 12,4999%.

Pada beban pendingin dari langit-langit dapat dilakukan penghematan sebesar 39.705,48 Btu/h atau sebesar 12,4999%.

Memperkecil SC (shading of coefficient)

Untuk memperkecil Shading Coefficient dapat dilakukan pada jendela kaca dan kaca mati, dengan memasang gorden yang lebih gelap. Nilai SC didapat 0,59 untuk kondisi pemasangan shading yang lebih gelap (ASHRAE 1979, bab 3, tabel 3.18, hal 3.31). Pada beban pendingin dari kaca ini dapat dilakukan penghematan sebesar 43.660,22 Btu/h atau sebesar 37,234%.

Mengurangi infiltrasi udara dapat dilakukan dengan mengurangi pintu dan jendela yang sering dibuka-tutup. Dalam hal ini diasumsikan jika infiltrasi udara hanya melalui pintu, dan jendela diasumsikan sebagai jendela mati. Pada beban pendingin ini dapat dilakukan penghematan sebesar

0,7975 Btu/h atau sebesar 88,86%. Sehingga total penghematan yang bisa dilakukan adalah sebesar 114.241,86 Btu/h yang setara dengan 12,69 Pk dan daya kompresor 56,35 KW. Berarti penghematan energi yang bisa dilakukan sekitar 14,388% dari kapasitas energi yang terpasang pada saat ini.

3.5. Perhitungan Biaya

Dari analisis teknik yang telah dilakukan terlihat bahwa dengan upaya penerapan penghematan energi dapat dilakukan penghematan sebesar 14,388%. Kebutuhan biaya untuk penerapan penghematan energi adalah sebesar Rp. 89.405.490

Total biaya Konsumsi Listrik untuk AC Sebelum Penghematan (65,81 KW) dalam 1 tahun adalah sebesar Rp. 144.410.410. Setelah dilakukan penghematan maka prediksi biaya konsumsi listrik untuk AC dalam 1 tahun adalah Rp. 123.665.980.

Sehingga selisih biaya yang dikeluarkan adalah sebesar:

Selisih biaya = Biaya sebelum penghematan – biaya setelah penghematan

$$= \text{Rp. } 144.410.410 - \text{Rp. } 123.665.980$$

$$= \text{Rp. } 20.744.430,-$$

Titik balik modal untuk penerapan penghematan dapat dicapai pada:

$$\text{BEP} = (\text{Biaya Penerapan Penghematan}) / (\text{Selisih Biaya})$$

$$= (\text{Rp. } 89.405.490) / (\text{Rp. } 20.744.430) = 4,31$$

Dari perhitungan diatas dapat terlihat bahwa biaya yang dikeluarkan untuk penerapan penghematan dapat di peroleh kembali pada pertengahan tahun ke 5.

4. Kesimpulan

1. Berdasarkan atas perhitungan dari kebutuhan beban pendingin diperoleh sebesar 794.004,52 Btu/h atau sebesar 88,22 PK. Kondisi beban pendingin yang terpasang adalah sebesar 89 PK.
2. Peluang penghematan yang bisa dilakukan adalah dengan mengganti jenis lampu yang dipakai, mengubah setpoint temperatur dari 180C menjadi 200C, mengurangi shading coefficient dengan cara memasang gorden yang lebih gelap, serta mengurangi kalor infiltrasi dengan cara mengurangi pintu dan jendela yang bisa dibuka-tutup. Dari ke-empat item peluang penghematan energi ini, bisa dihemat beban pendingin sebesar 114.241,86 Btu/h atau sekitar 12,69 Pk. Prosentase penghematan energi yang bisa dilakukan adalah sebesar 14,388%.

Referensi:

- [1.] ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation Manual, The American Society of Heating, *Refrigerating and Air Conditioning*, inc. Atlanta, 1997
- [2.] ASHRAE Handbook Fundamentals, The American Society of Heating, *Refrigerating and Air Conditioning*, inc. Atlanta, 1997
- [3.] Dossat, Roy. J, *Principle of refrigeration*, 2nd Edition, John Wiley and Son, New york, 1981.
- [4.] Mahon, Harold, Miklos and Hands Linear, *Efficient Energy Management*, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1983
- [5.] Moss, K.J, *Energy Management and Operating Cost in Building*, E&FN Spon, London, 1997
- [6.] Nugroho,W, *Studi Sistem Tata Udara Ruang Bersih Dalam kaitannya Dengan Pemakaian Energi*, Teknik Fisika ITB, Bandung, 1990
- [7.] Sinaga. N, *Beberapa Peluang Penghematan Energi pada Gedung Berlantai Banyak*, Jurnal Teknik FT. Undip, Edisi Agustus 1994, hal 42-45
- [8.] Stockher, WF, Jones. Jerold. W, *Refrigerasi dan Pengondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1989
- [9.] Tim Audit Energi Polnep, *Laporan Audit Energi Politeknik Negeri Pontianak Tahun 2014*, Politeknik Negeri Pontianak, 2014