

BAB III

PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN

Beban pendinginan dimaksudkan sebagai jumlah kalor yang harus dibuang dari ruangan yang dikondisikan yang harus diserap atau ditanggulangi oleh mesin pendingin.

Berdasarkan sumbernya, beban pendinginan terdiri atas dua bagian, yaitu

1. Beban pendinginan dari dalam ruangan, yang meliputi :
 - Beban pendinginan dari orang yang berada di dalam ruangan.
 - Beban pendinginan dari lampu yang terpasang di dalam ruangan.
 - Beban pendinginan dari peralatan listrik yang ada di dalam ruangan.
2. Beban pendinginan dari luar ruangan, yang meliputi :
 - Beban pendinginan melalui dinding.
 - Beban pendinginan melalui kaca.
 - Beban pendinginan melalui lantai.
 - Beban pendinginan melalui atap.
 - Beban pendinginan melalui pintu.
 - Beban pendinginan melalui ventilasi.

Perhitungan beban pendinginan dalam perancangan ini didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut :

- Bulan terpanas terjadi pada bulan September.

- Pemakaian *Air Conditioning* (operasi mesin pendingin) mulai jam 09.00 sampai dengan jam 21.00 (12 jam).

3.1 Beban Pendinginan dari Luar Ruangan

3.1.1 Beban Pendinginan Melalui Dinding

Besar beban pendinginan melalui dinding luar dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q = U \times A \times \text{ETD} \quad \text{BTU/hr} \quad \text{Carrier (1965 :1-59)}$$

Keterangan :

- Q = Laju perpindahan kalor melalui dinding (BTU/hr)
 U = Koefisien perpindahan panas dari seluruh bahan dinding (BTU/hr. ft². °F)
 A = Luas permukaan dinding (ft²)
 ETD = Perbedaan temperatur *equivalen* (°F)

Catatan :

1. Koreksi temperatur equivalent.

Untuk kota Bekasi yang terletak pada 40 °LU, besar koreksi temperatur *equivalen* ditetapkan sebagai berikut :

Daily range : 10 °F (Data dari BMG)

Selisih temperatur $Db_{oa} - Db_{rm}$ pada jam 15.00 WIB adalah :

$$(91 - 75) \text{ } ^\circ\text{F} = 16 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Dengan menggunakan Tabel 20 A Carrier (1965 : 1-63), diperoleh koreksi temperatur sebesar : 5 °F

2. Perbedaan temperatur *equivalen* (ETD).

Berdasarkan perbedaan temperatur *equivalen* untuk dinding dan atap, dengan asumsi dinding berwarna *light* (terang), dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$ETD = 0,55 (R_s/R_m) \times \Delta t_{em} + (1 - 0,55 R_s/R_m) \Delta t_{es} \quad \text{Carrier (1965 :1-64)}$$

Keterangan :

ETD = Temperatur *equivalen* untuk dinding dan atap ($^{\circ}\text{F}$).

R_s = *Maximum solar heat gain* yang melalui dinding dan atap pada bulan September dengan posisi 10°LS (BTU/hr.ft^2).

R_m = *Maximum solar heat gain* yang melalui dinding dan atap pada bulan September dengan posisi 40°LU (BTU/hr.ft^2).

Δt_{em} = Perbedaan temperatur *equivalen* untuk dinding dan atap yang terkena langsung sinar matahari ($^{\circ}\text{F}$).

Δt_{es} = Perbedaan temperatur *equivalen* untuk dinding dan atap yang dikenai bayangan ($^{\circ}\text{F}$).

Harga – harga Δt_{em} dan Δt_{es} ditentukan dengan cara :

- Untuk dinding menurut tabel 19 Carrier (1965 : 1-62) + koreksi temperatur *equivalen* tabel 20 A Carrier (1965 : 1-63).
- Untuk atap menurut tabel 20 Carrier (1965 : 1-63) + koreksi temperatur *equivalen* tabel 20 A Carrier (1965 : 1-63).

Nilai U diperoleh dengan ketentuan berikut :

Penentuan hasil diambil berdasarkan pertimbangan untuk lokasi bangunan pada posisi 10°LS dan berat per satuan luas dinding rata – rata 60 lb/ft^2 .

Dengan demikian maka harga Δt_{em} dan Δt_{es} adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1

Harga Δt_{em} untuk dinding

Hadapan	Waktu matahari												
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Barat	5	5	7	9	12	15	24	31	39	45	46	41	33
Timur	26	35	36	36	24	19	18	17	18	19	18	17	16
Selatan	2	3	12	17	25	29	30	31	28	25	20	17	15
Utara	2	3	4	5	8	11	13	15	16	17	17	17	15

Tabel 3.2

Harga Δt_{es} untuk dinding

Waktu matahari												
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
3	3	4	5	7	9	11	13	14	15	15	15	14

Untuk menentukan harga R_s digunakan tabel 15 Carrier (1965 : 1 48) dengan asumsi bulan terpanas terjadi pada bulan September pada 10°LS , maka didapat harga seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.3

Harga maximum solar heat gain (R_s)

Bulan	Hadapan	Waktu matahari									
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
September 10 °LS	Barat	13	14	14	14	47	106	151	164	130	1
	Timur	151	106	47	14	14	14	13	11	6	1
	Selatan	13	14	14	14	14	14	13	11	6	1
	Utara	19	24	27	28	27	24	19	13	6	1

Untuk menentukan harga R_m di gunakan tabel 15 Carrier (1965 : 1-48), yang diambil pada bulan September dengan posisi 40 °LU, didapat harga seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.4

Harga maximum solar heat gain (R_m)

Bulan	Hadapan	Waktu matahari									
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
September 40 °LS	Barat	12	13	13	14	45	99	139	149	116	0
	Timur	139	99	45	14	13	13	12	9	5	0
	Selatan	81	110	122	140	122	110	81	44	12	0
	Utara	12	13	13	14	13	13	12	9	5	0

Tabel 3.5

Perbedaan harga temperatur equivalen dinding (ETD)

Hadapan	Waktu matahari									
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Barat	4,4	4,4	6	6	8,5	11,4	14,3	20,9	26,2	~
Timur	13,6	22,1	22,6	22	15,5	15,7	16	18,6	19,5	~
Selatan	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	1,5	1,7	3,3	7	~
Utara	3,8	5,6	8,3	10	15,6	18,7	19,1	20,3	20,1	2,7

Tabel 3.6

Beban pendinginan melalui dinding

Jam	Barat			
	A	U	ETD	Q
9	817,1	0,6	4,4	2157,1
10			4,4	2157,1
11			6	2941,6
12			6	2941,6
13			8,5	4167,2
14			11,4	5588,9
15			14,3	7010,7
16			20,9	10246,4
17			26,2	12844,8

Jam	Timur			
	A	U	ETD	Q
9	833,3	0,6	13,6	6799,7
10			22,1	11049,6
11			22,6	11299,5
12			22	10999,6
13			15,5	7749,7
14			15,7	7849,7
15			16	7999,7
16			18,6	9299,6
17			19,5	9749,6

Jam	Utara			
	A	U	ETD	Q
9	1058,3	0,6	3,8	2412,9
10			5,6	3555,9
11			8,3	5270,3
12			10	6349,8
13			15,6	9905,7
14			18,7	11874,1
15			19,1	12128,1
16			20,3	12890,1
17			20,1	12763,1
18			2,7	1714,5

Jam	Selatan			
	A	U	ETD	Q
9	1188,9	0,6	0,4	285,3
10			0,4	285,3
11			0,5	356,7
12			0,5	356,7
13			0,8	570,7
14			1,5	1070,01
15			1,7	1212,7
16			3,3	2354,02
17			7	4993,4
18			~	~

3.1.2 Beban Pendinginan Melalui Kaca

Beban pendinginan dari sinar matahari yang melalui kaca dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = A \times \text{sun gain} \times \text{shade factor} \quad (\text{Carrier, 1965:1-29})$$

Keterangan :

Q = Jumlah panas yang diterima oleh kaca (BTU/hr)

A = Luas penampang kaca (sqft)

Sun gain = Penerimaan radiasi sinar matahari pada kaca. Harga *sun gain* dapat diperoleh dari tabel kemudian dikoreksi dengan faktor yang lainnya.

Shade factor = Merupakan faktor yang mempengaruhi jumlah panas yang dapat masuk ke ruangan. *Shade factor* dapat berupa kaca yang berwarna, tirai pada bagian dalam ruangan dan yang lainnya. Warna kaca yang

terang biasanya memantulkan sinar matahari lebih besar, sehingga panas yang masuk ke dalam ruangan lebih kecil dibandingkan dengan kaca yang berwarna gelap.

Tabel 3.7

Beban pendinginan melalui kaca

Hadapan	Jam	Kaca Barat			
		A	Sun gain	Shade faktor	Q
Barat	9-18	42,3	164	0,3	2081,2
Timur		26,4			1298,9
Utara		80,2	10		240,6

3.1.3 Beban Pendinginan Melalui Pintu

Beban pendinginan dari sinar matahari yang melalui pintu dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = A \times U \times \Delta t_e \quad (\text{Carrier, 1965 : 1-76})$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan kalor melalui pintu (BTU/hr)

U = Koefisien perpindahan panas melalui pintu (BTU/hr. ft².°F)

A = Luas permukaan pintu (ft²)

Δt_e = Perbedaan temperatur ruangan dalam dan luar (°F)

Tabel 3.8

Beban pendinginan melalui pintu

Hadapan	Jam	A	U	Δt_e	Q
Utara	9 -21	64,5	0,5	16	516
Selatan		16.1			128,8
Total					644,8

3.1.4 Beban Pendinginan Melalui Atap

Beban pendinginan dari sinar matahari yang melalui atap dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = A \times U \times \Delta t_{es} \quad (\text{Carrier, 1965 : 1-71})$$

Keterangan :

Q = Laju perpindahan kalor melalui atap (BTU/hr)

U = Koefisien perpindahan panas melalui atap (BTU/hr. ft².°F)

A = Luas permukaan atap (ft²)

Δt_{es} = Perbedaan temperatur *equivalen* untuk dinding dan atap yang dikenai bayangan (°F).

Tabel 3.9
Beban pendinginan melalui atap

Jam	Lantai 1 & 2			
	A	U	Δt_{es}	Q
9	1764,4	0,4	3	2117,3
10			3	2117,3
11			4	2823,04
12			5	3528,8
13			7	4940,3
14			9	6351,8
15			11	7763,4
16			13	9174,9
17			14	9880,6
18			15	10586,4
19			15	10586,4
20			15	10586,4
21			14	9880,6

3.1.5 Beban Pendinginan Melalui lantai

Beban pendinginan yang melalui lantai dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = A \times U \times \Delta t$$

(Carrier 1965 :1-73)

Keterangan :

- Q = Laju perpindahan kalor melalui lantai (BTU/hr)
 U = Koefisien perpindahan panas melalui lantai (BTU/hr. ft².°F)
 A = Luas permukaan lantai (ft²)
 Δt = Perbedaan temperatur ruangan dalam dan luar (°F)

Tabel 3.10

Beban pendinginan melalui lantai

Lantai	A	U	Δt	Q
Satu	1764,9	0,78	5	6883,1

3.1.6 Beban Pendinginan Melalui Partisi dinding

Beban pendinginan yang melalui partisi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = A \times U \times \Delta t \quad (\text{Carrier, 1965:1-59})$$

di mana :

- Q = Laju perpindahan kalor melalui partisi dinding (BTU/hr)
 U = Koefisien perpindahan panas melalui partisi (BTU/hr. ft².°F)
 A = Luas permukaan partisi (ft²)
 Δt = Perbedaan temperatur ruangan dalam dan luar (°F)

Tabel 3.11

Beban pendinginan melalui partisi

Lantai	A	U	Δt	Q
Satu	1721	0,6	5	5163

3.2 Beban Pendinginan dari Dalam Ruangan

3.2.1 Beban Pendinginan Orang

Beban pendinginan dari orang yang berada di dalam ruangan, terdiri atas beban *sensible* dan beban *latent heat*. Perhitungannya didasarkan pada asumsi :

- Unit mesin *Air Conditioning* beroperasi walaupun dengan tidak adanya orang di dalam ruangan.
- Temperatur ruangan yang dikondisikan konstan setiap jamnya.

Untuk rumah tinggal berdasarkan tabel 48 Carrier (1965 : 1-100) dengan temperatur ruangan 75 °F Db, besar kalor dari orang adalah :

$$Q_{\text{sensibel}} = \text{jumlah orang} \times 245 \text{ (BTU/hr)}$$

$$Q_{\text{latent}} = \text{Jumlah orang} \times 205 \text{ (BTU/hr)}$$

Dengan demikian, diperoleh beban pendinginan dari orang sebesar :

Tabel 3.12

Beban pendinginan dari orang

Sensibel	Latent
1751	1435

3.2.2 Beban Pendinginan dari lampu

Lampu penerangan memberikan energi radiasi ke sekeliling ruangan, sehingga merupakan beban *sensibel heat* ruangan yang dikondisikan.

Perhitungan beban pendinginan dari lampu didasarkan pada asumsi :

- Unit mesin *Air Conditioning* dan lampu penerangan beroperasi tidak pada waktu yang bersamaan.
- Semua lampu yang berada di dalam ruangan yang dikondisikan hanya menyala dari pukul 17.00 sampai pukul 21.00 WIB.

Berdasarkan tabel 49 Carrier (1965 : 1-101), besar perolehan panas dari lampu adalah :

- Incandescent : $Q = \text{Jumlah daya} \times 3,4 \text{ (BTU/hr)}$
- Fluorescent : $Q = \text{Jumlah daya} \times 1,25 \times 3,4 \text{ (BTU/hr)}$

Dengan demikian, besar beban pendinginan dari lampu adalah :

Tabel 3.13

Beban pendinginan dari lampu

Tipe	Daya	Q	Q _{total}
Incandescent	54	183,6	1288,6
Fluorescent	260	1105	

3.2.3 Beban Pendinginan Akibat Masuknya Udara Luar

1. Beban Pendinginan Akibat Udara Ventilasi

Beban ini berasal dari udara luar yang sengaja dimasukkan ke dalam ruangan. Udara ventilasi untuk menjaga keseimbangan jumlah oksigen yang diperlukan oleh orang yang berada di dalam ruangan tersebut.

Faktor dominan yang menentukan udara ventilasi adalah jumlah orang, berdasarkan Tabel 45 Carrier (1965 : 1-97), untuk rumah tinggal direkomendasikan 20 Cfm/orang. Besarnya udara ventilasi adalah :

$$Cfm_{vent} = 20 \times 7 = 140 \text{ Cfm}$$

Berdasarkan perhitungan bahwa udara akibat ventilasi lebih besar daripada jumlah udara akibat infiltrasi. Untuk menghitung beban pendinginan akibat udara ini diambil salah satu yang terbesar, dalam hal ini udara ventilasi dijadikan patokan sedangkan udara infiltrasi diabaikan.

Dalam perolehan panas dari udara luar ini harus disertakan suatu faktor yang menunjukkan kemungkinan udara lolos dari *cooling coil* (*Bypass Factor*). Menurut Tabel 62 Carrier (1965 : 1-127), harga *Bypass factor* (*BF*) untuk rumah tinggal adalah 0,3 sampai dengan 0,5. Dalam perancangan ini diambil harga $BF = 0,3$ yang direkomendasikan.

Jumlah perolehan panas *sensible* dan *latent* akibat masuknya udara luar dihitung dengan persamaan berikut :

Untuk panas *sensible* adalah :

$$Q_{oash} = Cfm_{vent} \times \Delta t \times 1,08 \quad \text{Carrier (1965 :1-150)}$$

Untuk panas *latent* adalah :

$$Q_{oalh} = Cfm_{vent} \times \Delta grain \times 0,68 \quad \text{Carrier (1965 :1-150)}$$

Keterangan :

Q_{oash} = Besar beban panas *sensiele* (BTU/hr)

Q_{oalh} = Besar beban panas *latent* (BTU/hr)

Cfm_{vent} = Jumlah udara ventilasi (Cfm)

Δt = Perbedaan temperatur luar dan dalam ($^{\circ}F$)

$\Delta grain$ = Perbedaan *specific humidity* udara luar dan udara dalam (grains/lb dry air)

Tabel 3.14

Perolehan panas akibat ventilasi

Ventilasi	Cfm_{vent}	Δt	$\Delta grain$		Q_{vent}	Q_{total}
Sensibel	140	9	-	1,08	1360,8	1362,4
Laten		-	0,017	0,68	1,6	

3.3 Beban Pendinginan dari Sumber Lain

Beban pendinginan yang disebabkan oleh sumber lain yaitu beban dari peralatan listrik yang mengeluarkan panas. Besar laju perpindahan panas untuk

seluruh peralatan listrik yang mengeluarkan panas dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \text{Total watt} \times 3,4$$

Tabel 3.15

Beban pendinginan dari lain - lain

Nama	Watt	Q_{total}
Race cooker	400	5287
Komputer	480	
Kulkas	150	
Dispenser	350	
TV 21'	80	
TV 14'	75	
DVD Room	20	

3.4 Rekapitulasi Perolehan Panas

Perhitungan beban panas untuk pengkondisian udara yaitu mulai jam 09.00 sampai dengan jam 21.00 WIB. Berdasarkan hasil perhitungan beban pendinginan, diketahui bahwa beban pendinginan puncak terjadi pada jam 17.00 WIB dengan total beban pendinginan sebesar 7.95 TR.

Tabel 3.15

Rekapitulasi Perolehan Panas Tiap Jam (BTU/hr)

No	Uraian	Waktu																		
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21						
1	Q.Dinding	11655	17047,9	19868,1	20647,7	22393,3	26382,7	28351,2	34790,1	40350,9	-	-	-	-						
2	Q.Kaca	3620,7	3620,7	3620,7	3620,7	3620,7	3620,7	3620,7	3620,7	3620,7	-	-	-	-						
3	Q.Lantai	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1	6883,1						
4	Q.Atap	2117,3	2117,3	2823,04	3528,8	4940,3	6351,8	7763,4	9174,9	9880,6	10586,4	10586,4	10586,4	9880,6						
5	Q.Partisi	5163	5163	5163	5163	5163	5163	5163	5163	5163	5163	5163	5163	5163						
6	Q.Lampu	-	-	-	-	-	-	-	-	1288,6	1288,6	1288,6	1288,6	1288,6						
7	Q.Peralatan	5287	5287	5287	5287	5287	5287	5287	5287	5287	5287	5287	5287	5287						
8	Q.Orang (STLH)	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1435						
9	Q.Orang (S)	1751	1751	1751	1751	1751	1751	1751	1751	1751	1751	1751	1751	1751						
10	Q.Pintu	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8	644,8						
11	STSH	38556,9	43949,8	47475,7	48961,1	52118,2	57519,1	60899,2	68749,4	76304,7	33038,9	33038,9	33038,9	32333,1						
12	SF (10% STSH)	3855,69	4394,98	4747,57	4896,11	5211,82	5751,91	6089,92	6874,94	7630,47	3303,89	3303,89	3303,89	3233,31						
13	RSH = STSH + SF	42412,59	48344,78	52223,27	53857,21	57330,02	63271,01	66989,12	75624,34	83935,17	36342,79	36342,79	36342,79	35566,41						

No	Uraian	Waktu																		
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21						
14	Duct loss (SDL=10%RSH)	4241,259	4834,478	5222,327	5385,721	5733,002	6327,101	6698,912	75624,34	8393,517	3634,279	3634,279	3634,279	3556,641						
15	OASH	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8	1360,8						
16	ERSH = RSH + SDL + OASH	48014,649	54540,05	58806,397	60603,73	64423,82	70958,91	75048,83	84547,57	93689,48	41337,87	41337,87	41337,87	40483,85						
17	SF (10% STLH)	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5	143,5						
18	RLH = STLH + SF	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5	1578,5						
19	SDL = 10% RLH	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57	581,57						
20	OALH	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6						
21	ERLH = RLH + SDL + OALH	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97	1739,97						
22	ERTH = ERSRSH + ERLH	49754,599	56280,03	60546,367	62343,70	66163,79	72698,88	76788,80	86287,54	95429,45	43077,84	43077,84	43077,84	42223,83						
23	TR	4,15	4,69	5,04	5,19	5,51	6,06	6,39	7,19	7,95	3,58	3,58	3,58	3,52						