

Perancangan Sistem Tata Udara Dan Simulasi Pola Aliran Udara Di Ruang Isolasi Dan Imunitas Menurun Pada Rumah Sakit Menggunakan Program Flovent 8.2

Budihardjo¹, Hamdani²

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

¹ Staff Pengajar Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

² Mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

*Email :

bbutje@gmail.com,

danihamdan328@gmail.com

ABSTRAK

Kualitas udara pada ruang isolasi pasien imunitas menurun menjadi pertimbangan dalam perancangan sistem tata udara ruang isolasi dalam mencegah dan melindungi pasien dari kontaminasi udara luar. Dalam perancangan sistem tata udara ruang isolasi, diperlukan sistem ventilasi yang baik untuk mencegah masuknya kontaminan bakteri atau patogen ke dalam ruangan. Kebutuhan suplai udara ruang berdasarkan ACH harus terpenuhi untuk menjaga tekanan ruang tetap terjaga positif. Sistem filter menjadi bagian yang penting dalam menciptakan kualitas udara yang bersih. Filter yang dipilih menggunakan Pre, medium dan HEPA filter serta menggunakan duct dalam sistem distribusi udaranya. Pola udara dari suplai ke ruangan juga harus laminar. Studi ini menggunakan pemodelan aliran udara dengan FloVent 8.2. Hasil menunjukkan perbandingan ruangan *existing* dengan disain usulan yang sesuai dengan standar ruang isolasi tekanan positif. Ruangan *existing* menunjukkan hasil laju aliran yang terlalu besar mengakibatkan kecepatan udara juga tinggi. Jumlah partikel yang masuk juga tidak sesuai dengan standar. Tata letak HEPA filter disain *existing* berada pada posisi yang tidak sesuai. Disain usulan menunjukkan kecepatan aliran keluar dari HEPA filter adalah 0.5 m/s, temperatur sebesar 21.6 °C, tekanan 3.6 Pa dan kelembaban udara 50%. Parameter ini telah sesuai standar yang berlaku. Pola aliran udara yang keluar dari HEPA filter juga laminar. Jumlah partikel kontaminasi yang ada di ruangan masih dalam toleransi standar ISO.

Kata kunci: Ruang isolasi, imunitas menurun, ruangan existing, disain usulan, kontaminasi partikel, HEPA filter, standar.

Latar Belakang

Rumah sakit merupakan tempat pelayanan pasien yang menderita berbagai penyakit menular. Mulai dari penyakit menular ringan sampai yang berbahaya. Hal ini yang menyebabkan resiko penyebaran penyakit dari satu pasien ke pasien lain, begitupun petugas yang terpapar dengan agen infeksi.

Dari hasil pengukuran jumlah partikel, semua ruang isolasi belum mencapai standar, yaitu standar ISO kelas 5. Dalam mencapai parameter minimal ISO kelas 5, jumlah partikel dalam setiap ruangan tidak boleh melebihi batas maksimal yang telah ditentukan untuk setiap ukuran partikelnya.

Jadi, penulis ingin merancang sebuah ruang isolasi yang dirancang sesuai dengan standar ASHRAE 170 dan CDC, untuk mengurangi infeksi penyakit berbahaya dan mencegah penyebaran infeksi pada petugas kesehatan atau pasien serta menjaga pasien yang mengalami gangguan imunitas. Perancangan ini dimulai dengan melakukan observasi pada sebuah ruang isolasi di salah satu rumah sakit di Jakarta. Kemudian melakukan perhitungan *cooling load* yang dibutuhkan pada ruangan tersebut. Setelah itu, membuat disain sistem tata udara yang efektif dan sesuai dengan standar. Penulis juga akan membuat pemodelan untuk simulasi distribusi aliran udara.

1. Dasar Teori

Ruang isolasi adalah suatu ruang perawatan pasien yang didisain untuk mencegah terjadinya infeksi virus dan bakteri pembawa penyakit dari satu pasien ke pasien lain dan petugas kesehatan. Ruangan ini juga mencegah bakteri dan patogen yang berasal dari lingkungan luar.

Ada 4 tipe ruangan isolasi, sebagai berikut:

1. Ruang Tekanan Negatif
2. Ruang Tekanan Positif
3. Ruangan Tekanan Alternatif (tekanan positif/negatif)
4. Ruang Tekanan Standar

2. Tujuan

1. Sebagai referensi dalam mendisain ruang isolasi dengan mengacu kepada standar yang berlaku
2. Membuat model dan melakukan simulasi pada ruang isolasi dengan bantuan program FloVent untuk mengetahui parameter-parameter kondisi ruangan serta pola distribusi aliran udaranya.
3. Membandingkan hasil simulasi pada keadaan aktual ruang operasi dengan disain yang telah dirancang.

3. Manfaat Penelitian

1. Memberikan arah acuan standar pada perancangan dan pemilihan sistem tata udara dalam ruang bersih untuk meningkatkan keamanan dan kesehatan pasien yang berpenyakit khusus.
2. Memberikan gambaran pergerakan aliran udara dalam ruang melalui pemodelan atau simulasi aliran udara dalam ruang dan usaha mengendalikannya dalam menunjang kebersihan ruangan.
3. Memberikan informasi terkait penerapan disain ruang dalam memenuhi standar ASHRAE 170.

4. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini penulis melakukan perancangan dan simulasi distribusi aliran udara dan temperatur di dalam clean room sebuah ruang isolasi agar dapat memenuhi standar yang ada, baik itu standar ISO, standar ASHRAE dan CDC maupun standar dari kementerian kesehatan.

Ada beberapa batasan masalah dalam perancangan dan simulasi yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Ukuran dan struktur ruangan
2. Posisi peralatan yang ada dalam ruang isolasi
3. Temperatur, tekanan, kelembaban dan aliran udara pada ruang isolasi

5. Metodologi

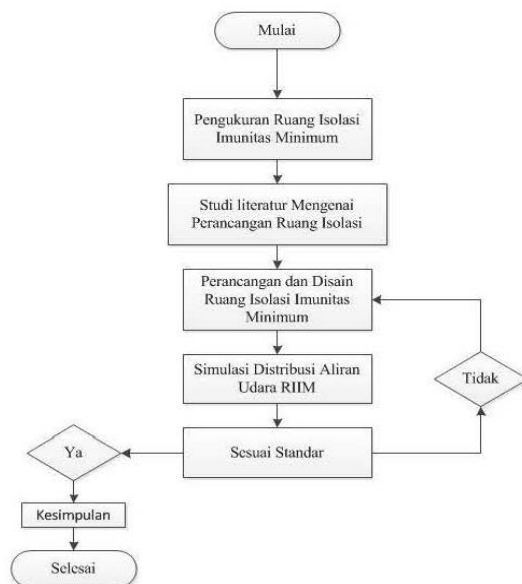
metode perancangan ini memiliki beberapa tahap. Berikut merupakan tahapan dalam perancangan dan simulasi ruang isolasi dan imunitas menurun.

5.1 Pengukuran

Pada saat melakukan pengukuran, diperlukan penentuan data pengukuran yang akan diambil. Data tersebut terdiri dari :

- Dimensi ruangan
- Temperatur ambient ruangan
- Kelembaban ruangan
- Jumlah partikel dalam ruangan
- Tekanan dalam ruangan
- Kecepatan aliran udara

5.2 Diagram Alir Perancangan



Gambar 1. Diagram alir perancangan sistem tata udara RIIM

5.3 Batasan Parameter Input Simulasi

Ada beberapa parameter yang dimasukkan untuk menjalankan simulasi. Parameter tersebut diperoleh dari hasil pengukuran aktual disain lama dan perhitungan manual untuk disain yang terbaru. Perbedaan parameter input pada program simulasi berupa laju aliran udara yang akan disuplai pada ruangan, temperatur udara suplai dan kelembaban udara. Parameter ini dibedakan menjadi dua macam yaitu parameter input dan parameter output laju aliran udara.

Pada parameter *output* dimasukkan data laju aliran udara pada *return air grill* dengan perbedaan nilai 100 ft³/min. perbedaan ini diharapkan untuk

mendapatkan tekanan positif pada ruangan yaitu dengan nilai diatas +2.5 Pa.

5.4 Program Simulasi

Program simulasi yang akan digunakan adalah FloVent 8.2. FloVent adalah sebuah alat disain analisis aliran udara CFD untuk mensimulasikan aliran udara, perpindahan panas, dan control kontaminasi di dalam ruangan atau bangunan.

Aliran udara bisa disebabkan secara alami dan mekanik. Ada tiga bentuk perpindahan panas :

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi

Pemodelan yang digunakan pada program simulasi ini adalah:

- LVEL k-epsilon (k-ε) model

k-ε model adalah salah satu bentuk pemodelan aliran fluida yang memiliki dua persamaan *transport* yang terdiri dari variabel energi kinetik turbulen dan dissipasi turbulen. Ada persamaan laju disipasi dan dua persamaan *transport* pada pemodelan ini, persamaannya adalah sebagai berikut

- Persamaan laju dissipasi energi kinetik turbulen

$$\epsilon = C_{\mu} k^{1.5} / L \quad (1)$$

- Persamaan transport untuk k

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v k) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w k) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \mu_t \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial w}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial y} \right] - C_{\mu} \rho k^{1.5} L + \beta g \mu_t \sigma t \frac{\partial T}{\partial y} \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

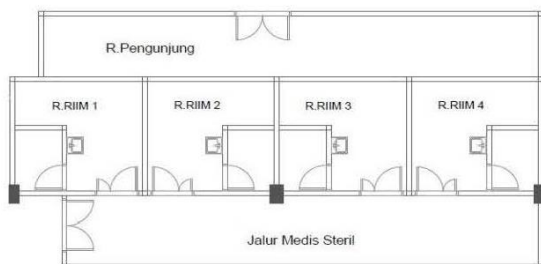
Pada persamaan ini, $\mu_t = C_D \rho L / \sqrt{k}$ dimana C_D kontanta empiris (≈ 1.0) dan $\sqrt{k}$ menggambarkan kecepatan turbulen, dimana k adalah energi kinetik serta L adalah skala panjang. $\Gamma_k = \mu_e / \sigma_k$ dimana $\sigma_k \approx 1$, σ_t adalah bilangan prandtl atau schmidt turbulen (0.5-0.9) dan C_μ adalah konstan ≈ 0.09 . bentuk persamaan akhir dari persamaan diatas merepresentasikan efek *bouyancy*, dengan β sebagai koefisien ekspansi volumetrik.

- Persamaan transport untuk ϵ

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\epsilon) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\epsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\epsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\epsilon) = & \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial z}\right) + C_1 \frac{\epsilon}{k} \mu_t \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right)^2 \right\} - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_3 \beta g \frac{\epsilon}{k} \Gamma_\epsilon \frac{\partial T}{\partial y} \quad (3) \end{aligned}$$

Di sini, $\Gamma_\epsilon = \mu_e / \sigma_\epsilon$ dimana σ_ϵ konstan dengan nilai 1.22, $C_1 = 1.44$, $C_2 = 1.92$ dan $C_3 = 1$ serta $\mu_t = C_\mu \rho k^2 / \epsilon$ setelah mensubstitusi $C_D = 1$.

5.5 Denah Ruang Isolasi



Gambar 1. Denah ruang isolasi

5.6 Perhitungan Beban Pendingin

5.6.1 Beban Internal

Beban termal internal dihasilkan oleh manusia, lampu dan peralatan elektronik menghasilkan termal.

- Orang

$$q_{\text{total}} = q_s - q_l \quad (4)$$

$$q_s = \frac{q_s}{\text{orang}} \times \text{jumlah orang} \times \text{CLF} \quad (5)$$

$$q_l = \frac{q_l}{\text{orang}} \times \text{jumlah orang} \quad (6)$$

Dimana

q_{total} : jumlah antara q_s dan q_l (Btu/hr)

q_s : beban termal sensibel (Btu/hr)

q_l : beban termal laten (Btu/hr)

CLF : Cooling Load Factor

Dari ketiga persamaan di atas maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Data Perhitungan Beban Termal Orang

Jumlah Orang	CLF ^b	q_s (Btu/hr)	q_l (Btu/hr)	Q_t (Btu/hr)
2 Petugas Medis	0.84	420	400	820
1 Pasien	1	225	105	330

^bTabel 4.6 Manual Calculation Cooling Load

- Lampu

$$q_s = 3.41 \times q_i \times F_u \times F_s \times \text{CLF} \quad (7)$$

Dimana

Q_s : beban termal sensibel dari lampu (Btu/hr)

Q_i : total watt lampu (Watt)

F_u : fraksi q_i saat digunakan

F_s : ballast allowance factor

CLF : Cooling Load Factor bernilai 1 jika sistem pendingin beroperasi hanya saat lampu menyala atau nyala lampu lebih dari 16 jam

$$q_s = 3.41 \times 105 \times 1 \times 1.3 \times 1$$

$$q_s = 465.47 \text{ Btu/hr}$$

- Alat Elektronik

Pada ruang isolasi terdapat 1 televisi LCD dengan ukuran 20 inci. Dasar perhitungan beban termal memakai pendekatan (hosni, et al 1999) dengan persamaan berikut:

$$q_{\text{mon}} = 0.2S - 20 \quad (8)$$

Dimana

q_{mon} : heat gain from monitor, (Watt)

S : ukuran monitor, (mm)

Dari persamaan (8) diperoleh heat gain dari TV LCD 20 in

$$q_{\text{mon}} = (0.2 \times 508) - 20$$

$$q_{\text{mon}} = 273.15 \text{ Btu/hr}$$

5.6.2 Beban Eksternal

Beban eksternal pada ruangan isolasi ini dihasilkan dari atap ruangan. Walaupun di dalam ruangan terdapat jendela namun tidak terkena sinar matahari langsung. Sehingga beban termal pada jendela ruangan dianggap tidak ada. Dalam perhitungan beban pada atap digunakan persamaan:

$$q_{\text{roof}} = U \times A \times \text{CLTD} \quad (9)$$

Dimana

q_{roof} : beban termal atap, (Btu/hr)

U : koefisien transmisi termal disain, (Btu/hr.ft².°F)

CLTD : Cooling Load Temperature Differences

Dari persamaan (9) diperoleh beban termal pada atap yaitu:

$$q_{\text{roof}} = 0.109 \times 147.25 \times 16$$

$$q_{\text{roof}} = 256.8 \text{ Btu/hr}$$

**Table 3.8 CLTD for Calculating Cooling from Flats Roof*

1. Beban Pendinginan Total

Tabel 2. Total Beban Pendinginan

No.	Beban	Q sensibel (Btu/hr)	Q laten (Btu/hr)
1	Qs Orang	645	505
2	Qs Lampu	465.47	-
3	Qs Tv	237.15	-
4	Qs Atap	256.8	-
	Total	1604.42	505

5.7 Perhitungan Laju Aliran Udara

1. Perhitungan Laju Aliran Berdasarkan ACH (AirChanges per Hour)

Berdasarkan standar ASHRAE 170, dapat diperoleh berapa suplai udara yang akan diberikan pada ruangan isolasi dengan geometri (3.8 x 3.6 x 3) m dikurangi Volum kamar mandi sebesar (6.75 m³). Dalam menghitung kebutuhan suplai udara berdasarkan ACH nya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ACH = \frac{\text{SuplaiUdara}}{\text{VolumRuangan}} \quad (10)$$

Maka

$$\text{SuplaiUdara} = 12 \times (34.29 \text{ m}^3)$$

$$\text{SuplaiUdara} = 411.48 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{SuplaiUdara} = 242.18 \text{ ft}^3/\text{min}$$

2. Perhitungan Laju Aliran Udara Berdasarkan Beban Pendinginan

Untuk menghitung laju aliran udara dari beban termal sensibel dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$qs = 1.1 \times cfm \times \Delta t \quad (11)$$

Sedangkan dalam menghitung laju aliran dari beban termal laten dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$ql = 0.69 \times cfm \times \Delta \text{grain} \quad (12)$$

Dari persamaan (11) maka diperoleh laju aliran udara sebagai berikut:

$$cfm = \frac{1604.42}{1.1 \times (91.4 - 69.8)}$$

$$cfm = 67.52 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Nilai grain diperoleh dari diagram psikometrik dengan keadaan RH udara luar 65% dan RH di dalam ruangan 55% serta temperatur suplai udara ke ruangan sebesar 21°C.

$$cfm = \frac{ql}{0.69 \times \Delta \text{grain}}$$

$$cfm = \frac{505}{0.69 \times (72 - 60)}$$

$$cfm = 61 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Jadi laju aliran total berdasarkan beban termal adalah 156.9 ft³/min. Maka suplai udara ke ruangan memakai nilai laju aliran udara berdasarkan ACH yaitu 242.18 ft³/min.

5.8 Diagram Psikometrik Ruang Isolasi

Dalam menentukan proses yang terjadi dalam ruang isolasi, diperlukan penentuan titik-titik dari kondisi udara pada setiap bagian tertentu. Penentuan titik ini berdasarkan data kondisi desain sistem tata udara yang telah disesuaikan dengan standar yang berlaku. Kondisi udara luar diperoleh dari SNI dengan temperatur 33°C DB dan 27°C WB .

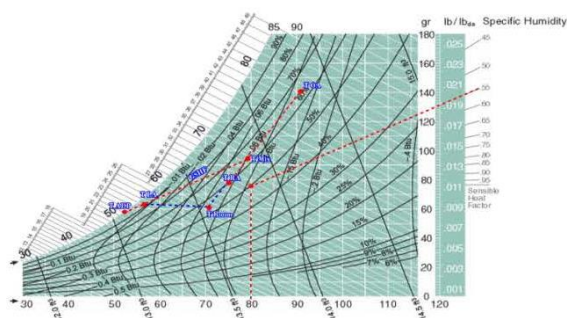
- *Grand Sensible Heat Factor*

$$GSHF = \frac{TSH}{TSH + TLH} \quad (17)$$

Dimana :

TSH = Total Sensible Heat

TLH = Total Latent Heat

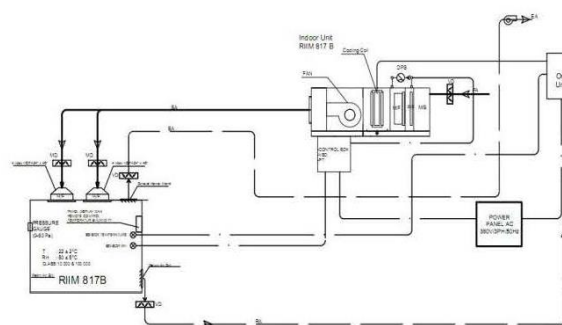


Gambar 2. Diagram Psikometrik Sistem Tata Udara Ruang Isolasi

5.9 Disain Sistem Tata Udara

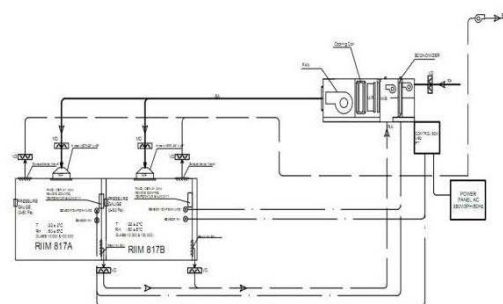
5.9.1 Skematik Diagram Sistem Tata Udara

Skematik diagram pada sistem tata udara ruang isolasi dan imunitas menurun menggambarkan suplai udara dari mesin pendingin ruangan. Berikut ini merupakan gambar skematik diagram dari disain *existing* dan usulan dari penulis:



Gambar 3. Skematik diagram sistem tata udara disain *existing*

Pada gambar di atas, suplai udara berasal dari *indoor* unit yang berada di atap bangunan ruangan. *Indoor* unit ini menyuplai udara hanya untuk satu ruangan isolasi. Mesin pendingin ini terdiri dari *indoor* dan *outdoor* unit yang terpisah. Pada bagian *indoor* unit terdapat 2 filter yaitu pre dan medium filter. Selain itu, juga terdapat *cooling coil*, *blower evaporator* dan *mixing box*. Sedangkan pada *outdoor* unit terdiri dari kontrol temperatur, kompresor dan kondensor unit.



Gambar 4. Skematik diagram sistem tata udara disain usulan

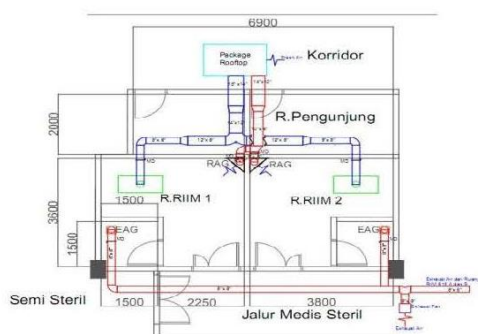
Disain usulan yang diberikan dengan mengganti mesin pendingin menggunakan *rooftop unit*. Mesin ini memiliki *indoor* dan *outdoor* unit pada satu casing. Komponen utama pada mesin ini yaitu kompresor, unit kondensor, unit *evaporator*, *economizer*, kontrol temperatur dan tekanan. Mesin ini digunakan untuk menyuplai udara untuk dua ruangan isolasi dengan kapasitas mesin 3 Tons refrigeration.

Udara suplai diperoleh dari udara luar dengan komposisi lebih kecil dibandingkan udara balik dari ruangan. Suplai udara ke ruangan melalui 1 HEPA filter untuk masing-masing ruangan isolasi. Di dalam ruangan juga terdapat 1 *return air grill* yang berfungsi sebagai saluran untuk udara balik. Pada kamar mandi juga terdapat *exhaust grill* yang berfungsi untuk membuang udara kotor yang ada pada kamar mandi serta menjaga agar tekanan ruangan tersebut lebih rendah dari ruangan pasien.

5.9.2 Sistem Ducting Ruang Isolasi



Gambar 5. Denah instalasi tata udara RIIM disain *existing* (Skala 1:100)



Gambar 6. Denah instalasi tata udara RIIM disain usulan (Skala 1:100)

5.9.3 Total Pressure Drop

Pressure drop terjadi karena adanya gesekan antara fluida yaitu udara dengan dinding dalam *ducting*. Gesekan tersebut mengakibatkan kecepatan udara menurun. Perhitungan *pressure drop* dimulai dari koil pendingin, *ducting*, HEPA filter, *Economizer with 100% RA*, Pre-filter dan *Return Air Grill*. Untuk lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. Total Pressure Drop

No	Bagian	Jumlah	Total Dp (Pa)
1	Cooling Coil	1	12.45
2	Ducting	2	85
3	HEPA filter (MERV 14)	2	100
4	Economizer dengan 100% RA damper	1	12.45
5	Pre + Medium filter (MERV 7)	1	25
6	Return Air Grill	2	50
Total			285

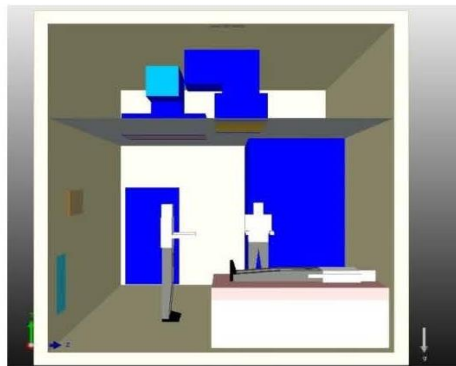
Laju aliran udara yang dipakai yaitu sebesar 1000 ft^3/min dan tekanan statik eksternal dari *evaporator blower* sebesar 1.2 in w.c (298.89 Pa).

6. Hasil dan Analisis

Simulasi ini dibuat dengan kondisi *existing* saat ruangan digunakan. Parameter input pada simulasi disesuaikan dengan data pengukuran yang telah diambil sebelumnya. Dari simulasi yang telah dilakukan diperoleh hasil berupa kecepatan aliran, tekanan, temperatur, dan kelembaban ruangan. Pada simulasi ditambahkan juga hasil kontaminasi partikel yang melewati filter.

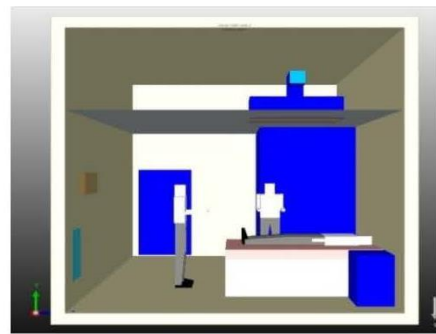
Tabel 4. Parameter Input Simulasi

Disain	Parameter	Nilai Input	Keterangan
Existing	Temperatur	21 °C	
	Volume Flow Rate Supply	2000 ft ³ /min	2 HEPA filter
	Volume Flow Rate Exhaust	1575 ft ³ /min	1 RAG
	RH Supply	60%	
Usulan (Baru)	Temperatur	21 °C	
	Volume Flow Rate Supply I	500 ft ³ /min	1 HEPA filter
	Volume Flow Rate Exhaust I	420 ft ³ /min	1 RAG
	RH Suplai	50%	



Gambar 7. Disain *existing* ruang isolasi

Parameter input seperti yang dijelaskan sebelumnya, untuk kondisi *existing* suplai udara disesuaikan dengan spesifikasi mesin pendingin yang dipakai. Selanjutnya, total laju aliran udara dari mesin dibagi dua karena suplai pada ruangan melalui dua HEPA filter. Tempat tidur pasien berada pada bagian sudut di sebelah kamar mandi. Posisi HEPA filter berada sejajar pada bagian kaki pasien.

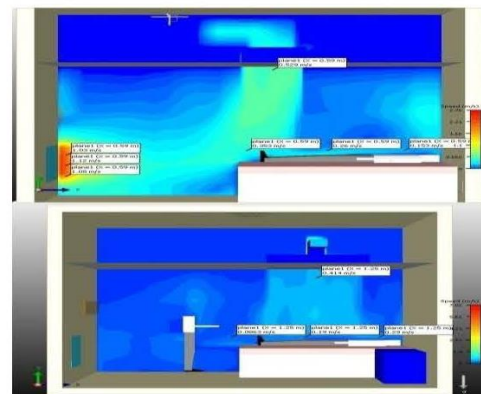


Gambar 8. Disain baru (usulan) ruang isolasi dan imunitas minimum

Gambar 8. adalah disain usulan untuk ruang isolasi. Disain ini dirancang dengan menggunakan 1 HEPA filter untuk suplai ruangan. Posisi tempat tidur pasien juga dipindahkan sedikit ke tengah dari kondisi *existing*. Letak HEPA filter dipindahkan sejajar dengan tempat tidur pasien. Kondisi ini menyesuaikan dengan standar yang berlaku. Jumlah orang untuk simulasi disain usulan disamakan dengan kondisi *existing*.

6.1 Analisis Hasil Simulasi Kondisi Existing dan Disain Usulan

6.1.1 Analisis Parameter Kecepatan dan Aliran Udara

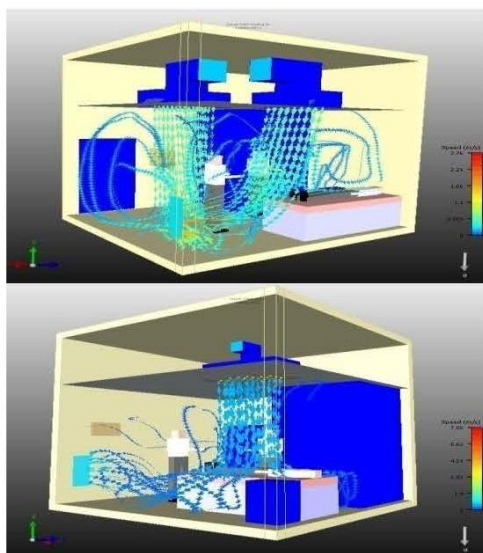


Gambar 9. Distribusi kecepatan aliran udara ruang isolasi *existing*

Pola distribusi kecepatan dapat dilihat dari gambar 13. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara yang keluar

dari HEPA filter langsung ditarik oleh RAG yang ada dibagian kiri bawah. Kecepatan rata-rata yang keluar dari HEPA filter 1 dan 2 bernilai 0.52 m/s. sedangkan nilai kecepatan di atas tubuh pasien sebesar 0.15 m/s. Namun pada bagian kaki pasien kecepatan udara bernilai 0.35 m/s. Kecepatan pada HEPA disain usulan menunjukkan nilai 0.41 m/s. sedangkan nilai kecepatan ketika sampai di atas tubuh pasien menjadi 0.24 m/s.

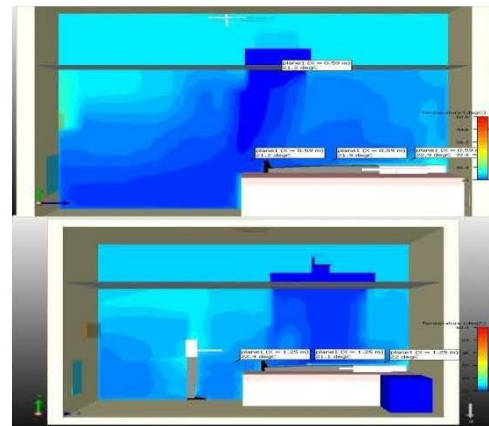
Disain pada kondisi *existing* memang memenuhi standar dari segi tekanan dan kecepatan. Tetapi jika dipandang dari standar ACH, disain ruang isolasi kondisi *existing* terlalu besar jika dibandingkan dengan luas ruangan dan beban pendinginannya yang tidak terlalu besar.



Gambar 10. Visualisasi turbulensi aliran existing dan disain usulan

Pada gambar 10, daerah yang dilingkari merupakan daerah terjadinya turbulensi aliran. Turbulensi berada pada area di atas tubuh pasien dengan ditandai adanya pusaran aliran seperti pada gambar di atas.

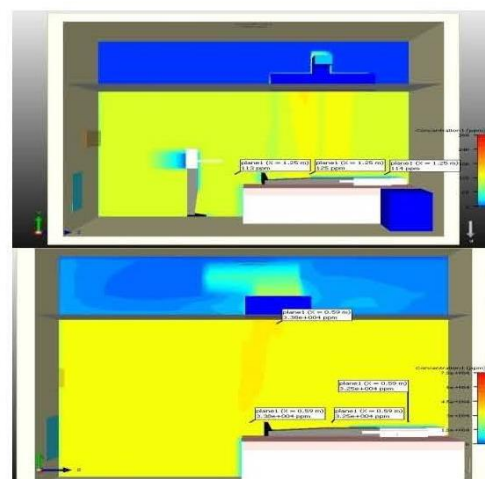
6.1.2 Analisis Parameter Temperatur dan Kelembaban Relatif



Gambar 11 Pola distribusi temperatur udara di ruang isolasi existing dan disain usulan

Gambar 11 merupakan gambaran dari persebaran temperatur pada ruangan. pada gambar bagian kiri terlihat distribusi temperatur, dimana temperatur pada bagian kaki pasien lebih rendah jika dibandingkan dengan bagian kepala dan badan pasien. Temperatur di daerah kaki pasien rata-rata 21°C sedangkan pada bagian badan dan kepala pasien bernilai rata-rata 23°C.

Namun disain usulan, distribusi temperature lebih merata di atas tubuh pasien. Hal ini dikarenakan posisi HEPA filter sejajar dengan tempat tidur pasien. Temperature rata-rata disain usulan menunjukkan nilai 21.6°C.



Gambar 12. Jumlah Partikel 0.3 μm pada kondisi *existing* dan disain usulan

Gambar 12, dapat dilihat bahwa jumlah partikel kondisi *existing* yang keluar dari HEPA filter sangat tinggi. Partikel 0.3 pada ruangan memiliki rata-rata nilai sebesar 53000 ppm. Nilai kontaminasi partikel 0.3 μm pada disain usulan memiliki rata-rata yaitu 117 ppm dan partikel 0.5 μm 200 ppm. Hasil ini sudah memenuhi standar ISO 14644 yaitu ISO kelas 5. Jumlah partikel yang masuk ke ruangan menjadi lebih kecil karena udara suplai sebagian besar berasal dari udara balik yang masuk ke RAG ditambah dengan sedikit udara luar (*fresh air*). Jadi udara balik tidak di buang ke udara luar, sehingga memungkinkan berkurangnya kontaminasi dari udara luar.

7. Kesimpulan

Dari perancangan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa kebutuhan suplai udara yang diperlukan untuk 1 ruangan isolasi minimal adalah 242.18 ft^3/min . Mesin pendingin yang dipakai adalah *rooftop* AC dengan kapasitas 3 *tons refrigeration*. Disain usulan menggunakan 1 HEPA filter pada suplai ruangan dan posisinya berada sejajar dengan tempat tidur pasien.

8. Referensi

- [1] Bhatia, A. (2016, Februari Senin). *HVAC Design for Cleanroom Facilities*. Retrieved from cedengineering: <http://www.cedengineering.com>
- [2] Whyte, W. (2001). *Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation*. London: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Victorian Advisory Committee on Infection Control. (2007). *Guidelines for the Classification and Design of Isolation Rooms in Health Care Facilities*. Melbourne: the Victorian Government Department of Human Services.
- [4] Sehulster, L. a. (2003). *Guidelines for Environmental Infection Control*. Atlanta: CDC.
- [5] York International Corp. 2014. *Rooftop Series: Technical Guide R-410A Series 10 3-5 Ton 60 Hertz*. Norman: Johnson Control.Inc
- [6] 2009. *FloVent User Guide Version 8.2*. Oregon: Mentor Graphic Corp.
- [7] Awbi, Hazim. 2003. *Ventilation of Buildings* ^{2nd} Edition. London: Spon Press.
- [8] Rudoy, William. 1971. *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. Atlanta: ASHRAE, Inc.
- [9] Herman, D. Richard at al. 2008. *ASRHAE/ASHE Standard 170-2008: Ventilation of Health Care Facilities*. Atlanta: ASRHAE.Inc.
- [10] MacArdle, P. (1999). *Isolation Rooms: Design, Assessment and Upgrade*. San Francisco: Francis J. Curry National Tuberculosis Center.
- [11] Parson, Robert. 2005. *ASHRAE Handbook Chapter 30: Non Residential Cooling and Heating Load Calculations*. Atlanta: ASHRAE.Inc
- [12] Carrier. *Handbook Carrier Part 1: Load Estimating*. Carrier.Inc
- [13] Badan Standarisasi Nasional. 2011. *SNI-6390:Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia