

PERANCANGAN SISTEM TATA UDARA RUANG BERSIH KELAS B UNTUK RUANG PRODUKSI OBAT DI PT.X

Tenti Tresna Yanti^{1,a}, Rudi Hermawan^{2,b}

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila, Jakarta 12640

^atentitresnayanti20@gmail.com, ^bhermawanrudi73@gmail.com

ABSTRAK

Perancangan sistem tata udara untuk ruang bersih di Indonesia mengacu pada standar yang diterbitkan oleh CPOB. Parameter-parameter yang harus dipenuhi berupa temperatur, kelembaban udara relative, jumlah partikel dan air change per hour. Dalam proses perancangan sistem tata udara untuk ruang bersih kelas B akan dilakukan perhitungan besar kalor ruangan yang dikondisikan dengan menggunakan metoda CLTD, analisa psikometrik, pemilihan peralatan yang terkait serta dilakukan perhitungan COP dan efisiensi secara teoritis pada sistem pendingin yang digunakan. Hasil perhitungan menunjukkan besarnya kalor yang harus dikondisikan pada ruang bersih kelas B di PT.X adalah 69 kW. Filter yang digunakan adalah G14,F9,H14 dan menggunakan diffuser dan grille tipe perforated. Besarnya nilai COP aktual AHU yang digunakan adalah 8,20, nilai COP refrigerasi AHU yang digunakan adalah 11,67 sedangkan effesiensinya yaitu 70%.

Kata kunci : *Clean Room, CLTD, Perancangan Tata Udara, COP*

1. PENDAHULUAN

Sistem tata udara merupakan sistem yang bekerja dengan mengondisikan temperatur, kelembaban udara, besarnya aliran udara dan tekanan udara pada suatu ruangan sehingga dicapai kondisi yang diinginkan. Ruang bersih atau *cleanroom* merupakan suatu ruangan khusus yang dirancang sedemikian rupa sehingga mampu melakukan pengendalian terhadap konsentrasi partikel yang terdapat pada ruangan tersebut agar sesuai dengan standar yang berlaku. Mengacu pada standar EN ISO 14644-1 *cleanroom* terdiri dari 5 kelas yang terdiri dari kelas A,B,C,D dan E^[1]. Perbedaan paling mendasar pada masing-masing kelas tersebut terletak pada banyaknya konsentrasi partikel yang diijinkan ada dalam ruangan tersebut. Ruang bersih kelas B pada umumnya digunakan pada ruangan dimana produk langsung berhubungan dengan lingkungan, kegiatan yang terjadi pada ruang bersih kelas B diantaranya adalah pembuatan dan pengisian produk secara aseptis. Pada ruang bersih kelas B jumlah partikel yang diperbolehkan ada dalam ruangan pada

saat kondisi Non operasional adalah ≤ 3520 untuk partikel berukuran $\geq 0,5 \mu\text{m}$ dan ≤ 29 untuk partikel berukuran $\geq 5 \mu\text{m}$. Pada salah satu area produksi obat di PT.X terdapat beberapa ruangan yang harus dikondisikan sebagai ruang bersih kelas B. Untuk itu pada kesempatan ini akan dilakukan proses perancangan sistem tata udara untuk ruang bersih kelas B di PT.X dengan temperatur rancangan 20°C dan RH 50% yang mana telah sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh CPOB.

Setiap perusahaan yang bergerak diindustri pembuatan obat dalam proses produksinya harus mengacu pada Pedoman Cara Pembuatan Obat yang Baik (CPOB) yang dikeluarkan oleh BPOM RI^[3]. Pedoman ini berisikan aturan dasar yang berkaitan dengan proses produksi dan manajemen mutu dalam industri farmasi sehingga produk yang dihasilkan mencapai standar mutu yang sesuai dengan tujuan penggunaan dan sesuai dengan persyaratan izin edar serta spesifikasi produk. Menurut CPOB pembuatan produk steril harus dilakukan dalam area bersih atau *cleanroom* yang tingkat kebersihannya

dijaga sesuai dengan standar kebersihannya. Standar internasional berkaitan dengan ruang bersih dan klasifikasinya yang saat ini berlaku adalah EN ISO 14644-1 dan FS 209^[4]. Pada dasarnya metoda penentuan kelas ruang bersih merupakan hubungan antara dimensi partikel yang terdapat pada suatu ruangan dengan jumlah maksimum partikel yang diperbolehkan berada pada suatu ruang bersih^[3].

Menurut *World Health Organization* perancangan sistem tata udara untuk ruang bersih harus mempertimbangkan 3 aspek yaitu perlindungan terhadap produk, terhadap personil dan terhadap lingkungan^[3]. Sedangkan parameter-parameter kritis dalam perancangan sistem tata udara pada ruang bersih terdiri dari ^[3]:

1. Temperatur dan kelembaban
Bergantung pada design proses produksi, persyaratan produk dan kenyamanan operator.
2. Perbedaan tekanan ruang
Mengacu pada pedoman CPOB perbedaan tekanan antar ruangan yang ada pada kelas berbeda adalah 10 – 15 Pa, sedangkan perbedaan tekanan untuk ruang bersih yang berada pada satu kelas yang sama namun salah satu ruangan tersebut kondisinya lebih kritis adalah 1,2 Pa atau ± 5 Pa.
3. Pola aliran udara
Pola aliran udara untuk ruang bersih harus laminar dimana aliran udara berkisar antara 0,46 m/s sampai 0,1 m/s.

Pengendalian jumlah partikel dilakukan dengan penggunaan filter udara. *Pre Filter* atau penyaringan awal merupakan filter yang memiliki efisiensi berkisar antara 25% - 85 % dan biasanya ditempatkan pada masukan udara luar. *Medium filter* memiliki efisiensi sekitar 40% - 90 % bergantung pada jenis partikel yang disaring. *High Efficiency Air Filtration* memiliki efisiensi sekitar 99,97%, mampu menyaring debu, jamur,

pollen, bakteri dan partikel lainnya yang ada di udara hingga ukuran 0,3 mikrometer^[5].

Perhitungan besarnya kalor yang harus dikondisikan menggunakan metoda CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*).

1. Kalor melalui lantai (Q_{Lt}) dan Partisi (Q_{par})
Besarnya kalor yang melalui lantai dapat dihitung dengan persamaan (1)^[6].

$$Q_{Lt/Par} = U_{Lt/par} \times A_{Lt/par} \times TD \quad (1)$$

2. Kalor dari lampu (Q_L)
Besarnya kalor dari penerangan dapat dihitung dengan persamaan (2)^[6].

$$Q_L = P_L \times F_u \times F_s \times CLF \quad (2)$$

3. Kalor dari penghuni (Q_{Ps} , Q_{Pl})
Perhitungan kalor dari penghuni terdiri dari kalor sensibel dan laten. Besarnya nilai kalor sensibel dan laten yang dikeluarkan oleh satu orang serta nilai CLF didapat dari tabel ASHRAE. Hasilnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan (4)^[6].

$$Q_{Ps} = \left(\frac{q_s}{p} \right) \times n \times CLF \quad (3)$$

$$Q_{Pl} = \left(\frac{q_l}{p} \right) \times n \quad (4)$$

4. Kalor dari peralatan (Q_{al})
Untuk peralatan mesin yang memiliki power dan motor besarnya nilai kalor dari peralatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5^[6].

$$Q_s = (A/B/C) \times F_l \times CLF \quad (5)$$

5. Kalor Infiltrasi dan Ventilasi
Kalor infiltrasi merupakan kalor yang berasal dari masuknya udara luar kedalam ruangan yang dikondisikan dimana jumlahnya tidak diperhitungkan sebelumnya. Kalor infiltrasi dapat masuk melalui celah-celah jendela dan pintu. Perhitungan kalor infiltrasi

menggunakan persamaan 6 dan 7^[6].

$$Q_{is} = 1,23 \times v_{in} \times \Delta T \quad (6)$$

$$Q_{il} = 3,01 \times v_{in} \times \Delta \omega \quad (7)$$

Sedangkan beban kalor ventilasi merupakan kalor yang berasal dari udara luar yang diberikan secara sengaja dan terdiri dari beban sensibel dan laten. Debit udara ventilasi pada ruang bersih bergantung pada jumlah debit udara yang terbuang akibat eksfiltrasi. Perhitungan untuk beban ventilasi adalah dengan persamaan 8 dan 9^[6].

$$Q_{Vs} = 1,23 \times v_{ven} \times \Delta T \quad (8)$$

$$Q_{Vl} = 3,01 \times v_{ven} \times \Delta \omega \quad (9)$$

Debit udara ventilasi didapat dengan persamaan 10^[6].

$$v_{ven} = ACH \times Vol \times \frac{1}{3,6} \quad (10)$$

6. Kalor Total

Kalor total ruangan terdiri dari *Room Sensible Heat Gain* (RSHG) dan *Room Laten Heat Gain* (RLHG) yang mana merupakan hasil penjumlahan dari beban-beban yang telah dijelaskan sebelumnya. Perhitungan sesuai dengan persamaan (11) ÷ (12)^[6].

$$RSH = Q_{Lt} + Q_{Par} + Q_{Ps} + Q_L + Q_{al} \quad (11)$$

$$RLH = Q_{Pl} \quad (12)$$

Sedangkan untuk total kalor pendinginan atau *Grand Sensible Heat*(GSH) dan *Grand Laten Heat Gain* (GLH) merupakan hasil dari persamaan 13 ÷ 15^[6].

$$GSH = RSH + (Q_{Is} + Q_{Vs}) \quad (13)$$

$$GLH = RLH + (Q_{Vs} + Q_{Vl}) \quad (14)$$

$$GTH = GSH + GLH \quad (15)$$

Perhitungan efisiensi dari sistem pendingin dilakukan dengan cara

membanding *COP* aktual dengan *COP* refrigerasi sebagaimana persamaan 16 ÷ 18^[7].

$$COP_R = \frac{T_e}{T_K - T_e} \quad (16)$$

$$COP_a = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (17)$$

$$\eta_{reff} = \frac{COP_a}{COP_R} \times 100 \% \quad (18)$$

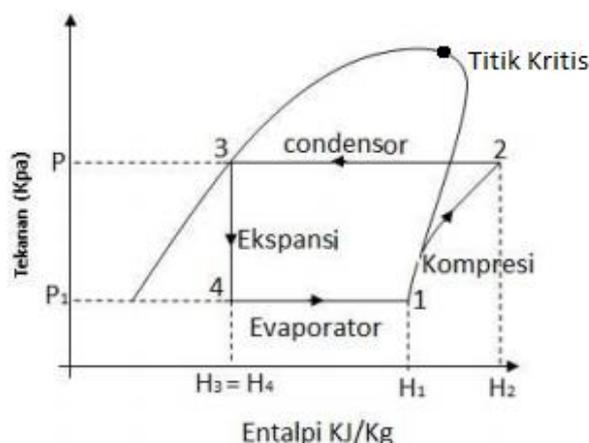
2. METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan penelitian terdiri dari pengumpulan data geometri bangunan, data temperatur lingkungan, data kebutuhan pengondisian ruangan, perhitungan kalor yang terdiri dari kalor eksternal dan internal, kalor infiltrasi dan ventilasi, analisa psikometri, pemilihan unit dan perhitungan *COP* unit AHU yang digunakan secara teoritis. Sistem tata udara yang dirancang beroperasi sesuai penggunaan ruangan yaitu selama 8 jam dari mulai pukul 08.00 ÷ 16.00 WIB.

Berdasarkan rekap data temperatur dan RH (*Relative Humidity*) yang didapat dari BMKG (Badan Meteorologi dan Geofisika) untuk kota Jakarta selama satu tahun terakhir adalah dapat dilihat dari Tabel 1. Sedangkan data geometri ruangan dan kondisi rancangan setiap ruangan dapat dilihat dari Tabel 2.

Banyaknya jumlah penghuni, penerangan dan peralatan yang terdapat pada masing-masing ruangan dapat dilihat dari Tabel 3.

Data konstruksi bangunan terdiri dari data penyusun lapisan dinding, atap, lantai dan pintu bangunan. Data ini dibutuhkan untuk menentukan nilai *U* atau koefisien perpindahan kalor konduksi dan partisi. Besarnya nilai *U* dilihat dari Tabel 4.



Gambar 1 Diagram *P-h*

Tabel 1 Data Geografi Bangunan

Parameter	Keterangan
Latitude	6° LS
Bulan Terpanas (<i>Peak Load</i>)	Oktober
Temperatur udara luar maksimum	34,5 °C
Temperatur udara luar minimum	24,5 °C
Rh	67%
Temperatur tanah	32,6 °C

Tabel 2 Data Geometri dan Kondisi Rancangan

Ruangan	Arah	Luas (m ²)			Temperatur (°C)			Tinggi Ceiling (m)	ACH
		Dinding	Pintu	Atap, Lantai	Ruangan	Partisi Dinding	Partisi Pintu		
<i>Vials Sealing</i>	T	9,6	-	16	20	27	-	3	40
	U	15	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vials Filling</i>	T	9,6	6,85	54	20	27	27	3	40
Mal 1	U	6	-	4	20	-	-	3	40
Pal (out) 1	-	-	-	3	20	-	-	3	40
Pal (in) 1	-	-	-	4	20	-	-	3	40
Mal 2	-	-	-	3	20	-	-	3	40
Pal (out) 2	-	-	-	3	20	-	-	3	40
Pal (in) 2	-	-	-	4	20	-	-	3	40
<i>Syringe Filling</i>	B	24	-	43	20	-	-	3	40

Tabel 3 Data Internal Ruangan

Ruangan	Penghuni	Daya Penerangan (Watt)	Daya Peralatan (Watt)
<i>Vials Sealing</i>	2	216	6080
<i>Vials Filling</i>	4	792	6080
Mal 1	1	36	0
Pal (out) 1	1	36	0
Pal (in) 1	1	72	0
Mal 2	1	36	0
Pal (out) 2	1	36	0
Pal (in) 2	1	72	0
<i>Syringe Filling</i>	3	612	6080

Tabel 4 Data Konstruksi Bangunan

Partisi				Lantai			
Konstruksi	Kode	R (hr ft ² °F/ Btu)	U (Btu/hr ft ² °F)	Konstruksi	Kode	R (hr ft ² °F/ Btu)	U (Btu/hr ft ² °F)
<i>Outside</i>	A0	0,333		<i>Outside</i>	A0	0,333	
<i>Panel Sandwich</i>	E1	0,335	0,587	<i>Concrete</i>	C14	4,92	
				<i>Plaster</i>	E1	0,156	0,162
				<i>Finishing Layer</i>	E1	0,076	
<i>Inside</i>	E0	0,685		<i>Inside</i>	E0	0,685	

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan kalor terdiri dari kalor lantai, partisi, penghuni, penerangan, peralatan, infiltrasi dan ventilasi. Perhitungan kalor dilakukan pada jam puncak yaitu pada pukul 16.00 WIB. Besarnya nilai kalor yang dihasilkan melalui lantai dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Luas area didapat dari gambar gedung, nilai U lantai dari Tabel 4 dan temperatur ruangan dari Tabel 2 serta temperatur tanah dari Tabel 1.

Kalor partisi berasal dari dinding, atap dan pintu. Dinding dan atap dapat dihitung sebagai kalor partisi dikarenakan ruangan yang dikondisikan berada di antara ruangan lainnya sehingga tidak ada dinding ruangan yang berhubungan dengan udara luar. Ruangan berada dilantai 1 dimana lantai 2 dari bangunan adalah kantor sehingga atap ruangan yang dikondisikan merupakan partisi antara lantai 1 dan 2. Besarnya nilai kalor partisi dihitung menggunakan persamaan (1). Data luasan partisi didapat dari gambar bangunan, nilai U sesuai dengan Tabel 4.

Besarnya nilai kalor penerangan dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Daya watt lampu dapat dilihat dari Tabel 3, sedangkan nilai F_u , F_s dan CLF didapat dari buku ASHRAE. Nilai *fixture unit* untuk semua ruangan adalah 1. Sedangkan untuk nilai F_s dilihat dari ASHRAE GRP 158 Cooling Load and Heating Load Calculation Manual Table 4.1 Average of Ballast Factor for

Fluorescent dan bergantung pada jumlah lampu per *fixtured* dan watt lampu sehingga didapat nilai F_s adalah 1,2. Nilai CLF didapat dari ASHRAE GRP 158 Cooling Load and Heating Load Calculation Manual Table 4.4B Cooling Load Factors when Lights are on for 8 hours dengan klasifikasi $a = 0,55$ dan klasifikasi $b = D$. Sehingga nilai CLF untuk pukul 16.00 WIB adalah 0,72.

Besarnya nilai kalor penghuni dihitung dengan menggunakan persamaan (3) ÷ 4. Nilai q_s , q_l dan CLF yang didapat dari ASHRAE GRP 158 Cooling Load and Heating Load Calculation Manual.

Besarnya nilai kalor peralatan dihitung dengan menggunakan persamaan (5). Data F_L dan CLF diperoleh dari ASHRAE, nilai F_l dan CLF setiap ruangan pada jam 16.00 WIB dapat dilihat dari tabel ASHRAE. Hasil dari perhitungan kalor lantai, partisi, penerangan, penghuni dan peralatan dapat dilihat dari Tabel 5.

Beban infiltrasi dan ventilasi dihitung dengan persamaan 6 sampai 10. Besarnya debit ventilasi dihitung dengan metoda ACH. ACH yang dimaksud merupakan ACH lingkungan atau besarnya nilai *fresh air* yang dibutuhkan sistem. Sedangkan besarnya debit infiltrasi dihitung dengan metoda celah bukaan pintu. Sedangkan hasil perhitungan kalor ventilasi dan infiltrasi dapat dilihat dari Tabel 6.

Besarnya kalor total dihitung dengan persamaan (11) ÷ (15). Hasilnya adalah sebagaimana Tabel 7.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Kalor Ruangan

Ruangan	Lantai (Q_{Lr}) [Watt]	Partisi(Q_{par})[Watt]			Penerangan (Q_{Lp}) [Watt]	Penghuni (Q_p) [Watt]		Peralatan (Q_{alt}) [Watt]
		Dinding	Pintu	Atap		Sensibel	Laten	
<i>Vials Sealing</i>	191	573		373	187	151	190	2165
<i>Vials Filling</i>	646	225	160	125 9	684	302	380	2165
Mal 1	48	141	-	94	31	76	95	-
Pal (out) 1	36	-	-	70	31	76	95	-
Pal (in) 1	48	-	-	94	62	76	95	-
Mal 2	36	-	-	70	31	76	95	-
Pal (out) 2	60	-	-	117	31	76	95	-
Pal (in) 2	48	-	-	94	62	76	95	-
<i>Syringe Filling</i>	524	219	-	102 2	529	227	285	2165

Tabel 6 Hasil Perhitungan Kalor Luar

Ruangan	ACH	Volume Ruangan [m ³]	V_{vent} [lps]	Q/A	A_{inf} [m ²]	V_{inf} [lps]	OASH [Watt]	OALH [Watt]
<i>Vials Sealing</i>	10	48	133	0,2	49,2	4,6	1612	4110
<i>Vials Filling</i>	10	162	450	0,2	97,4	9,2	5362	13675
Mal 1	10	12	34	0,18	24,1	2,1	418	1066
Pal (out) 1	10	9	25	0,18	21	1,8	313	799
Pal (in) 1	10	12	34	0,18	24,1	2,1	418	1066
Mal 2	10	9	25	0,18	21	1,8	313	799
Pal (out) 2	10	15	42	0,18	27,1	2,3	516	1317
Pal (in) 2	10	12	34	0,18	24,1	2,1	418	1066
<i>Syringe Filling</i>	10	131	365	0,2	80,8	7,6	4354	11105

Tabel 7 Hasil Perhitungan Kalor Total

No	Ruangan	RSH [Watt]	RLH [Watt]	RTH [Watt]	GSH [Watt]	GLH [Watt]	GTH [Watt]
1	<i>Vials Sealing</i>	4642	190	4832	6254	4300	10554
2	<i>Vials Filling</i>	6442	380	6822	11805	14055	25860
3	Mal 1	390	95	485	808	1161	1969
4	Pal (out) 1	213	95	308	526	894	1420
5	Pal (in) 1	281	95	376	699	1161	1860
6	Mal 2	213	95	308	526	894	1420
7	Pal (out) 2	284	95	379	800	1412	2212
8	Pal (in) 2	281	95	376	699	1161	1860
9	<i>Syringe Filling</i>	5687	285	5972	10042	11390	21432

Dengan melakukan *ploting* pada plot psikometrik. Data yang diperlukan untuk dapat melakukan plot pada psikometrik yaitu temperatur ruangan, temperatur luar,

nilai *RSHF* dan *GSHF* serta debit udara.

$$RSHF = \frac{18433 \text{ W}}{19585 \text{ W}} = 0,93$$

$$GSHF = \frac{32159 \text{ W}}{68585 \text{ W}} = 0,47$$

Temperatur luar = 29,5°C, RH = 67%.
 Temperatur ruangan = 20°C, RH = 50%.
 Debit udara luar = 1175 L/s. Dapat dilakukan plot psikometri dengan hasil: Temperatur *Entering Air* = 22°C, RH = 60%. Temperatur *Leaving Air* = 9°C Db, 9°C Wb. Temperatur *Supply Air* = 17,5°C Db, RH = 60%. Kemudian dengan perhitungan didapat debit dan temperatur *entering* sesuai dengan persamaan (19) ÷ (22).

$$V_{sa} = \frac{RSH}{1,23 \times (T_{ra} - T_{sa})} \quad (19)$$

$$V_{sa} = \frac{18433 \text{ W}}{1,23 \times (20 - 17,5)} = 5994 \text{ Lps}$$

Sehingga :

$$V_{ra} = V_{sa} \times 80\% \quad (20)$$

$$V_{ra} = 5994 \times 80\% = 4796 \text{ Lps}$$

Kemudian dilakukan perhitungan *Temperatur entering air* :

$$T_{ea} = \frac{(V_{oa} \times T_{oa}) + (V_{ra} \times T_{ra})}{V_{sa}} \quad (21)$$

$$T_{ea} = 21,8^\circ \text{C}$$

$$Q_{reheat} = 1,23 \times V_{sa} (T_{sa} - T_{la}) \quad (22)$$

$$Q_{reheat} = 62672 \text{ W}$$

Dengan hasil T_{ea} hitung hampir sama dengan hasil plotting maka iterasi psikometrik sudah dapat diterima.

Pemilihan unit AHU menggunakan software ITU. Dengan menggunakan parameter hasil plot psikometrik didapat hasil seleksi yaitu AHU 36T. Filter yang digunakan merupakan filter *brand Camfill*. Untuk melakukan seleksi filter akan tergantung pada efisiensi yang diinginkan. Hasil pemilihan dari filter dapat dilihat dari tabel 8.

Diffuser dan *grille* untuk sistem tata udara *cleanroom* menggunakan tipe perforated dimana dengan menggunakan tipe ini aliran udara yang disemburkan akan menjadi laminar. Pemilihan ukuran unit *diffuser* dan *grille* dilakukan berdasarkan seleksi debit yang dibutuhkan.

Perhitungan performansi dilakukan secara teoritis. Plot diagram *P-h* dilakukan menggunakan software Coolpack. Data hasil seleksi AHU :

- Temperatur Evaporasi [K] = 280
- Temperatur Kondensasi [K] = 304
- Efisiensi isentropik = 0,8 (asumsi)

Sehingga hasil plot diagram *ph* adalah sebagaimana gambar 2.

Dari diagram didapat nilai :

- $h_1 = 403 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 423 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = h_4 = 239 \text{ kJ/kg}$

Sehingga dengan menggunakan persamaan (16) ÷ (18) besarnya nilai $COP_a = 8,2$, $COP_R = 11,67$ dan Efisiensi sistem (η_{reff}) = 70% .

Tabel 8 Hasil Seleksi Filter

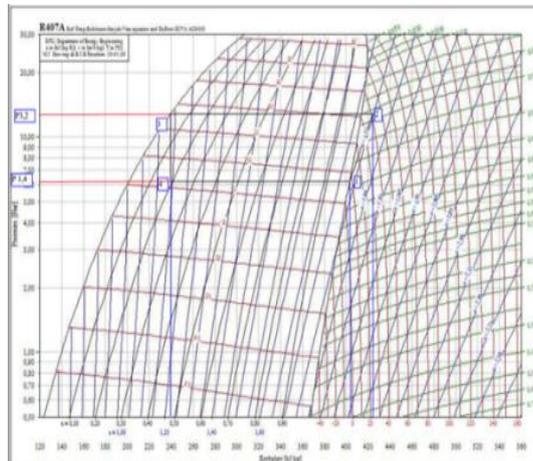
AHU	Debit [LPS]	Filter G4		Filter G4		Filter G4	
		Ukuran	Unit Filter	Ukuran	Unit Filter	Ukuran	Unit Filter
AHU 1	5994	<i>Custom</i>	Aeroplaste Eco	<i>Custom</i>	9640 80+	<i>Custom</i>	VGXL14

Tabel 9 Hasil Seleksi Diffuser

Ruangan	Supply Air			
	VSA [CMH]	N Diffuser	V Diffuser [CMH]	Ukuran Diffuser [mm]
<i>Vials Sealing</i>	3321	4	830	340 x 340
<i>Vials Filling</i>	8137	6	1356	440 x 440
Mal 1	620	1	620	340 x 340
Pal (out) 1	447	1	447	240 x 240
Pal (in) 1	585	2	293	240 x 240
Mal 2	447	1	447	240 x 240
Pal (out) 2	696	2	348	240 x 240
Pal (in) 2	585	1	585	340 x 340
<i>Syringe Filling</i>	6743	6	1124	440 x 440

Tabel 10 Hasil Seleksi Grille

Ruangan	Return Air			
	VRA [CMH]	N Grille	V Grille[CMH]	Size Diffuser [mm]
<i>Vials Sealing</i>	2657	3	886	500 x 250
<i>Vials Filling</i>	6509	5	1302	600 x 300
Mal 1	496	1	496	350 x 200
Pal (out) 1	357	1	357	250 x 200
Pal (in) 1	468	1	468	300 x 250
Mal 2	357	1	357	250 x 200
Pal (out) 2	557	1	557	350 x 250
Pal (in) 2	468	1	468	300 x 250
<i>Syringe Filling</i>	5395	4	1349	600 x 300



Gambar 2 Plot Diagram P-h

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kapasitas pendinginan yang dibutuhkan untuk mengondisikan ruang bersih kelas B pada ruang produksi obat PT. X adalah sebesar 69 kW. Peralatan sistem tata udara yang digunakan adalah AHU brand ITU 36T,

Filter brand camfill jenis Aeroplate Eco untuk Filter G4, jenis 9/640 80+ untuk F9 , jenis VGXL untuk H14. Sedangkan diffuser grille yang digunakan adalah tipe perforated. Besarnya nilai COP aktual AHU yaitu 8,20. Sedangkan nilai COP refrigerasi adalah 11,67 dan Effesiensi dari dari unit AHU adalah 70%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Saputra, P. Studi, and T. Mesin, "Perancangan Instalasi Tata Udara Ruang Bersih Area," *BINA Tek.*, vol. 14, no. Juni 2018, pp. 37–46, 2018.
- [2] A. Bhatia, *HVAC Design for Cleanroom Facilities*, no. 877. New York: Continuing Education and Development, Inc., 2015.
- [3] BPOM, *Suplemen I 2009 Pedoman Cara Pembuatan Obat yang Baik 2006*. Jakarta, 2009.
- [4] E. S. Castango, "Pharmacy Cleanroom Project Management Consideration : An-Experience Based Perspective," *Int. J. Pharm. Compd.*, vol. Vol 3 No 5, pp. 221–225, 2013.
- [5] G. A. Chaudhari and S. H. Sarje, "Clean Room Classification for Pharmaceutical Industry," *Int. J. Eng. Tech. Res.*, vol. Volume-3, no. 4, pp. 241–244, 2015.
- [6] Anon, *Cooling and Heating Load Calculation Manual*, 1979. ASHRAE, 1979.
- [7] K. Anwar, "Efek Beban Pendingin terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin," *J. SMARTek*, vol. 8, no. 3, p. 203, 2010.

6. DAFTAR NOTASI

ΔT : Perbedaan temperatur udara luar dan temperatur rancangan [$^{\circ}C$]
 $\Delta \omega$: Perbedaan rasio kelembaban Antara udara luar dan udara dalam ruangan [kg/kg]
 A : Luas [m^2]
 $A/B/C$: Koefisien sensible peralatan
 ACH : *Air Change Per Hour*
 CLF : *Cooling load factor*
 COP : *Coefficient of Performance*
 F_l : *Overload limit peralatan*
 F_s : Faktor *ballast*

F_u : Prosentase penggunaan lampu
 $GSHF$: *Grand sensible heat gain factor*
 GTH : *Grand total heat gain*
 h : Entalpi [kJ/kg]
 n : Jumlah penghuni
 η : Efisiensi
 $OALH$: *Outdoor air laten heat gain*
 $OASH$: *Outdoor air sensible heat gain*
 P_l : Daya Lampu [Watt]
 Q : Besarnya kalor [Watt]
 q_l : Kalor laten penghuni [Watt]
 q_s : Kalor sensibel penghuni [Watt]
 $RSHF$: *Room sensible heat gain factor*
 RTH : *Room total heat gain*
 T : Temperatur [K]
 T_D : *Temperature difference* [$^{\circ}C$]
 U : Koefisien perpindahan kalor [$Btu/hr.ft^2.^{\circ}F$]
 V : Laju aliran udara [l/s]
 Vol : volume ruangan [m^3]

SUBSCRIPT

a : Aktual
 al : Peralatan
 e : Evaporasi
 ea : *entering air*
1 : keluaran evaporator
4 : masukkan evaporator
 Il : Infiltrasi Laten
 in : Infiltrasi
 Is : Infiltrasi Sensibel
 K : Kondensasi
 l : Laten
 L : Lampu
 Lt : Lantai
 P : Penghuni
 Par : Partisi
 R : Refrigerasi
 ra : return air
 s : Sensibel
 sa : supply air
 ven : Ventilasi
 Vl : Ventilasi Laten
 Vs : Ventilasi Sensibel