



UNIVERSITAS INDONESIA

**Model Pola Distribusi Aliran Udara dan Temperatur Ruang
Operasi Rumah Sakit “X” Menggunakan FLOVENT V7**

SKRIPSI

**ISPA FIRMAZONA
0706198625**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**Model Pola Distribusi Aliran Udara dan Temperatur Ruang
Operasi Rumah Sakit “X” Menggunakan FLOVENT V7**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ISPA FIRMAZONA
0706198625**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : ISPAFIRMAZONA

NPM : 07 06 19 86 25

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : ISPA FIRMAZONA
NPM : 07 06 19 86 25
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Model Pola Distribusi Aliran Udara dan
Temperatur Ruang Operasi Rumah Sakit “X”
Menggunakan FLOVENT V7

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. Ing ()
Pembimbing II: Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.eng ()
Penguji : Dr. Ir. M. Idrus Alhamid ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Budihardjo Dipl. Ing. dan Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (3) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2009

Penulis

ABSTRAK

Nama : Ispa firmazona

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Model Pola Distribusi Aliran Udara dan temperatur ruang operasi rumah sakit “X” menggunakan Flovent V7

Pola distribusi aliran udara dan temperatur di dalam ruang bersih (clean room) suatu rumah sakit menjadi salah satu faktor utama untuk mencapai tingkat kenyamanan dan kesehatan pasien serta staf sesuai dengan standar ASHRAE dan persyaratan teknis serta medis yang berlaku. Kompleksitas perancangan clean room dapat disederhanakan dengan pengembangan model pola distribusi aliran udara dan temperatur berbantuan aplikasi perangkat lunak FLOVENT V7.

Hasil simulasi dan visualisasi model menunjukkan bahwa banyak faktor yang berpengaruh terhadap pola distribusi aliran dan temperatur udara didalam operating theater antara lain : temperatur dan laju alir volumeterik udara segar, letak dan jenis serta dimensi laminar flow *diffuser* dan *return air grille*, jenis material dinding, lantai serta langit-langit, perletakkan lampu, meja operasi, perlengkapan elektronik penunjang operasi serta posisi dokter dan para medis. Penentuan temperatur udara masuk, laju alir udara dan tekanan udara didalam operating theater yang disesuaikan dengan kondisi fisik ruangan merupakan persyaratan awal untuk memenuhi kondisi nyaman temperatur didalam ruang operasi.

Beberapa hasil yang ditunjukkan pada simulasi, didapat nilai yang mendekati standar ASHRAE yaitu temperatur 20°C sampai 24°C, tekanan $\pm 12,5$ Pa, laju alir udara 0,45 m/s dan pola aliran *uni directional flow (laminar)*.

Model yang dirancang dan dikembangkan ini selanjutnya dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam perancangan awal ”airflow modelling in operating theater”.

Analisis dan unjuk kerja thermal pada salah satu operating theater di Indonesia akan dibahas secara dalam makalah ini.

Kata Kunci : Flovent, Ventilasi, Ruang Operasi, Visualisasi Model, aliran laminar, clean room

ABSTRACT

Name : Ispa firmazona

Study Program : Mechanical Engineering

Title : Model Airflow Distribution Paternn and Temperature in Operating Room
Hospital "X" using Flovent V7

Distribution pattern of air flow and temperature in the clean room of a hospital became one of the main factors to reach a level of comfort and health of patients and staff in accordance with the standards ASHRAE and technical requirements and medical regulations. Clean room design complexity can be simplified with the development model of air flow distribution patterns and temperature assisted FLOVENT V7 software applications.

The results of simulation and visualization models indicate many factors that influence the distribution pattern of air flow and temperature within the operating theater, among others: the temperature and flow rate of fresh air volumeterik, location a, type and dimensions of laminar flow diffuser and return air grille, wall materials, floor and the ceiling, position lights, operating tables, operating supporting electronic equipment and the position of the doctor and the medical. Determination of the supply air temperature, air flow rate and air pressure in the operating theater tailored to the physical condition of the room is beginning to fulfill the requirements for a comfortable thermal conditions in the operating room.

Model that was designed and developed can then be used as a reference in the initial design "airflow modeling in the operating theater". Analysis and thermal performance one operating theater in Indonesia will be discussed in this paper.

Keywords: Flovent, Ventilation, Operating Theater, Visualization Model, Laminar Flow, Clean Room.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENULISAN.....	2
1.3 PEMBATAHAN MASALAH.....	2
1.4 METODE PENULISAN.....	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 SISTEM TATA UDARA.....	5
2.1.1 Pengertian Umum Sistem Tata Udara.....	5
2.2 <i>INDOOR AIR QUALITY</i>	6
2.2.1 Penjelasan Umum.....	6
2.2.2 Kontaminasi Udara.....	9
2.2.3 Penyebab Kualitas Udara yang Buruk.....	9
2.3 <i>CLEANROOM</i>	11
2.3.1 Sejarah <i>Cleanroom</i>	11
2.3.2 Definisi <i>Cleanroom</i>	11
2.3.3 Klasifikasi <i>Cleanroom</i>	12
2.3.4 Tipe <i>Cleanroom</i>	13
2.3.5 Material <i>Cleanroom</i>	18

2.3.6 <i>Mechanical filter Cleanroom</i>	19
2.3.7 Pengaturan Tekanan Udara pada <i>Cleanroom</i>	20
2.3.8 Aplikasi - aplikasi <i>Cleanroom</i>	21
2.4 VENTILASI.....	23
2.4.1 Definisi Ventilasi.....	23
2.4.2 Tujuan Ventilasi.....	24
2.4.3 Jenis-jenis Ventilasi.....	24
2.5 RUANG OPERASI.....	26
2.5.1 Definisi Ruang Operasi.....	26
2.5.2 Parameter Ruang Operasi.....	26
2.5.3 Peralatan-peralatan Ruang Operasi.....	27
BAB III DATA PERANCANGAN DAN PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN PENDINGIN.....	29
3.1 DATA AWAL RUANG OPERASI RUMAH SAKIT “X”.....	30
3.2 PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN PENDINGIN.....	33
3.3 PARAMETER DAN STANDAR CLEANROOM PADA RUANG OPERASI.....	33
BAB IV HASIL DAN ANALISA	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 KESIMPULAN.....	47
5.2 SARAN.....	47
DAFTAR REFERENSI.....	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.2 <i>Typical all air system</i>	5
Gambar 2.2 <i>Understanding Indoor Air Quality Problems</i>	8
Gambar 2.3 Aliran Turbulen	14
Gambar 2.4 Aliran Laminar	16
Gambar 2.5 Aliran Laminar Vertikal	17
Gambar 2.6 Aliran Laminar Horisontal	18
Gambar 2.7 Konstruksi dari HEPA filter	20
Gambar 3.1 Sistem Distribusi Udara Tipikal Operating Theater	29
Gambar 3.2 Denah Operating Theater	30
Gambar 3.3 Konstruksi Lantai	31
Gambar 3.4 Konstruksi Dinding	31
Gambar 3.5 Konstruksi Pintu	31
Gambar 4.1 Tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan pertama / aktual	36
Gambar 4.2 Tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan kedua	38
Gambar 4.3 Tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan ketiga	39
Gambar 4.4 Tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan keempat	41
Gambar 4.5 Tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan kelima	42
Gambar 4.6 Tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan keenam	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 US FED STD 209D <i>Cleanroom Standards</i>	12
Tabel 2.2 ISO 14644-1 <i>Cleanroom Standards</i>	13
Tabel 2.3 Some Clean and Containment room applications	22
Tabel 3.1 Dimensi dan Jumlah item pada Operating Theater	32
Tabel 3.2 Perhitungan estimasi beban pendingin Operating Theater	33
Tabel 4.1 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur percobaan pertama	36
Tabel 4.2 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur percobaan kedua	38
Tabel 4.3 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur percobaan ketiga	39
Tabel 4.4 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur percobaan keempat	41
Tabel 4.5 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur percobaan kelima	42
Tabel 4.6 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur percobaan keenam	44
Tabel 4.7 Hasil Percobaan	46

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.1 Temperatur	44
Grafik 4.2 Tekanan	45
Grafik 4.3 Kecepatan Udara (<i>velocity</i>)	45



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Ventilation of Health Care Facilities	47
Lampiran 2 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality	48
Lampiran 3 HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics	49



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Resiko penularan penyakit pada rumah sakit sangat mudah berkembang, terutama penularan penyakit melalui udara bebas, didalam penulisan ini penulis mencoba mendisain suatu ruangan di rumah sakit yaitu ruang operasi, yang biasanya rentan terhadap penularan penyakit.

Ruang operasi termasuk dalam kategori ruang bersih (cleanroom) sesuai standar yang telah ditetapkan, oleh karena itu untuk mendapatkan suatu ruangan bersih (cleanroom) maka sistem tata udara sangat berperan disini dalam mengendalikan suhu, kelembaban udara, tekanan udara, kualitas udara, dan pergerakan udara dan suhu, sehingga kondisi ruang bersih (cleanroom) tercapai sesuai standar.

Dengan adanya sistem tata udara dalam hal ini tata udara yang dikondisikan memungkinkan terjadinya pergerakan atau pergantian udara dari dalam ke luar ataupun sebaliknya yang dapat mengendalikan tingkat kebersihan udara tersebut dan kenyamanan didalam ruangan. Dengan udara yang selalu bergerak tersebut diharapkan kondisi udara didalam ruangan sesuai dengan standard yang diinginkan. Untuk menghasilkan distribusi aliran udara dan suhu dalam ruang yang standar dan diinginkan, diperlukan analisis sifat dan pola aliran serta distribusi udara dalam ruangan tersebut.

Untuk pemecahan analisis aliran udara dan perpindahan kalor dalam ruangan dapat dilakukan dengan CFD (Computational Fluid Dynamics). Metode CFD menggunakan analisis numerik yaitu kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan yang terdiri atas persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi, sehingga penyelesaian persamaan untuk benda dua atau tiga dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan/bersamaan. Dalam hal ini program yang digunakan dalam CFD

untuk menyelesaikan permasalahan aliran udara dan perpindahan kalor pada ruangan tersebut digunakan program FLOVENT V7.

1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Pendidikan Sarjana Ekstansi pada jurusan Teknik mesin.
2. Modeling dan simulasi ruang operasi dengan bantuan program FLOVENT V7.
3. Sebagai referensi dalam mendisain ruang operasi dengan mengacu pada standard yang ada.

1.3 PEMBATAAN MASALAH

Dalam tugas akhir ini penulis akan merancang dan melakukan simulasi serta pemodelan distribusi aliran udara dan temperatur di dalam ruang bersih (*cleanroom*) suatu ruang operasi sesuai dengan standar yang telah ada.

Adapun batasan mengenai data perancangan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Ukuran dan struktur ruangan
2. Ukuran serta posisi peralatan-peralatan ruang operasi
3. Temperatur, relative humidity, tekanan, dan aliran udara pada ruang operasi.

1.4 METODE PENULISAN

Metode yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah dengan melakukan studi literatur, konsultasi dan melakukan percobaan/simulasi.

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, jurnal, disertasi, standar, dan melalui *internet*. Literatur-literatur tersebut menjadi acuan dalam merancang model pola distribusi aliran udara dan temperatur pada ruang operasi.

2. Konsultasi

Konsultasi langsung dengan dosen pembimbing/dosen yang terkait ataupun tenaga profesional/ konsultan di bidang perancangan dan pembuatan Cleanroom ini.

3. Melakukan percobaan/simulasi

Melakukan percobaan/simulasi berulang-ulang pada rancangan yang telah dibuat sehingga mendapatkan rancangan yang diinginkan.

1.5 SISTIMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan yang dibuat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang dan tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang mendukung penulisan tugas akhir ini. Disini dijelaskan mengenai sistem tata udara, *indoor air quality* Cleanroom, aliran udara, penyaring udara (Air filtration), ventilasi, konstruksi material, ruang operasi, serta standar yang akan digunakan pada perancangan Cleanroom.

BAB III DATA PERANCANGAN dan PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN PENDINGIN

Pada bab ini akan diberikan data-data perancangan yang meliputi struktur dan dimensi ruangan, peralatan-peralatan ruang operasi, ventilasi, dan daya yang dihasilkan tiap unit.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini memuat hasil-hasil dari proses simulasi dan modeling pada program FLOVENT V7 dan analisa simulasi yang telah diperoleh .

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini mengutarakan kesimpulan dan saran yang didapat setelah melakukan simulasi pada program FLOVENT V7.



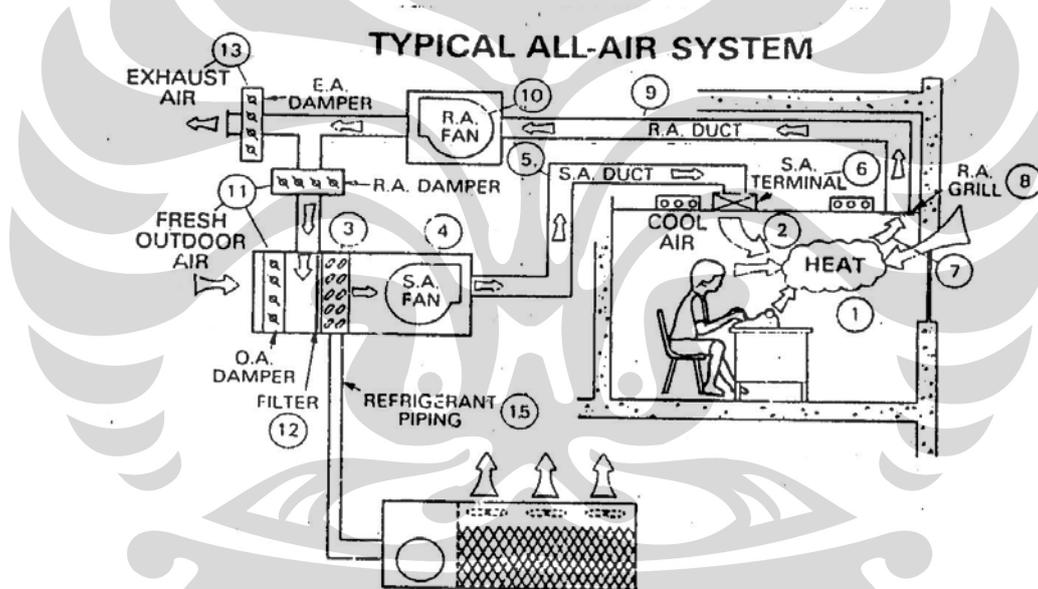
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Tata Udara

2.1.1. Pengertian Umum sistem tata udara

Secara umum pengertian tata udara atau disebut juga pengkondisian udara mencakup aspek yang cukup luas, yang sarannya tidak hanya memberikan rasa sejuk semata bagi orang didalamnya, tetapi juga termasuk aspek-aspek lain, diantaranya kenyamanan, kebersihan udara, dan kondisi tertentu untuk ruangan yang dikondisikan.



Gambar 2.1. Typical all air system

Sumber : Technical Development Program Carrier, 1962

Gambar diatas menjelaskan dimana udara bersih masuk kedala ruangan melalui filter dan dikondisikan temperatur udara bersih tersebut dengan sistem refrigerasi dan udara ditarik oleh supply air fan melalui *ducting* ke ruangan. Udara panas didalam ruangan akan keluar melalui R A grille yang ditarik oleh R A fan menuju udara bebas, bila memungkinkan udara panas yang tidak terlalu tinggi dapat digunakan kembali sebagai *supply air*.

Pada suatu sistem pengkondisian udara, untuk dapat mencapai temperatur yang diinginkan, maka digunakanlah suatu sistem refrigasi. Untuk dapat mencapai kelembaban udara pada ruang yang dikondisikan, maka digunakanlah *humidifier/dehumidifier*. Untuk dapat menjaga tingkat kebisingan yang nyaman bagi penghuni didalam ruangan yang dikondisikan tersebut, maka salah satu cara yang dipakai adalah penggunaan saluran peredam bising (*silencer*) pada saluran pendistribusian udara. Sedangkan untuk dapat menjaga kualitas kebersihan udara yang didistribusikan ke ruangan yang dikondisikan, maka digunakanlah filter pada saluran udara.

2.2. Indoor Air Quality

2.2.1. Penjelasan umum

Indoor air quality adalah kualitas udara yang ada didalam sebuah ruangan tertutup yang dapat mempengaruhi pengguna ruangan tersebut serta kenyamanan dari ruangan tersebut. Jika kualitas udara didalam ruangan tersebut tidak baik maka akibatnya akan menimbulkan penyakit bagi penghuni yang berada lama/tinggal didalamnya. Penyakit yang disebabkan oleh kualitas udara yang buruk antara lain adalah asma, mata menjadi perih, kulit gatal-gatal, ataupun penularan penyakit pasien rumah sakit yang ada didalam ruangan itu sendiri.

Menurut *World Health Organization* definisi dari sehat adalah keadaan sepenuhnya sehat dan tidak menderita sakit sedikit pun, dan hak manusia untuk sehat di lingkungan dalam ruang termasuk hak menghirup udara yang bersih dengan suhu yang nyaman serta hak sehat dan nyaman secara visual.

Menurut ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*) mensyaratkan tingkat kenyamanan, dipengaruhi oleh suhu udara ruangan, kelembaban ruangan, dan kecepatan angin dalam ruangan. Batasan kenyamanan suhu efektif 20 °C - 24°C (ASHRAE 170, 2008), kecepatan udara $\leq 0,45$ m/s (ASHRAE Special Project 9.1), kelembaban udara relatif antara 30 – 60% (ASHRAE 170, 2008).

Kondisi dari Indoor Air Quality sangat berkaitan dengan kontaminasi mikrobakteri (jamur, bakteri), bahan kimia (CO, Radon), Penyebab alergi dan penyebab stress yang dapat mempengaruhi kesehatan.

Saat ini dapat dibuktikan bahwa udara dalam ruangan lebih berpolusi dibandingkan dengan udara luar, namun dengan menggunakan ventilasi yang baik kontaminasi dapat dikurangi.

Sumber pencemaran udara dalam ruangan menurut penelitian *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) dirinci menjadi 5 meliputi :

1. Pencemaran akibat kegiatan penghuni dalam gedung seperti asap rokok, pestisida, bahan pembersih ruangan.
2. Pencemaran dari luar gedung meliputi masuknya gas buangan kendaraan bermotor, cerobong asap dapur karena penempatan lokasi lubang ventilasi yang tidak tepat.
3. Pencemaran dari bahan bangunan ruangan seperti *formaldehid*, lem, *asbestos*, *fibreglass*, dan bahan lainnya.
4. Pencemaran mikroba meliputi bakteri, jamur, virus, atau protozoa yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin ruangan beserta seluruh sistemnya.
5. Kurangnya udara segar yang masuk karena gangguan ventilasi udara dan kurangnya perawatan sistem peralatan ventilasi.

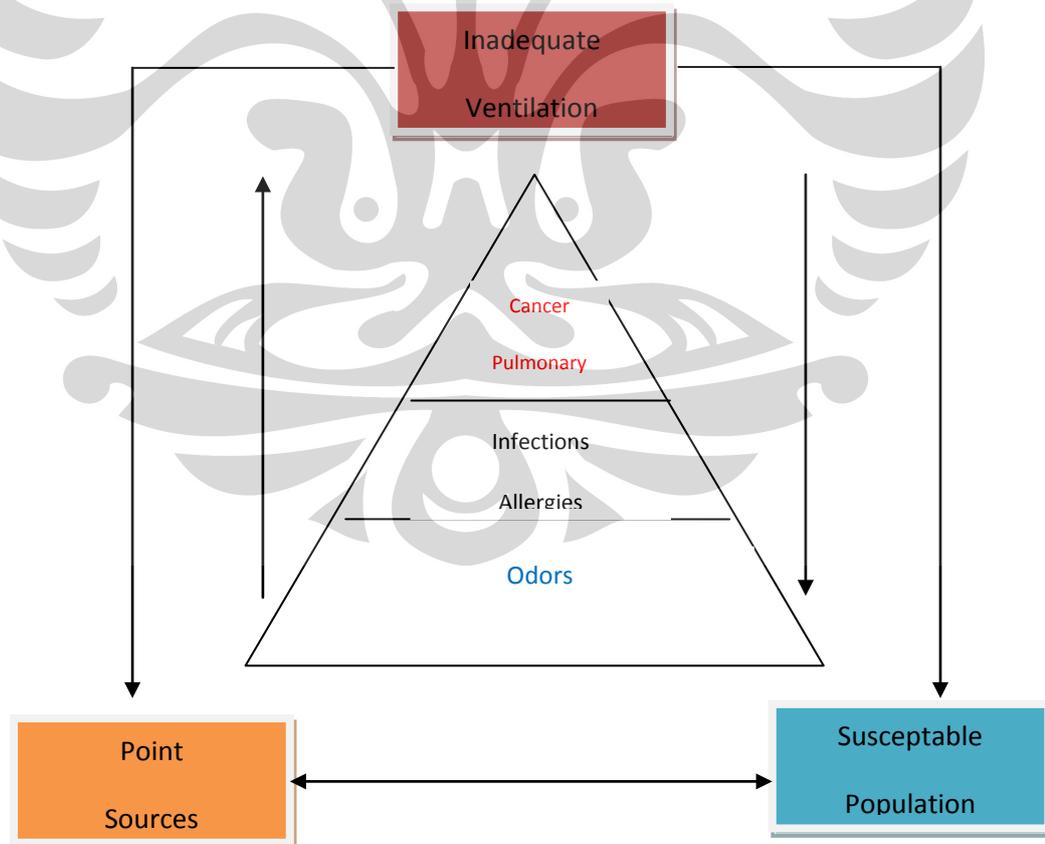
Kualitas udara dalam ruangan (*indoor air quality*) sebenarnya ditentukan secara sengaja ataupun tidak sengaja oleh penghuni ruangan itu sendiri. Ada gedung yang secara khusus diatur , baik suhu maupun frekuensi pertukaran udaranya dengan memakai peralatan ventilasi khusus, ada pula yang dilakukan dengan mendayagunakan keadaan cuaca alamiah dengan mengatur bagian gedung yang dapat dibuka. Kualitas udara dalam ruangan juga dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan penghuninya. Dengan demikian kualitas udara tidak bebas dalam ruangan, maka bahan pencemar udara dalam konsentrasi yang cukup memiliki kesempatan untuk memasuki tubuh penghuninya.

Kualitas udara dalam ruangan yang baik didefinisikan sebagai udara yang bebas bahan pencemar penyebab iritasi, ketidaknyamanan atau terganggunya kesehatan penghuni. Temperatur dan kelembaban ruangan juga mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan penghuni. Baku mutu bahan pencemar tertinggi yang diperkenankan dari beberapa bahan pencemar udara ruangan telah dideskripsikan

dalam ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*) 62 tahun 2007. Sedangkan baku mutu tertinggi yang diperkenankan untuk kelompok bahan pencemar spesifik dan pedoman kenyamanan dalam ruangan untuk parameter fisik yang spesifikasi diuraikan dalam *Guideline for good indoor air quality* (Lily et al., 1998)

Pada umumnya masalah kesehatan berasal dari buruknya kualitas udara dalam ruangan, yang mengakibatkan hal-hal yang telah disebutkan diatas, juga dapat mengakibatkan iritasi kulit, *neurotoxic symptoms*, *hypersensitivity* dan *odour* dan *taste symptoms*. Sebutan sindrom rumah sakit atau sick building digunakan untuk menjelaskan kondisi yang sudah sangat parah, pada awalnya mungkin iritasi kulit, mata, dan tenggorokan, sakit kepala, namun jika dibiarkan akan menyebabkan kanker dan gangguan pada pernapasan.

Gambar dibawah ini adalah gambar piramida yang menunjukkan bahaya dari buruknya kualitas udara didalam ruangan dengan realitas yang ada di masyarakat (banyaknya kasus tersebut dimasyarakat).



Gambar 2.2. *Understanding Indoor Air Quality Problems*

2.2.2. Kontaminasi Udara

Kontaminasi udara dalam ruangan antara lain disebabkan oleh sumber-sumber kontaminasi seperti bermacam-macam industri, sisa pembakaran, proses mineral dan karena faktor alam

Jenis kontaminasi tersebut dapat digolongkan dan dibagi dalam beberapa kelas yaitu sebagai berikut :

- a. Gas Organik
- b. Gas Anorganik
- c. Aerosol

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi kontaminan tersebut antara lain adalah :

- a. Faktor eksternal

Konsentrasi kontaminan udara dalam ruangan meningkat sejalan dengan masuknya udara bebas yang disuplai kedalam ruangan. Hal ini dapat diatur dengan penggunaan filter dan pengaturan ventilasi.

- b. Faktor Internal

Konsentrasi kontaminan udara dalam ruangan meningkat sejalan dengan meningkatnya aktifitas penghuni ruangan hal ini dapat diatasi dengan cara pengontrolan aktifitas penghuni dan penggunaan peralatan kerja.

2.2.3. Penyebab Kualitas Udara Yang Buruk

Polusi didalam ruang dapat disebabkan oleh gas atau partikel yang disebarkan melalui udara. Sumber dari gas tersebut yaitu material bangunan, roko, produk pembersih, perapian, perabotan, dan sistem HVAC. Kualitas udara yang buruk juga dapat disebabkan oleh tidak cukupnya udara luar yang masuk kedalam yang dapat menghilangkan semua partikel tersebut.

Resiko-resiko pada ventilasi yang kurang baik adalah :

1. Kondisi Hygrothermal
2. Tumbuhnya jamur
3. Rumah debu
4. Gas hasil pembakaran seperti CO, NO_x, dan SO₂
5. Ruangan yang penuh dengan asap rokok

Ventilasi yang baik dapat meningkatkan kualitas udara dalam lingkungan, karena dapat mempengaruhi kesehatan manusia.

Kelembaban yang baik sekitar 30% sampai 60%, pada lingkungan yang dingin, ventilasi yang kurang baik dapat menyebabkan kelembaban yang terlalu tinggi akibat aktivitas seperti operasi, bernafas, dan mencuci alat-alat. Sedangkan pada lingkungan yang lebih hangat sistem HVAC dapat menarik panas dan melembabkan udara.

Secara umum sumber partikel pada sistem ruang bersih dibagi menjadi dua kategori, yaitu sumber internal dan sumber eksternal.

- Sumber internal. Partikel yang ada didalam sistem ruang bersih berasal dari pekerja yang masuk kedalam ruangan tersebut, permukaan di dinding sistem ruang bersih yang terkelupas, proses dari alat yang digunakan, dan proses manufaktur itu sendiri. Namun sumber partikel internal terbesar datang dari pekerja yang masuk kedalam sistem ruang bersih tersebut, pekerja yang masuk kedalam sistem ruang bersih dapat menyebarkan ratusan bahkan jutaan partikel per-menitnya. Untuk mengatasi penyebaran partikel yang berasal dari pekerja maka digunakan baju khusus yang digunakan didalam sistem ruang bersih, secara bertahap dialirkan udara ke pekerja tersebut.

- Sumber eksternal. Sumber eksternal adalah sumber partikel yang masuk kedalam sistem ruang bersih yang berasal dari luar, biasanya melalui pintu, jendela dan dinding untuk pipa saluran dan sebagainya. Namun sumber eksternal terbesar adalah berasal dari alat penyejuk udara AC (*Air Conditioning*). Pada operasional sistem ruang bersih, sumber partikel eksternal hanya memberikan dampak yang kecil pada keseluruhan sistem ruang bersih, hal ini dikarenakan penggunaan filter HEPA (*High Efficiency Particulate Air*) pada suplai udara. Pengontrolan sumber partikel dilakukan oleh penyaring udara, tekanan udara pada ruang, serta menutupi ruang penetrasi.

2.3. *Cleanroom*

2.3.1. *Sejarah Cleanroom*

Sejarah dari ruang bersih masih baru ditemukan, meskipun Louis Pasteur (1822-1895) menemukan bahwa mikroorganisme menyebabkan penyakit. Penanganan yang mungkin adalah mencoba untuk membunuh mikroorganisme-mikroorganisme tersebut dengan menggunakan sterilan kimia. Sedangkan dikamar bedah dengan menggunakan teknik antiseptik yang ditemukan oleh Lister tahun 1867 dapat menurunkan laju infeksi. Pada awal abad ke 20 ditemukan dengan mata terbuka dan juga dapat membawa efek drastis pada hasil manufakturing dan bagi kehidupan manusia.

Permulaan *Cleanroom* dimulai pada zaman perang dunia ke-2, dimana percobaan-percobaan untuk memperbaiki kualitas metrologi, ketelitian optik (seperti : *bomb sight*, *Gyroscopes* dan *stable platforms*), alat-alat penunjuk waktu, ketelitian bantalan dan produk yang mempunyai dimensi serta karakteristik akhir dalam hubungan kebersihan permukaan.

Studi selanjutnya menemukan bahwa kebersihan permukaan adalah fungsi dari seberapa bersih lingkungan dapat dibuat dan dikontrol. Sampai waktu itu sedikit yang diketahui ukuran dan jumlah partikel dalam lingkungan manufakturing terutama yang dibawa oleh udara.

Pengembangan rancangan ruang bersih berupa aliran laminar dikembangkan oleh suatu kelompok yang terdiri dari Doug Ballard, Gordon King, Jim Mashburn, Bill Neitzel, J.Pauhamus dan Willis Whitfield yang menghasilkan konsep dimana rancangan banyak digunakan dan dicantumkan pada *US Federal Standard 209*.

2.3.2. *Definisi Cleanroom*

Definisi dari sistem ruang bersih adalah ruangan khusus yang dibangun dengan mengontrol partikel-partikel (ukuran dan jumlah), temperatur, kelembaban, tekanan udara, distribusi laju aliran udara, pergerakan udara, dan pencahayaan.

ISO 14644-1 mendefinisikan *Cleanroom* sebagai sebuah ruang dengan konsentrasi partikel yang terkontrol dan dibangun serta digunakan untuk

meminimalkan masuk, berkembang dan menetapnya partikel didalam ruangan dan parameter lain yang juga dikontrol adalah temperatur, kelembaban udara dan tekanan udara. Sedangkan *Federal Standard 209D* mendefinisikan Cleanroom yaitu sebuah ruangan yang mana konsentrasi pada partikel udara bebas dapat dikontrol pada batas yang ditentukan.

2.3.3. Klasifikasi Cleanroom

Ruang bersih (*cleanroom*) dapat diklasifikasikan dengan kebersihan pada udara. Klasifikasi dari sistem ruang bersih didasarkan menurut jumlah dan ukuran partikel yang diperbolehkan per volume udara. Klasifikasi berupa kelas 100 atau kelas 1000 adalah contoh klasifikasi berdasarkan US FED STD 209D, yang menunjukkan jumlah dari partikel berukuran 0.5 μm atau lebih besar yang diperbolehkan per kubik kaki dari udara.

Klasifikasi berdasarkan standar ISO 14644-1, dengan logaritma desimal jumlah partikel udara yang diperbolehkan dengan ukuran 0.1 μm atau lebih besar per meter kubik dari udara, contohnya ruangan sistem ruang bersih dengan kelas ISO 5 memiliki paling banyak $10^5 = 100.000$ partikel per meter kubik.

Tabel 2.1. US FED STD 209D Cleanroom Standards

US FED STD 209E Cleanroom Standards

Class	maximum particles/ft ³					ISO equivalent
	$\geq 0.1 \mu\text{m}$	$\geq 0.2 \mu\text{m}$	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	
1	35	7	3	1		ISO 3
10	350	75	30	10		ISO 4
100		750	300	100		ISO 5
1,000				1,000	7	ISO 6
10,000				10,000	70	ISO 7
100,000				100,000	700	ISO 8

Tabel 2.2. ISO 14644-1 Cleanroom Standards

ISO 14644-1 cleanroom standards

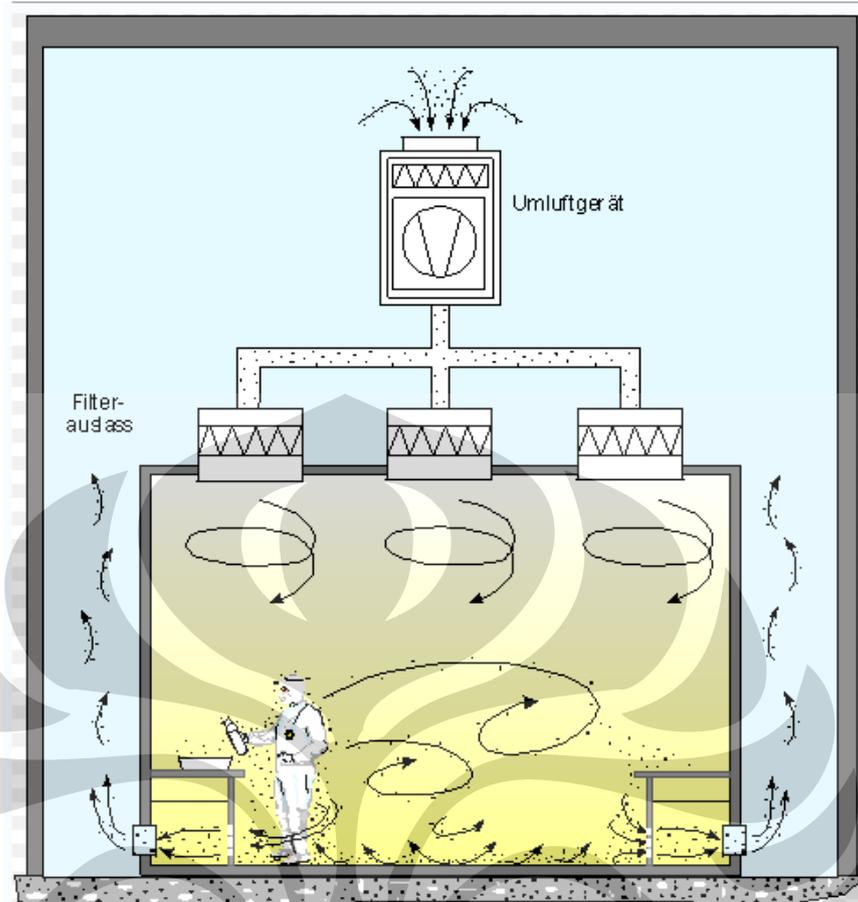
Class	maximum particles/m ³						FED STD 209E equivalent
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1,000	237	102	35	8		Class 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	Room air

2.3.4. Tipe Cleanroom

Cleanroom terdiri dari dua tipe dimana masing-masing penempatan ventilasi yang berbeda. Dua tipe itu adalah aliran turbulen (dalam Federal Standard 209D adalah *non unidirectional airflow*), aliran laminar (*unidirectional air flow*).

a. Aliran turbulen (*non unidirectional airflow*)

Aliran ini didapat dengan mengalirkan udara masuk melalui saluran udara masuk (*inlet air*) pada langit-langit ruang dan membuangnya melalui saluran keluar yang terdapat pada lantai ruangan . Pengaturan kebersihan udara melalui aliran turbulen ini menghasilkan kelas kebersihan udara kelas 100.000 dengan ukuran 0,5 μm dan kecepatan udara suplai berkisar antara 0,46 - 0,1 m/s. Adapun jenisnya yaitu aliran konvensional dan aliran campuran.



Gambar 2.3. Aliran Turbulen

Sumber : wikipedia.org/wiki/file:Turbulenter_Reinraum.png

- Konsep ruang bersih dengan aliran turbulen

Pada sistem ruang bersih, udara yang berasal dari AHU (*Air Handling Unit*) disemprotkan melalui lubang-lubang pada tekanan yang diatur secara hidrolis. Udara yang disemprotkan tersebut kemudian mengalami filtrasi yang sangat teliti terhadap partikel-partikel dan diberikan zat anti kuman tertentu.

Sebelum masuk ruangan, udara diubah tekanannya menjadi lebih tinggi dari pada tekanan udara didalam ruangan.

Setelah udara didalam ruangan dikondisikan dengan tekanan yang telah diatur, tapi masih mempunyai gerakan, gerakan ini diatur kecepatannya sedemikian rupa agar aliran udara menjadi turbulen kemudian aliran turbulen tersebut disedot kembali menuju AHU dan sebagian lagi diatur menuju ventilasi keluaran (*exhaust*).

Sistem ruang bersih aliran turbulen ada dua macam, yaitu :

1. Aliran konvensional (*conventional airflow*)

Pada sistem aliran konvensional ini, udara suplai masuk melalui saluran masuk berupa *air supply ceiling (operating theater supply air ceiling)* di sebagian langit-langit ruangan. Udara keluar melalui saluran udara buang (*exhaust*) yang terletak di dinding.

2. Aliran campuran (*mixing airflow*)

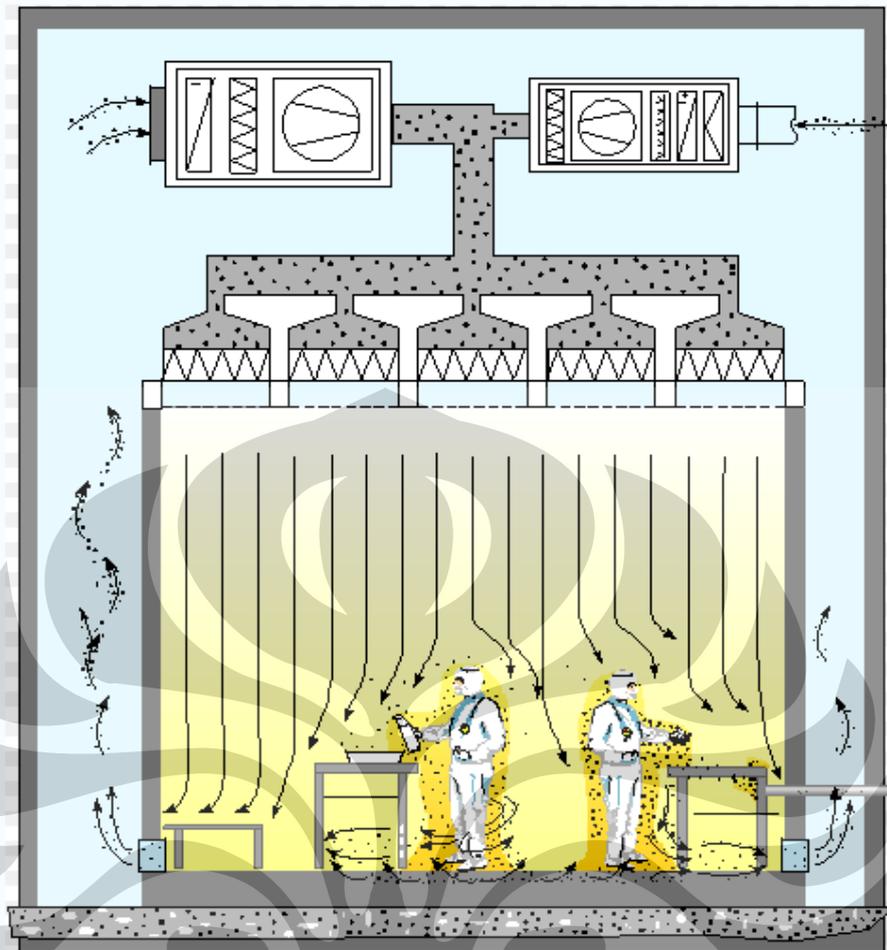
Pada sistem aliran campuran ini, udara suplai masuk melalui lubang di langit-langit, dan udara keluar melalui saluran di dinding.

b. Aliran laminar (*unidirectional airflow*)

Aliran ini didapat dengan cara mengalirkan udara masuk melalui saluran udara masuk (*inlet air*) pada langit-langit (aliran laminar vertikal) atau pada dinding (aliran laminar horisontal), dimana pada saluran udara masuk tersebut diberikan peralatan pengubah arah aliran sehingga menjadi aliran laminar. Pengaturan kebersihan udara melalui aliran laminar ini dapat menghasilkan kelas kebersihan udara kelas 100 – 10.000 dan kecepatan udara ≤ 0.45 m/s. Arah pengeluaran udara pada sistem ini berkebalikan dengan arah udara masuk. Adapun jenisnya yaitu aliran laminar vertikal dan aliran laminar horisontal.

- Konsep Cleanroom dengan aliran laminar

Pada sistem ruang bersih, udara yang berasal dari AHU disemprotkan melalui lubang-lubang pada atap kamar yang diatur secara hidrolis. Udara yang disemprotkan kemudian mengalami filterisasi yang sangat teliti terhadap partikel-partikel dan diberikan zat anti kuman tertentu. Sebelum masuk ruangan udara dirubah tekanannya oleh *diffuser* sehingga tekanannya lebih tinggi dari tekanan udara didalam ruangan, kemudian aliran tersebut dilewatkan kedalam lamiari agar pada saat masuk ruangan aliran udara menjadi aliran udara laminar dengan tekanan yang lebih tinggi. Kemudian aliran laminar tersebut disedot kembali menuju AHU dan sebagian lagi diatur menuju ventilasi keluaran (*exhaust*).



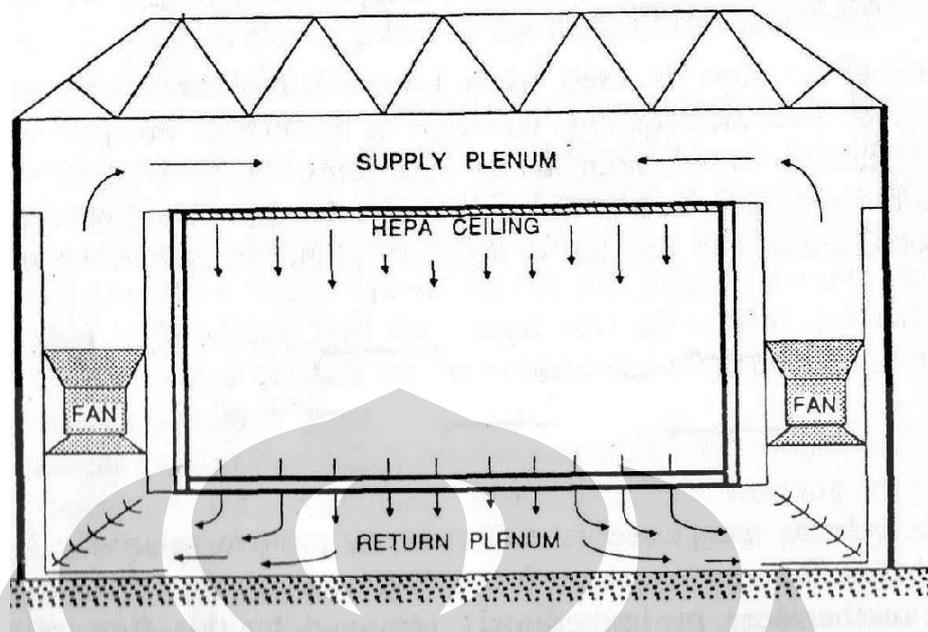
Gambar 2.4. Aliran laminar

Sumber : wikipedia.org/wiki/file:Turbulenter_Reinraum.png

Sistem aliran laminar dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

➤ Aliran laminar vertikal

Pada sistem aliran laminar vertikal ini, udara suplai masuk dari sisi langit-langit, dan keluar melalui lubang keluaran (*exhaust*) yang terletak dilantai (*gating/perforated floor*). Pada sisi masuk di langit-langit, udara suplai diberikan HEPA *filter*.



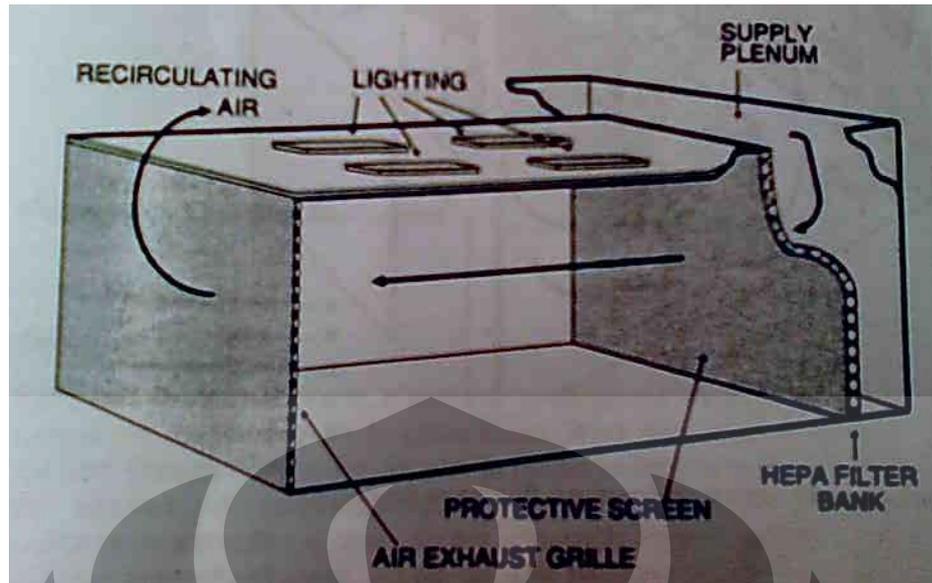
Gambar 2.5. Aliran laminar vertikal

Sumber : Cleanroom design; W Whyte; John Willey and sons; 1991

Dengan menggunakan HEPA *filter*, partikel berukuran $0.3 \mu\text{m}$ dan lebih besar dapat tersaring. Sehingga udara yang masuk bisa diminimumkan konsentrasi partikelnya. Untuk partikel yang ditimbulkan dalam ruang, akan dibuang melalui saluran udara buang, dan udara dalam ruang dapat dijaga kebersihannya. Sistem aliran laminar ini bisa membuat sistem ruang bersih mencapai kelas 100, artinya jumlah maksimum partikel yang ada di udara $100 \text{ partikel/ft}^3$.

➤ Aliran laminar horisontal

Pada sistem aliran horisontal, udara suplai dimasukan melalui salah satu dinding, mengalir secara horisontal dan keluar pada sisi dinding yang berlawanan arah. Dengan sistem ini kelas kebersihan suatu sistem ruang bersih bisa mencapai kelas 10.000, artinya jumlah partikel maksimum $10.000 \text{ partikel/ft}^3$.



Gambar 2.6. Aliran laminar horisontal

Sumber : Cleanroom design; W Whyte; John Willey and sons; 1991

Berikut adalah kekurangan-kekurangan aliran laminar horisontal :

1. Adanya partikel yang bergerak turun kebawah karena efek gaya berat.
2. Adanya kesulitan dalam pembuatan saluran udara (duct), karena volume yang dibutuhkan besar.

2.3.5. Material Cleanroom

Fenomena bangunan yang “sakit” saat ini meningkatkan kekhawatiran pada perancangan mengenai kualitas udara dalam ruangan. Salah satu dari penyebab “penyakit” ini adalah bangunan tersebut memakai material yang mengeluarkan zat beracun secara lambat Formaldhyde dengan campuran lem, resin dan campuran minyak dalam cat serta kandungan bahan organik dalam udara yang dipakai sebagai campuran dalam material bangunan hanyalah sebagian dari bahan kimia yang mengakibatkan bangunan “sakit”. Di negara-negara berkembang, beberapa material bangunan yang mengandung asbestos dan timah merupakan bahan yang illegal; begitupun, masih ada juga kerusakan lingkungan yang diakibatkan pemakaian bahan kimia pada saat pembangunan. Dan sebagai panduan umumnya, perancang sebaiknya menghindari pemakaian bahan yang dapat menghasilkan Formaldhyde, larutan organik, kandungan bahan kimia dalam

udara, dan lorofluor karbon. Kandungan bahan kimia dalam udara dapat mengakibatkan iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan, sakit kepala dan iritasi dermatologis dan beberapa penyakit lain. Beberapa kandungan kimia dalam udara dapat mengeluarkan bau yang tidak enak yang tidak dapat dihirup pada orang-orang yang punya indra penciuman sensitif.

2.3.6. Mechanical Filter Cleanroom

Beragam jenis dari filter media berserat (*fibrous*) untuk ventilasi ruang bersih tersedia dipasaran. Tiga faktor paling utama untuk penampilan karakteristik dari filter yang dikenal dengan MPPS (*the Most Penetrating Particle Size*), yaitu : Densitas fiber bertambah, Efisiensi filter meningkat dengan mengorbankan penambahan dalam perlawanan aliran udara. Sebagian besar filter berefisiensi tinggi mempunyai nilai MPPS antara 0,1 sampai 0,3 μm .

Uji filter udara efisiensi tinggi menggunakan *DOP Test*. Pada dasarnya metode ini menggunakan kumpulan asap yang mempunyai ukuran sama dengan tetesan cairan dari DOP (*Di-Octyl Phthalate*) yang dihasilkan dari kondensasi DOP vapor. Diameter partikel dijaga pada 0,3 μm dan konsentrasi kumpulan asap adalah 80 mg/m^3 . Kumpulan asap melewati filter saat aliran rata-rata terjaga. Dan mengukur konsentrasi aliran hulu (*up stream*) dan aliran hilir (*down stream*) dari filter oleh *A Simple Light Scattering Photometer*.

$$\text{Rumusnya : } P = \frac{DP}{UP} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

(W.J. Fisk, *Indoor Air Quality*, 1987, h.118)

Dengan P = Penetrasi Filter
 DP = Konsentrasi aliran hilir (*Down stream*)
 UP = Konsentrasi aliran hulu (*Up stream*)

Filter udara mencegah masuknya sebagian besar partikel-partikel udara ke ruang bersih, teknologi filter udara efisiensi tinggi terdiri dari 2 tipe yaitu :

1. HEPA Filter (*High Efficiency Particulate Air*)

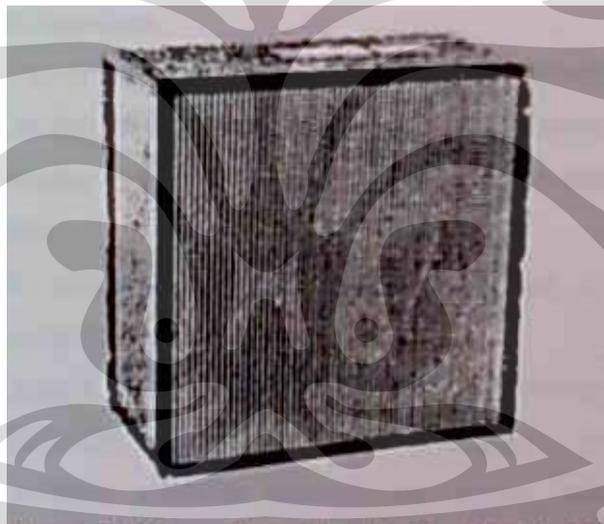
Mempunyai efisiensi pembersihan dari 99,97% sampai 99.997% pada ukuran 0,3 μm DOP test. Contoh aplikasi HEPA filter adalah Ruang

Operasi, pengolahan farmasi (pharmaceutical processing), rumah sakit, perawatan kesehatan, *Biological safety cabinets*, *Industrial Vacuum cleaners*, dan elektronik *microcircuitry* (chip komputer).

2. ULPA (*Ultra Low Penetrating Air*)

Mempunyai Efisiensi pembersihan 0,12 μm DOP test. Contoh aplikasi ULPA filter adalah *Aerospace*, penanganan hewan, fasilitas biofarmasi, pemanas, pendingin dan penyejuk udara menggunakan filter ini karena mereka menawarkan "Absolute Filter".

Kedua filter tersebut menggunakan teknologi *glass fiber paper*. Konstruksi dari alumunium sebagai lapisan pengikat serta pelapis kertas sebagai separasi. Kedalam dari filter beraneka ragam dari 50 mm sampai dengan 300 mm. Pada luas media yang besar harus tersedia filter yang lebih dalam dan jarak lapisan yang lebih jauh.



Gambar 2.7. Konstruksi dari HEPA filter
(Katalog CAM FARR Inc, 1991)

2.3.7. Pengaturan tekanan udara pada Cleanroom

Pengaturan udara dengan cara pengaturan udara ini dapat dibagi dua yaitu:

1. Ruang bertekanan negatif

Keadaan ini didapat dengan cara membuat tekanan udara dalam ruang kurang dari tekanan atmosfer yang dimaksudkan menjaga agar udara dalam ruangan tidak keluar ke lingkungan. Contoh ruangan bertekanan negatif adalah Toilet, *Warewashing*, Laundry, ruang otopsi dan lain-lain.

2. Ruang bertekanan positif

Keadaan ini didapat dengan membuat tekanan udara dalam ruangan lebih dari tekanan atmosfer yang dimaksudkan menjaga agar udara dari lingkungan tidak masuk dalam ruangan sehingga partikel-partikel yg merugikan bagi orang/benda yang lebih sensitif terhadap partikel tersebut. Contoh ruangan bertekanan positif adalah Ruang Operasi, Ruang , Laboratorium Biokimia, Pharmacy, *Sterile storage*, dan lain-lain.

2.3.8. Aplikasi-aplikasi Cleanroom

Penggunaan dari sistem ruang bersih adalah manufaktur, pemaketan, dan pencarian berkelanjutan untuk menumbuhkan teknologi terkini dan dibutuhkan untuk meningkatkan kebersihan kerja.

Berikut adalah industri utama yang menggunakan sistem ruang bersih :

- a. *Pharmaceutical*. Persiapan dari pharmaceutical, biologi, dan kesehatan yang membutuhkan sistem ruang bersih untuk mengontrol partikel mikroorganisme yang tidak diinginkan, serta bakteri lain yang mungkin tumbuh.
- b. *Elektronik*. Kecanggihan pada mikroelektronik semikonduktor, berkembang pada desain yang dilakukan pada sistem ruang bersih. Jumlah fasilitas semikonduktor yang menggunakan sistem ruang bersih sangatlah signifikan, hal ini terjadi di negara-negara yang telah berkembang pesat yang biasanya menggunakan sistem ruang bersih kelas ISO 8 atau lebih rendah.
- c. *Aerospace*. Sistem ruang bersih pertama kali berkembang pada aerospace untuk manufaktur dan merakit satelit, misil, dan alat elektronik aerospace lainnya. Kebanyakan aplikasi tersebut memerlukan sistem ruang bersih berukuran besar dengan kelas sistem ruang bersih ISO 8 atau lebih rendah.
- d. Berbagai aplikasi lainnya. Penggunaan sistem ruang bersih juga dipakai pada pembuatan dan pengemasan makanan antiseptik, manufaktur pembuatan lengan dan sendi buatan, kamar pengecatan industri otomotif, industri, industri laser/optik, dan penelitian material-material canggih. Ruang operasi yang ada di rumah sakit juga termasuk sistem ruang bersih, dengan fungsi untuk membatasi partikel kontaminan.

Tabel 2.3. *Some Clean and Containment room applications*

Sumber : Cleanroom design; W Whyte; John Willey and Sons; 1991

<i>Electronics</i>	<i>Computers, TV-tubes, Magnetic tape production</i>
<i>Semiconductors</i>	<i>Production of integrated circuits used in computer memory and control</i>
<i>Micromechanics</i>	<i>Gyroscope, miniature bearings, compact disc-player</i>
<i>Optics</i>	<i>Lenses, Photographic film, laser equipment</i>
<i>Biotechnology</i>	<i>antibiotic production, genetic engineering</i>
<i>Pharmacy</i>	<i>sterile pharmaceuticals, sterile disposables</i>
<i>Medical devices</i>	<i>Heart valves, cardiac by-pass system</i>
<i>Food and drink</i>	<i>Brewery production, unsterilized food and drink</i>
<i>Hospital</i>	<i>Immunodeficiency therapy, isolation of contagious patients, Operating Rooms</i>

Beberapa syarat yang harus dimiliki oleh sistem ruang bersih adalah :

1. Spesifikasi dari partikel yang ada pada sistem ruang bersih seperti debu ditentukan menurut batas diameter partikel, dan juga menurut batas maksimum partikel yang diperbolehkan per satuan unit volum (biasanya dalam meter kubik). Untuk kontaminan yang bukan merupakan partikel, ditentukan batas density yang diperbolehkan dalam mikroba per kubik meter atau molekul per kubik meter.
2. Udara yang masuk kedalam sistem ruang bersih yang berasal dari luar disaring oleh exclude dust dan udara yang ada didalam ruangan secara konstan disirkulasikan berulang-ulang dengan menggunakan HEPA (*High Efficiency Particulate Air*) dan ULPA (*Ultra Low Penetration Air*), untuk menghilangkan kontaminan yang berkembang dalam ruangan.

3. Karyawan yang masuk dan keluar dari sistem ruang bersih harus melewati Airlocks (kadang berupa pancuran udara) dan menggunakan pakaian pelindung seperti topi, masker, sarung tangan dan sepatu.

2.4. Ventilasi

2.4.1. Definisi Ventilasi

Ventilasi yang dimaksud disini adalah pemasukan atau pergantian udara (bersih/segar) dari luar dan pengeluaran udara yang berkualitas buruk atau kurang baik dari dalam ruangan secara alami maupun dengan bantuan alat mekanis. Dengan udara yang selalu bergerak diharapkan kondisi udara didalam ruangan akan bertambah baik, meliputi kenyamanan dan kualitasnya. Jaldi dengan adanya ventilasi digunakan untuk mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara dan suhu sehingga panas dalam ruangan dapat diminimalisir dan kondisi kenyamanan termal yang dibutuhkan dapat terpenuhi.

Ventilasi terjadi jika terdapat perbedaan tekanan udara. Ventilasi dengan tekanan udara tertentu dapat mempengaruhi kecepatan pergerakan udara, arah pergerakan, intensitas dan pola aliran serta rintangan setempat. Laju ventilasi diukur dengan satuan massa udara per-unit waktu. Laju ventilasi minimum pada ruangan biasanya didasarkan pada kebutuhan pergerakan udara untuk kontrol kelembaban. Gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya distribusi udara dan kurang lancar, suhu dan kelembaban udara yang tidak nyaman.

Dengan adanya ventilasi, dapat menciptakan atau memperoleh sensasi nyaman dan sejuk atau kualitas serta kenyamanan dalam ruangan bagi orang yang berada didalmnya karena memberikan hembusan angin yang mengenai kulitnya ataupun mengambil panas (terjadi perpindahan panas) benda ataupun badan (kulit) tersebut ke udara dengan memanfaatkan aliran atau pergerakan angin secara alami maupun dengan bantuan peralatan (mekanik). Besar/jumlah angin dan pergerakan Atau aliran angin tersebut bila prosesnya berlangsung terus menerus dapat menipu atau membuat perasaan kita tentang temperatur udara tersebut merasakan lebih nyaman dan sejuk, walupun temperatur udaranya sama atau tinggi (terhadap kondisi acuan temperatur kenyamanan thermal) didalam ruangan tersebut ataupun dapat menurunkan temperatur udara dalam ruangan tesebut.

2.4.2. Tujuan Ventilasi

Ventilasi bertujuan :

1. Menghilangkan gas-gas yang tidak menyenangkan yang ditimbulkan oleh keringat dan sebagainya.
2. Menghilangkan gas-gas pembakaran (CO₂) yang ditimbulkan oleh pernafasan dan proses-proses pembakaran.
3. Menghilangkan uap air yang timbul sewaktu memasak, mandi dan sebagainya.
4. Menghilangkan kalor yang berlebihan.
5. Membantu mendapatkan kenyamanan thermal.

2.4.3. Jenis-jenis Ventilasi

Ventilasi dapat berjalan secara alami (natural) maupun mekanikal (buatan)

a. Ventilasi Alami (natural)

Ventilasi alami adalah pergantian udara secara alami (tidak melibatkan peralatan mekanis, seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan Air Conditioner (AC), kipas angin, penghisap dsb). Ventilasi alami menawarkan ventilasi yang sehat, nyaman, dan tanpa energi tambahan.

Ventilasi alami dipicu oleh perbedaan tekanan karena pergerakan angin diluar bangunan dan/atau perbedaan suhu dalam ruang. Sehingga banyak tergantung pada kekuatan angin dan perbedaan tekanan udara serta temperatur di luar dan didalam ruangan dan untuk ventilasi alami, diperlukan lubang-lubang ventilasi guna memasukan atau mengeluarkan udara dalam ruangan. Laju pertukaran udara pada ventilasi dipengaruhi oleh total luas bukaan, arah bukaan, kecepatan angin dan perbedaan temperatur di luar dan di dalam ruangan. Sehingga mempengaruhi atau membentuk pola aliran dan distribusi udara dalam ruangan yang dapat menentukan besarnya distribusi suhu dan kelembaban udara serta temperatur dalam ruangan.

b. Ventilasi buatan (mekanik)

Ventilasi buatan (mekanik) adalah pergantian udara yang tidak secara alami atau melibatkan peralatan mekanis, (seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan Air Conditioner (AC), kipas angin, penghisap

dsb). Ventilasi buatan dapat membantu atau menyediakan dan mengontrol serta memasukan ataupun menghisap aliran udara kedalam bangunan (ruangan) dimana ventilasi secara alami tidak dapat memberikan atau karena keterbatasannya tersebut, sehingga kualitas dan kenyamanan dalam ruangan tersebut dapat terpenuhi. Ada juga ventilasi buatan yang dapat mengurangi panas udara dalam ruangan dengan cara menghisap udara panas yang ada dalam ruangan sehingga panas tersebut dapat diminimalisir. Namun dengan ventilasi buatan ini memberikan atau memperhitungkan tambahan biaya operasional, biaya pemeliharaan dan biaya pergantian dalam penggunaannya.

Ventilasi mekanik dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut :

1. *Local exhaust ventilation*

Ventilasi dengan tujuan membatasi gerak polutan dan mencegah polutan menyebar ke daerah bersih. Hal ini dilakukan dengan cara meletakkan exhaust kipas seperti gabungan antara kipas, duct, filter, dan hood.

2. *Dilution exhaust ventilation*

Ventilasi dengan tujuan membuat udara berdifusi/menyebarkan keseluruh ruangan. Hal ini dilakukan dengan cara kipas mengalirkan udara dari luar kedalam melalui lubang-lubang yang dapat diatur secara normal.

Perlu diingat pada saat memilih bahan bangunan yang sensitif pada lingkungan tidak menjamin menghasilkan lingkungan dalam menjadi lebih baik. pemilihan bahan bangunan tersebut harus dapat dikoordinasikan dengan sistem ventilasi dan mekanisasi yang baik untuk menghasilkan kualitas lingkungan dalam yang baik. Ventilasi yang efektif dan cukup sangat menentukan kualitas kandungan udara yang baik dalam ruangan. Pengaruh ventilasi yang besar bagi kenyamanan pemakai bangunan dan juga mengontrol tingkat polusi dalam bangunan. Ventilasi juga merupakan kunci penting untuk menjaga agar kualitas udara dalam ruangan termasuk mensuplai udara bersih yang masuk keseluruh ruangan lain sehingga udara dapat berputar dengan baik dan memenuhi kebutuhan pernafasan pemakaian ruangan. (telah distandarisasikan oleh

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, standard 62.1 2007).

Kapasitas udara Operating Theater :

$$Q_{us} = ACH \times V$$

$$Q_{ub} = ACH \times V - 0.1 (ACH \times V) \dots \dots \dots (2)$$

- Ket :
- Q_{us} = Aliran Volume udara suplai [m³/h]
- Q_{ub} = Aliran Volume udara buang [m³/h]
- V = Volume Ruangan [m³]
- ACH = pertukaran udara (air Change per Hour) [1/jam]

2.5. Ruang Operasi

2.5.1. Definisi Ruang Operasi

Ruang operasi (*operating room*), kamar bedah (*operating theater*) atau kamar operasi adalah sebuah ruang yang dilengkapi dengan peralatan medik yang berfungsi untuk melakukan pembedahan pada pasien. Ruang operasi termasuk dalam kategori ruang bersih (*cleanroom*) sesuai dengan standard yang telah ditetapkan dan dipublikasikan antara lain oleh US Federal Standard 209D, dan ISO 14644 Part 1 yang dapat didefinisikan sebagai ruang tertutup dimana konsentrasi partikel dalam udara dikendalikan sampai batas tertentu.

Ruangan operasi yang ada sekarang ini merupakan sebuah ruangan yang kompleks dimana terdapat banyak penyedia perawatan kesehatan dalam sebuah ritual bedah yang sakral, yang mengontrol dan memodifikasi struktur penyakit yang rumit.

2.5.2. Parameter Ruang operasi

Parameter-parameter pada ruang operasi antara lain :

- Temperatur ruang

Parameter yang harus dipenuhi pada ruang operasi adalah temperatur, kondisi ruangan tidak terlalu dingin dan tidak terlalu panas namun sesuai dengan standard kenyamanan dalam ruangan yang dapat terjaga, faktor yang menyebabkan temperatur ruangan berubah adalah kondisi luar ruangan, peralatan-peralatan dalam ruangan, serta penghuni yang berada dalam ruangan tersebut

- Tekanan ruang

Parameter tekanan dalam ruangan harus dapat terkontrol, ruangan dijaga dalam kondisi tekanan positif agar gaya terhadap partikel langsung menuju keluar ruangan, dan partikel itu sendiri tidak mengalir atau menyebar kedalam ruangan

- *Air Velocity*

Parameter kecepatan udara termasuk hal yang sangat penting, aliran udara yang masuk dan keluar harus di kontrol untuk mendapatkan aliran laminar yang sesuai pada standar ruang operasi.

- *Relative humidity*

Parameter yang lain harus dipenuhi dalam ruang operasi adalah *relative humidity*, agar kenyamanan dalam ruangan terpenuhi maka kelembaban di udara harus memenuhi syarat.

2.5.3. Peralatan-peralatan Ruang Operasi

Ruang operasi modern menggunakan banyak alat dalam ruang operasi untuk mendukung dan melindungi pasien dan untuk membantu pekerjaan tim bedah. Semua alat ruang operasi harus dievaluasi dalam tiga hal, yaitu: penjagaan keamanan pasien, maksimalisasi efisiensi tim bedah, dan pencegahan injury kerja.

Peralatan-peralatan dasar pada ruang operasi :

- Alat Pencahayaan

Pencahayaan yang seimbang dalam ruang operasi memberikan pemandangan yang jelas bagi juru-bedah terhadap arena operasi, mencegah ketegangan mata, dan memberikan tingkat cahaya yang sesuai untuk perawat dan juru-anestesi. Banyak pengetahuan faktual kita tentang pencahayaan ruang operasi yang didapatkan melalui penelitian Dr. William Beck dan Komunitas Teknik Pencahayaan. Keterangan pencahayaan umum sampai 200 footcandles (ft-c) diperlukan dalam konstruksi baru

- Alat-alat bermesin

Alat bermesin yang paling umum dalam ruang operasi adalah meja bedah. Alat ini harus ditempatkan secara tepat dan disesuaikan untuk memastikan keamanan pasien dan pekerjaan tim bedah yang efisien. Meja yang disesuaikan secara manual cukup sederhana, tetapi yang dikontrol dengan listrik lebih mudah diatur.

- Alat penampil dan pencitraan

Mikroskop ruang operasi diperlukan untuk prosedur-prosedur mikro-bedah. Mikroskop yang dipasang di lantai paling fleksibel, sedangkan mikroskop built-in paling baik digunakan pada ruangan yang ditentukan oleh tipe prosedur ini. Mikroskop adalah alat yang besar dan berat yang bisa menyebabkan gangguan dan bahaya tabrakan dalam ruang operasi. Semua kontrol dan tampilan harus dipasang dengan baik pada atau di bawah garis penglihatan penggunaan untuk memungkinkan pemandangan yang tidak mengganggu dan nyaman.

- *Case carts* dan penyimpanan

Pada sistem case cart, instrumen-instrumen steril yang telah dipaketkan dan suplai untuk masing-masing operasi yang dijadwalkan ditempatkan pada satu cart terbuka tunggal (atau pada sebuah cart tertutup) dan disalurkan dari area suplai steril ke ruang operasi sebelum prosedur dimulai. Set instrumen harus disterilisasi menurut kebijakan fasilitas.

- Peralatan ventilasi

Untuk mendapatkan kualitas udara dalam ruang operasi yang baik maka perlu diperhatikan bagaimana pemasukan serta pengeluaran udara bersih dalam ruangan, contoh peralatan ventilasi seperti HEPA Filter.

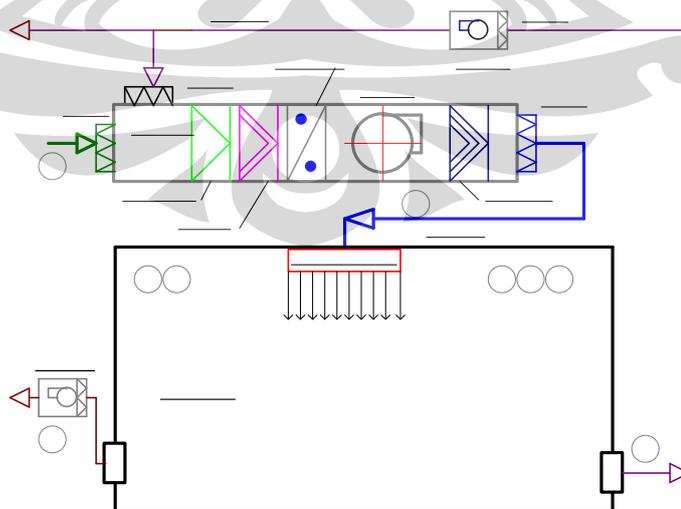
BAB III

DATA PERANCANGAN DAN PERHITUNGAN ESTIMASI BEBAN PENDINGIN

Kamar bedah di rumah sakit digolongkan juga sebagai ruang bersih (Cleanroom) walaupun fungsi utamanya adalah jenis batas partikel yang terkontaminasi daripada jumlah partikel ruang bersih, juga digunakan dalam isolasi pasien saat pembedahan dimana terjadi resiko ada infeksi.

Sistem tata udara yang tepat sangat membantu pencegahan serta pengobatan suatu penyakit. Penerapan sistem tata udara untuk fasilitas kesehatan pada kondisi nyaman tidak banyak terdapat masalah. Perbedaan-perbedaan dasar antara sistem tata udara untuk rumah sakit diperlukan pergerakan udara yang terbatas diantara bermacam-macam bagian, ventilasi dan saringan yang khusus guna mengurangi dan menghilangkan kontaminasi dari bau, mikroorganisme yang terdapat diudara, virus dan zat kimia yang berbahaya, serta substansi radioaktif, dan membutuhkan perbedaaan temperatur, kelembaban untuk bermacam-macam daerah.

Sistem tata udara yang digunakan dalam ruang operasi ini adalah Sistem tata udara sentral yang lebih sempurna, seperti gambar skema dibawah.



Gambar 3.1. Sistem Distribusi Udara tipikal Operating Theater

Klasifikasi Cleanroom yang digunakan dalam operating theater ini menurut standar US FED 209D dimana partikel yang terdapat didalam ruangan tidak melebihi 350.000 partikel per m^3 (10.000 partikel per ft^3), dengan ukuran partikel 0,5 μm . Sedangkan ventilasi yang digunakan adalah Ventilasi buatan (mekanik) yaitu *Local Exhaust Ventilation*.

3.1. Data awal Ruang Operasi pada Rumah Sakit



“X”.

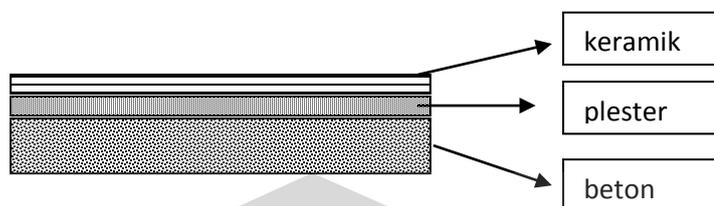
Gambar 3.2. Denah *Operating Theater*

Ruangan operasi di dalam gedung bertingkat dimana ruangan tersebut berada di tengah-tengah yang di kelilingi oleh ruangan-ruangan lainnya, sehingga data udara luar ruangan (ambient) yang diambil adalah Temperatur 25 °C , kelembaban relatif (RH) 70 % dan tekanan 1 atm. Sedangkan data-data yang ada didalam ruangan adalah sebagai berikut :

1. Dimensi dan material ruangan

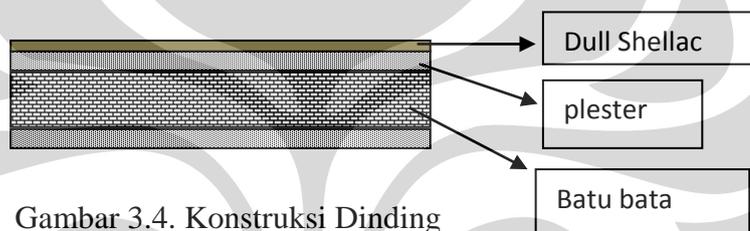
Ruangan operasi berada di lantai dasar dengan volume ruangan 7 m x 6 m x 2.8 m dengan konstruksi :

a) lantai



Gambar 3.3. Konstruksi lantai

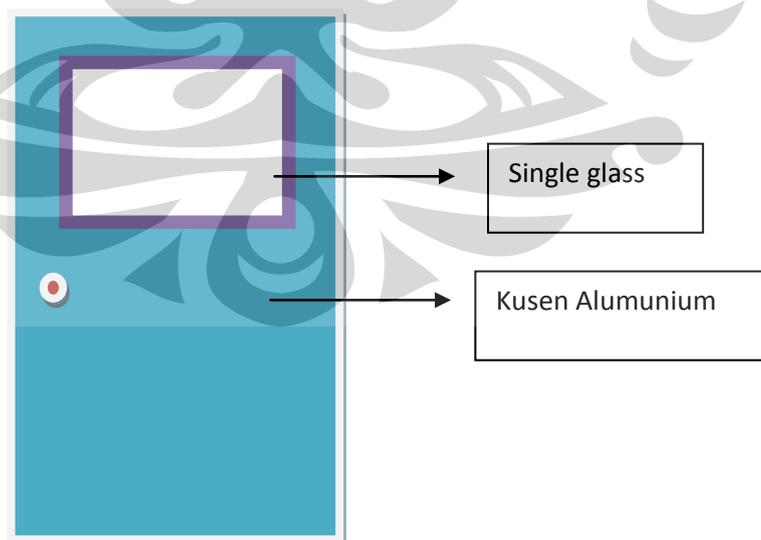
b) dinding



Gambar 3.4. Konstruksi Dinding

c) pintu

Konstruksi pintu masuk pada ruang operasi yang di gunakan terdiri dari kaca tunggal (singel glass), dengan kusen terbuat dari metal.



Gambar 3.5. Konstruksi pintu

d) Atap

Material atap yang digunakan pada ruang operasi ini adalah Gypsum.

Tabel 3.1. Dimensi dan jumlah Item pada ruang operasi

Item	jumlah	Dimensi
Meja operasi	1	1900 mm x 500 mm x 1200 mm
Lampu operasi	1	300 mm x 300 mm x 100 mm
Orang	8	170 mm(5 ft 7 in)berat 77 kg(170lb)
Lampu TL	12	1000 mm x 200 mm
HEPA	2	2100 mm x 1200 mm
Exhaust	4	600 mm x 200 mm
Peralatan lain	6	500 mm x 500 mm 500 mm

2. Supply Air

Dengan pemasukan udara menggunakan 2 HEPA filter pada spesifikasi: 1500 m³/h dengan 25 ACH pada temperatur 20 °C

3. Exhaust

Dengan udara keluar menggunakan 4 Exhaust masing-masing pada 588 m³/h.

4. Orang

Dokter 3 orang, penata anastesi 1 orang, perawat (instrument) 1 orang, pembantu perawat (instrument) 2 orang dan pasien 1 orang. Dimana masing-masing mempunyai *source* rata-rata 170 W

5. Lampu

Lampu Operasi 350 W dan Lampu TL masing-masing (3 x 40W)

6. Peralatan elektronik lainnya

dibagi menjadi 6 unit yaitu masing-masing 100 W

7. Meja operasi

Material yang digunakan adalah alumunium

3.2. Perhitungan estimasi beban pendingin

Perhitungan beban pendingin ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa total Cooling Load yang ada di ruang operasi, agar nantinya dapat menentukan pemilihan pada peralatan refrigerasi.

Tabel 3.2. Perhitungan estimasi beban pendingin ruang operasi

item	unit	source (watt)	total source (watt)
Lampu Operasi	1	350	350
Lampu TL	12	120	1440
Orang	8	170	1360
peralatan lainnya	6	100	600
Total Cooling Load			3750

3.3. Parameter dan Standar Cleanroom pada Ruang Operasi

1. Temperatur ruang

Kondisi ruangan tidak terlalu dingin dan tidak terlalu panas namun sesuai dengan standard kenyamanan dalam ruangan yang dapat terjaga temperaturnya, standard yang digunakan dalam hal ini adalah standard ASHRAE 170-2008 yaitu : 20°C - 24°C (Ventilation of Health Care Facilities, ASHRAE, 2008).

2. Tekanan ruang

Ruangan dijaga dalam kondisi tekanan positif agar gaya terhadap partikel langsung menuju keluar ruangan dan untuk meminimalkan mikroba di udara masuk ke dalam kamar seorang pasien dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah, tekanan udara positif yang berlebihan tidak diperlukan karena pemborosan energi dan mungkin cukup lembab mendorong udara ke dalam rongga dinding dingin selama cuaca dingin untuk memungkinkan pertumbuhan jamur tersembunyi di dinding.

sesuai standard ASHRAE yaitu :

	Pressure differential, in. WC (Pa)
Between clean rooms or clean space and nonclean space	0.05 (12.5)
Between clean rooms and less clean rooms	0.02–0.03 (5–7.5)

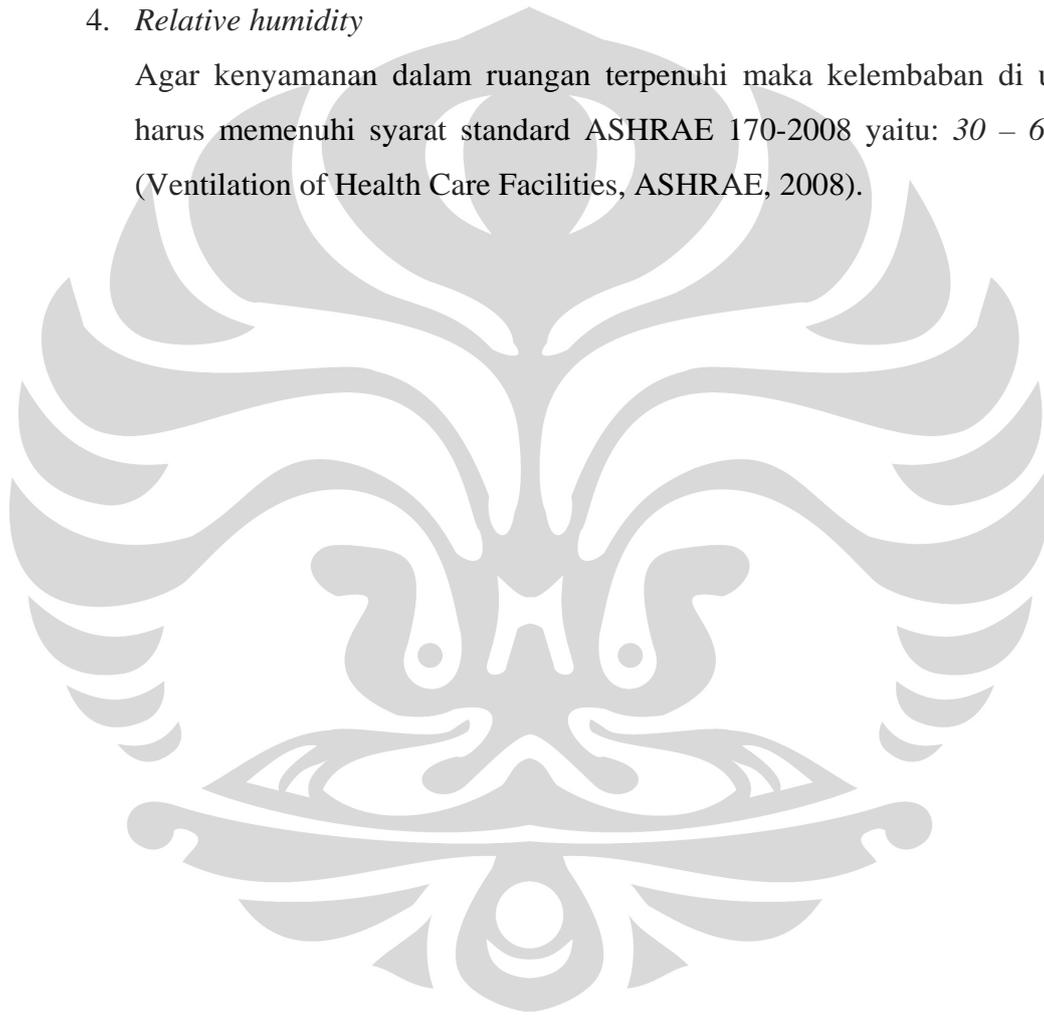
(Understanding pharmaceutical Cleanroom Design, ASHRAE, 2004).

3. *Air Velocity*

Parameter kecepatan udara termasuk hal yang sangat penting, aliran udara yang masuk dan keluar harus di kontrol untuk mendapatkan aliran laminar yang sesuai pada standar ruang operasi, yaitu standard ASHRAE adalah aliran laminar dengan kecepatan udara ≤ 0.45 m/s. (Comparison of operating room ventilation system in the protection of the surgical site, ASHRAE, 2002).

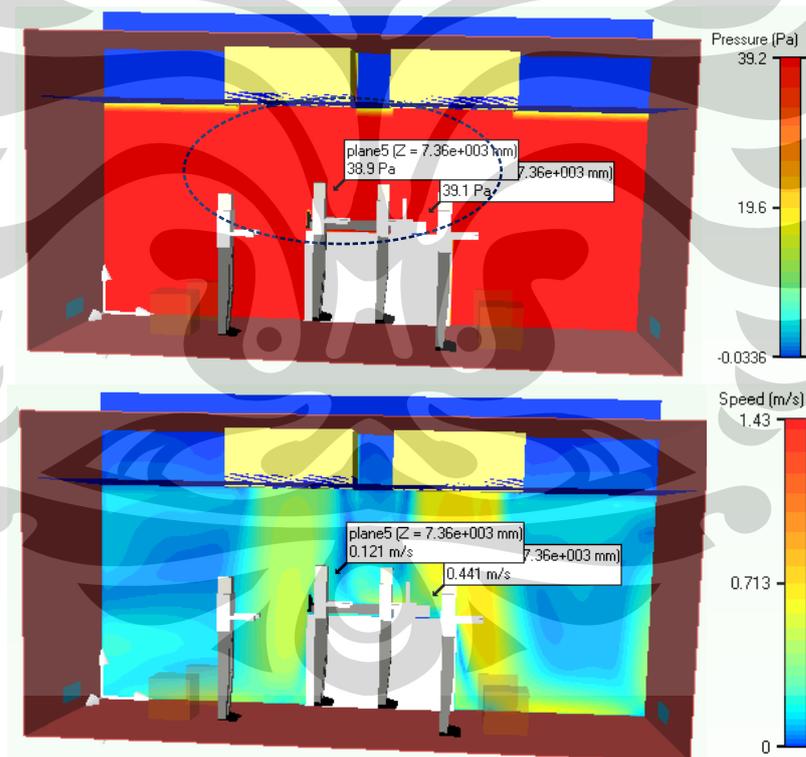
4. *Relative humidity*

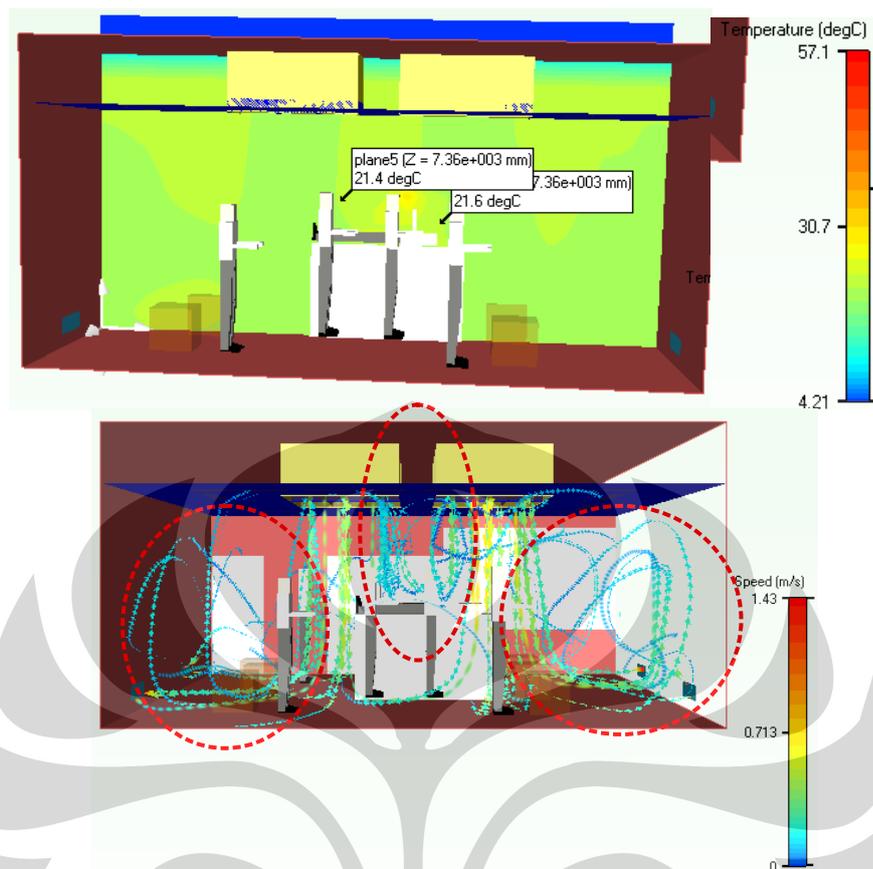
Agar kenyamanan dalam ruangan terpenuhi maka kelembaban di udara harus memenuhi syarat standard ASHRAE 170-2008 yaitu: 30 – 60 %. (Ventilation of Health Care Facilities, ASHRAE, 2008).



BAB IV HASIL DAN ANALISA

Berikut adalah hasil simulasi CFD pada ruang operasi dengan menggunakan FLOVENT V7, yang disimulasikan seperti keadaan aktual yaitu pada saat ruangan memiliki sumber panas serta ventilasi yang sesuai dengan ruang operasi yang ada di Rumah Sakit "X" Jakarta dan disimulasikannya beberapa percobaan-percobaan yang dapat mendekati kondisi sesuai dengan standar ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008. Hasil simulasi tersebut berupa distribusi aliran udara dan temperatur dalam bentuk bidang didalam ruangan tersebut, dimana titik-titik pengukuran yang akan ditampilkan adalah titik yang diperlukan dalam pengambilan data, dan akan digunakan untuk validasi apakah sesuai atau tidak dengan standar tersebut.





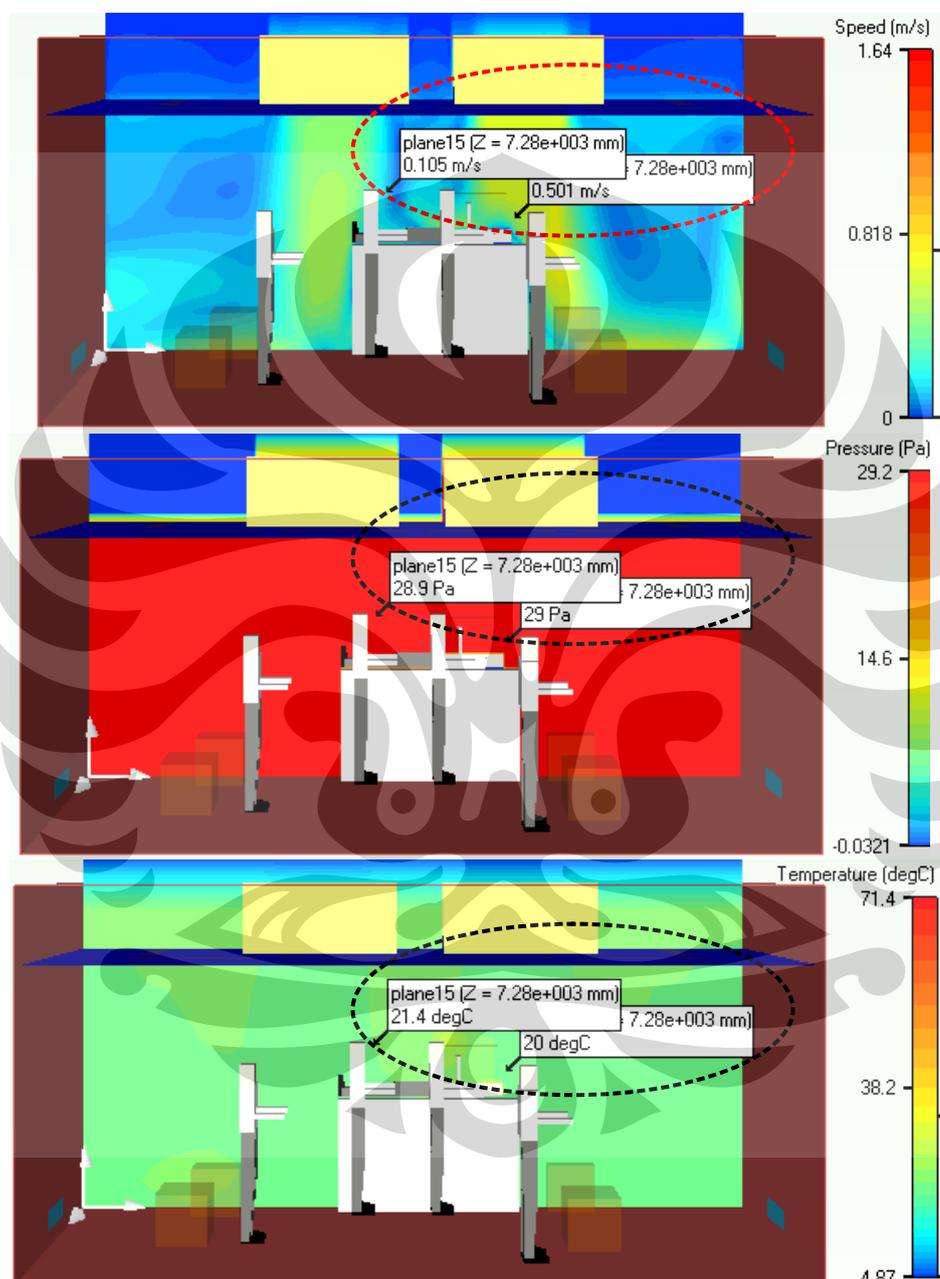
Gambar 4.1 tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan pertama / kondisi aktual

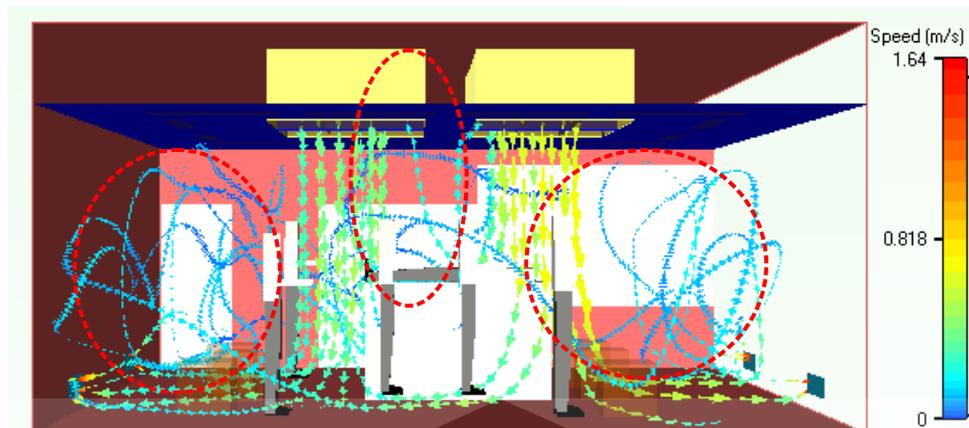
Tabel 4.1 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur pada percobaan pertama / kondisi aktual

sumbu x	2,8	3	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,2	4,3	rata-rata
temperatur awal	20,5	20,9	21,4	22	23	23,3	23,2	22,6	21,8	21,6	22,03
pressure awal	39	39	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	39	39,1	39,1	38,97
velocity awal	0,275	0,175	0,107	0,0918	0,318	0,355	0,397	0,412	0,325	0,282	0,27

Pada percobaan awal disain ruang operasi yang sesuai dengan kondisi aktual rumah sakit dengan suplai udara segar pada suhu 20 °C dan debit 3.000 m³/h, serta pada daya penerangan 120 W, dari gambar diatas didapat pola distribusi aliran udara keluar Laminar Flow Canopy (LFC) terlihat 3 bagian yang berbentuk “*non unidirectional air flow*” dan bahkan cenderung berbentuk *mixed flow* mendekati dinding. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan arah aliran udara setelah membentur rintangan seperti pergerakan orang, perlengkapan medis dan meja operasi, sehingga terjadi turbulensi disekitar dinding. Fenomena ini diperkirakan sebagai akibat adanya jarak yang cukup besar antara kedua LFC serta adanya pencampuran kedua aliran udara mendekati meja operasi. Kecepatan udara keluar LFC berkisar antara 0,30 ÷ 0,35 m/s dan mendekati meja

operasi rata-rata 0,27 m/s. Suhu udara keluar LFC 20 °C dan mendekati meja operasi rata-rata 22 °C. Dengan tekanan 38,97 Pa pada ruangan, sehingga tidak memenuhi persyaratan yang dikeluarkan oleh ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008 yaitu $\pm 12,5$ Pa pada tekanan positif.



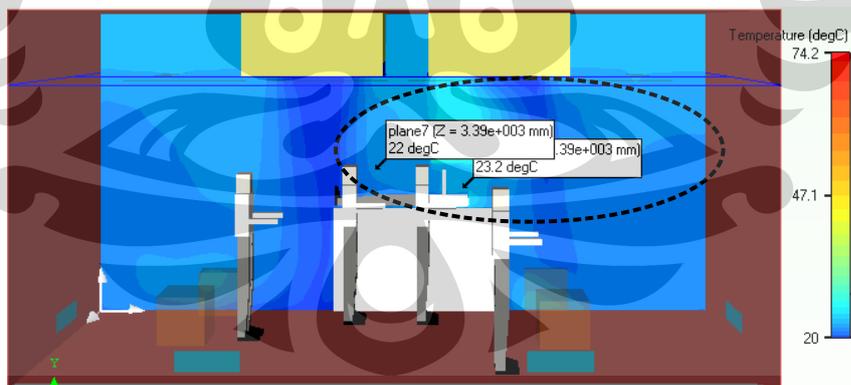


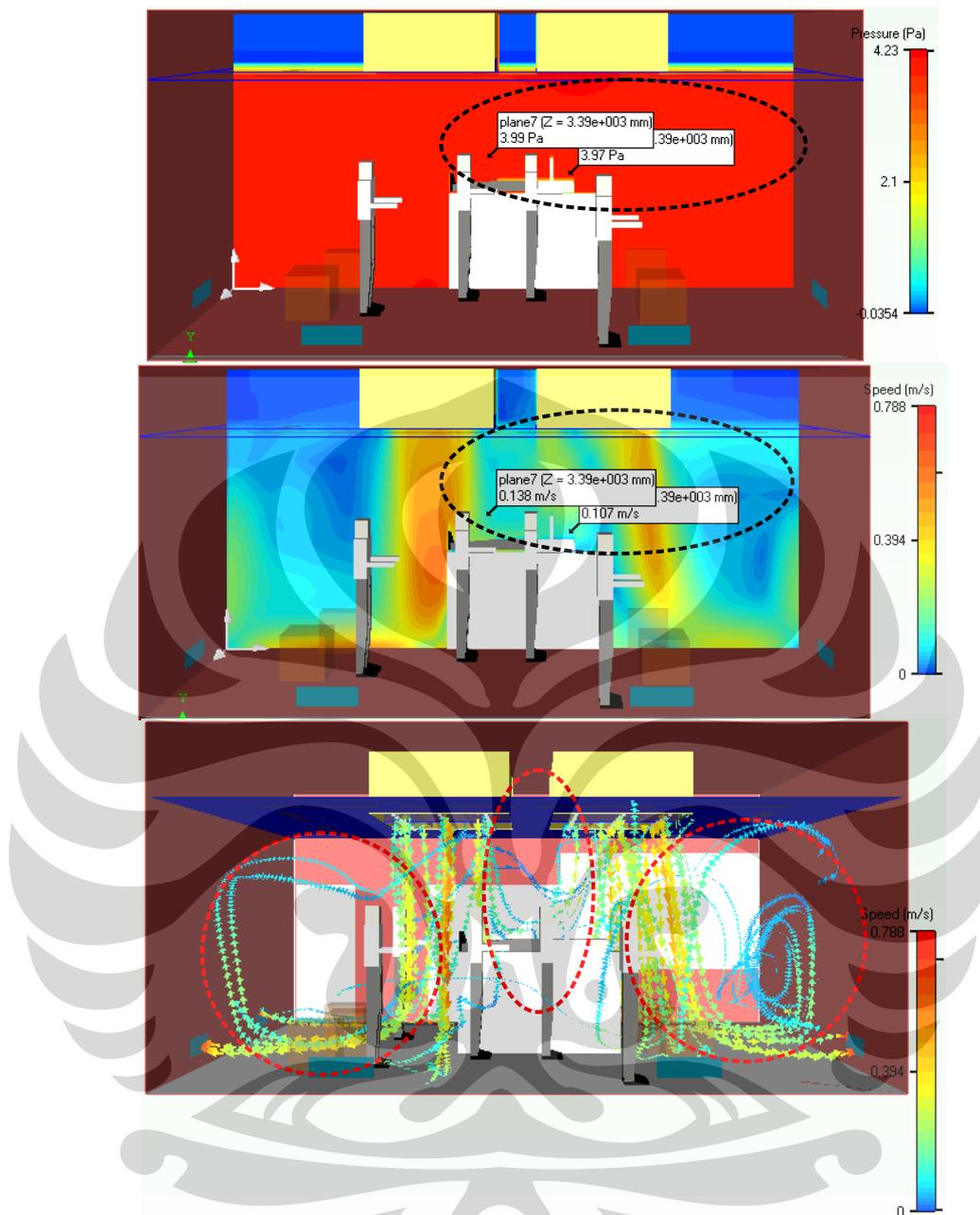
Gambar 4.2 tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan kedua

Tabel 4.2 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur pada percobaan kedua

sumbu x	2,8	3	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,2	4,3	rata-rata
temperatur 1	20,5	20,9	21,6	22,3	22,9	23,1	23	22,9	22	21,9	22,11
pressure 1	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	29	29	28,92
velocity 1	0,29	0,185	0,11	0,091	0,215	0,216	0,297	0,329	0,33	0,37	0,24

Pada percobaan kedua diatas dengan memperbesar aliran keluar pada exhaust sebesar 10 % *return air* didapat hasil aliran, temperatur dan kecepatan udara yang tidak jauh berbeda dengan data awal, sedangkan tekanan berubah menjadi 28,9 Pa dikarenakan bukaan exhaust diperbesar, akan tetapi data yang didapat masih belum memenuhi standar ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008.



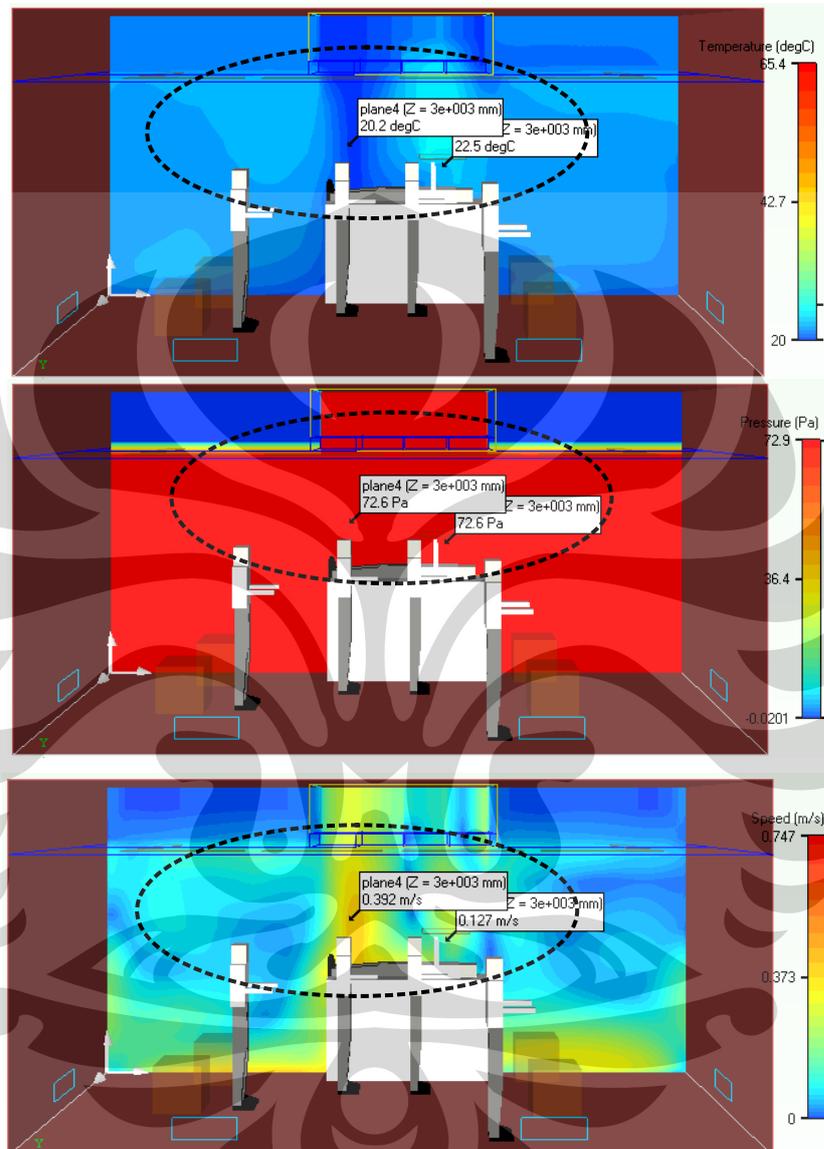


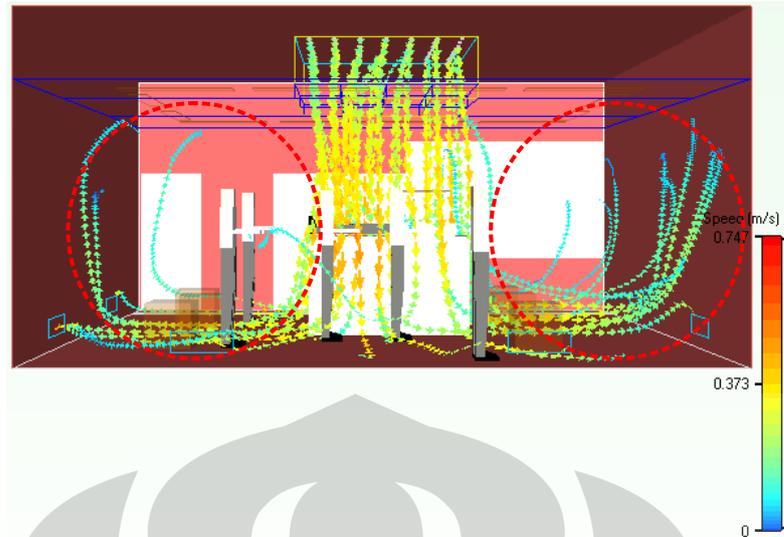
Gambar 4.3 tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan ketiga

Tabel 4.3 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur pada percobaan ketiga

sumbu x	2,8	3	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,2	4,3	rata-rata
temperatur 2	21	21,2	21,4	21,7	21,9	22	22,5	22,8	24,3	24,1	22,29
pressure 2	4,02	4,02	3,99	3,99	3,98	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,98
velocity 2	0,38	0,2081	0,18	0,172	0,19	0,215	0,32	0,153	0,104	0,09	0,20

Pada percobaan ketiga diatas dengan memperbesar aliran keluar pada exhaust sebesar 10 % *return air* serta menambahkan jumlah exhaust menjadi 8 unit, didapat aliran yang sudah lebih baik dari data awal, akan tetapi masih berbentuk “*non unidirectional air flow*”, dan tekanan rata-rata didalam ruangan turun hingga 3,98 pa.



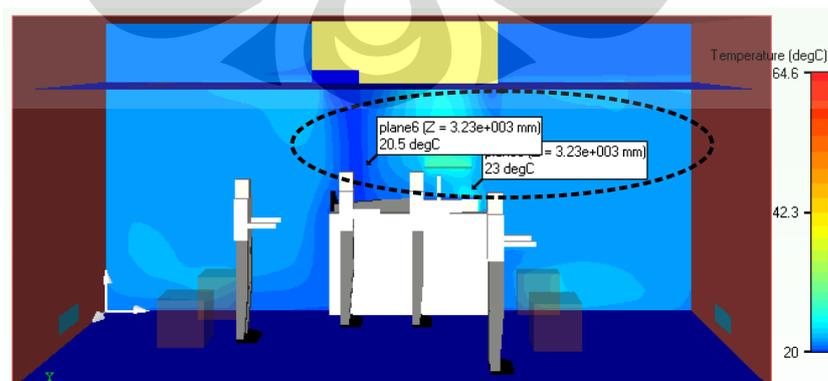


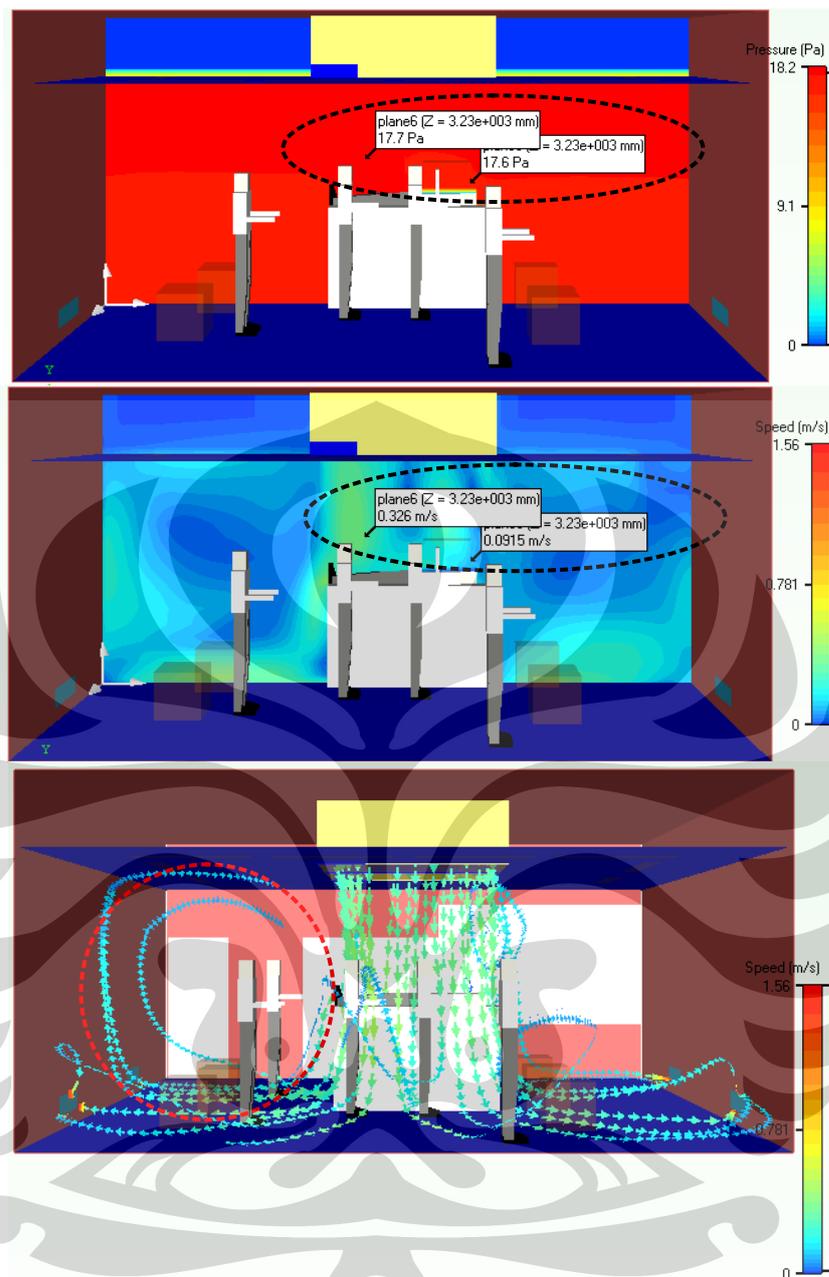
Gambar 4.4 tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan keempat

Tabel 4.4 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur pada percobaan keempat

sumbu x	2,8	3	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,2	4,3	rata-rata
temperatur 3	20	20,1	20,8	20,5	21	21,1	22,1	22,3	25	24,4	21,73
pressure 3	72,7	72,7	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,62
velocity 3	0,29	0,247	0,19	0,192	0,2	0,218	0,31	0,208	0,189	0,106	0,21

Pada percobaan keempat diatas dengan 1 HEPA dan aliran keluar pada exhaust sebesar 20 % *return air* serta menambahkan jumlah exhaust menjadi 8 unit, didapat aliran berbentuk “*unidirectional air flow*” pada bagian permukaan meja operasi dimana daerah tersebut merupakan daerah yang diutamakan terjaganya sterilisasi pada udara, akan tetapi masih ada bagian disekitar dinding yang berbentuk “*non unidirectional air flow*” dan tekanan rata-rata didalam ruangan menjadi 72,62 Pa.





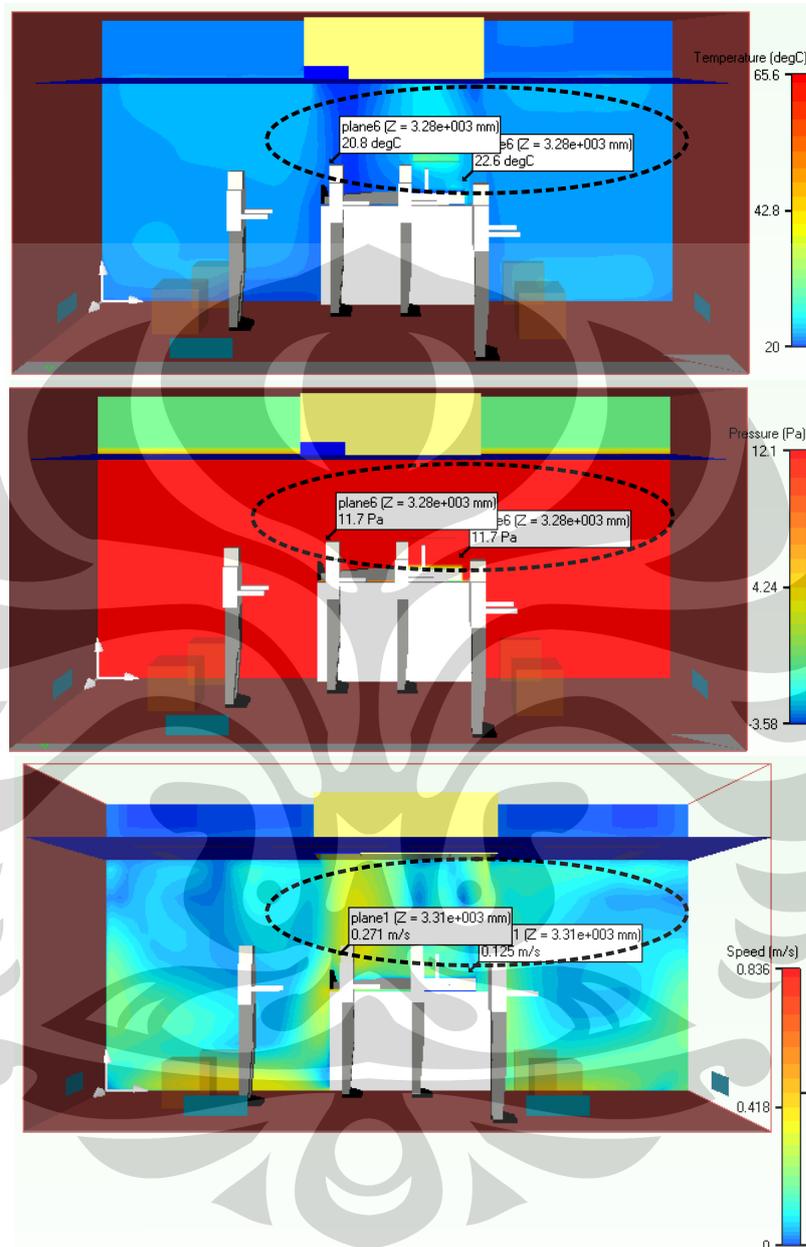
Gambar 4.5 tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan kelima

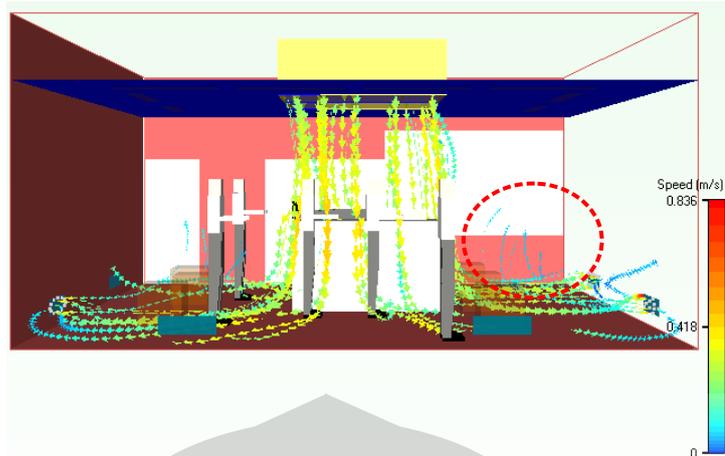
Tabel 4.5 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur pada percobaan kelima

sumbu x	2,8	3	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,2	4,3	rata-rata
temperatur 4	20	20,1	21	20,9	21,1	21,4	22,2	22,4	24,8	23,4	21,73
pressure 4	17,6	17,7	17,7	17,7	17,7	17,6	17,6	17,6	17,7	17,6	17,65
velocity 4	0,32	0,303	0,19	0,195	0,17	0,186	0,21	0,178	0,2	0,12	0,21

Pada percobaan kelima dengan 1 HEPA dan aliran keluar pada exhaust sebesar 10% *return air* serta jumlah exhaust hanya 4 unit, didapat aliran berbentuk “*unidirectional air flow*” pada bagian permukaan meja operasi dan bagian kanan pada gambar tersebut, akan tetapi masih ada bagian kiri akan membentuk “*non unidirectional*”

air flow” dan tekanan rata-rata didalam ruangan menurun daripada percobaan keempat menjadi 17,65 Pa, yang mana hampir mendekati standar ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008 yaitu 12,5 Pa.



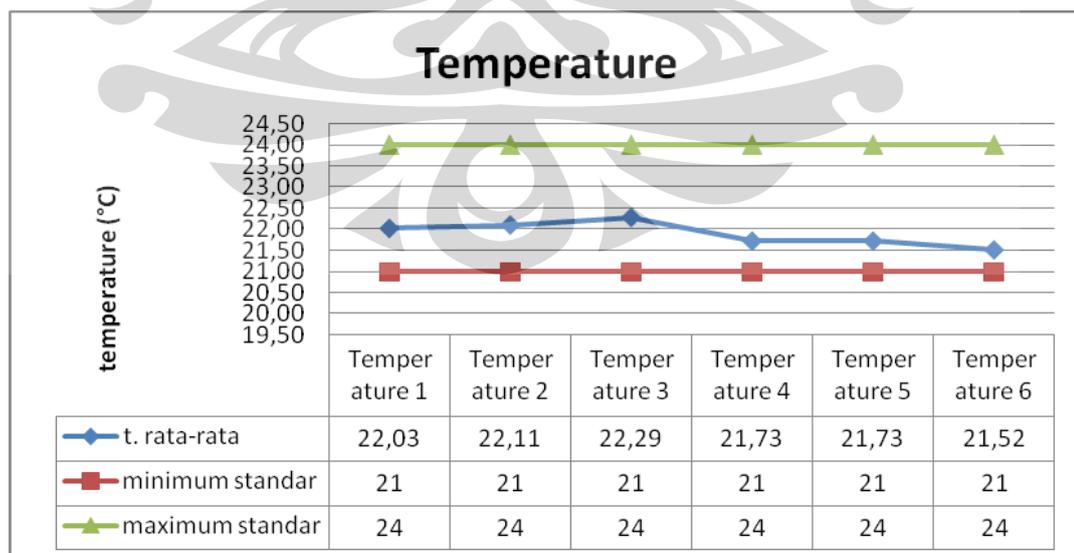


Gambar 4.6 tekanan, kecepatan udara, temperatur dan distribusi aliran udara pada percobaan keenam

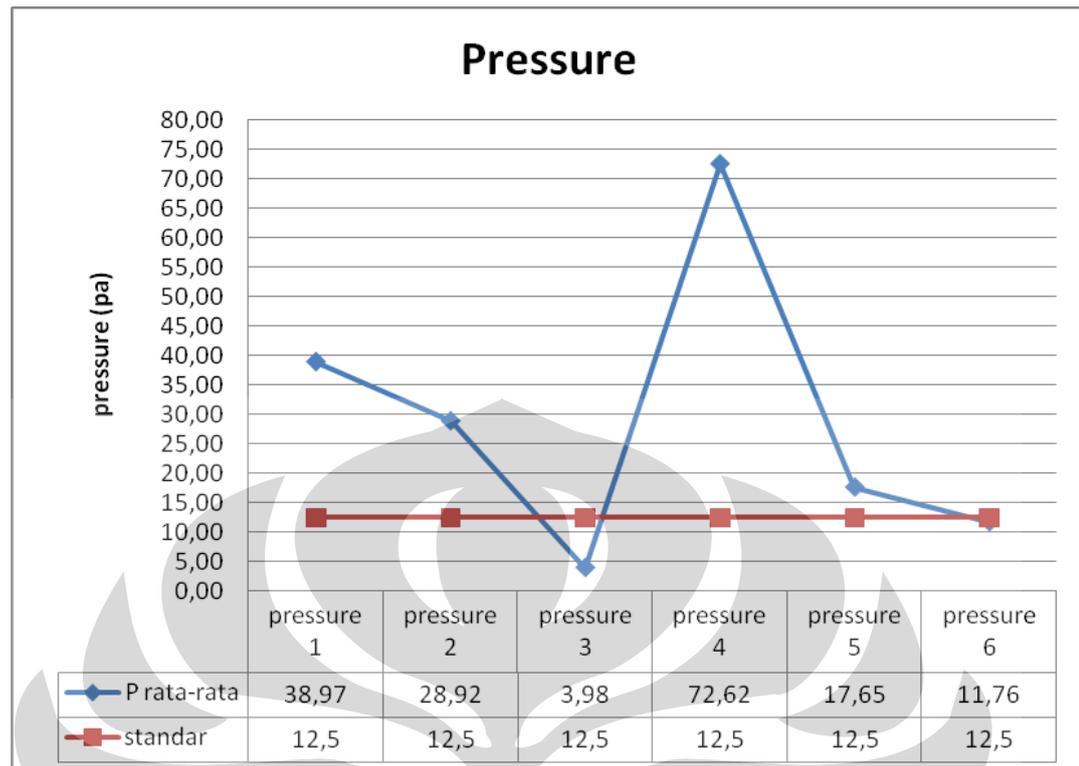
Tabel 4.6 Rata-rata tekanan, kecepatan udara, temperatur pada percobaan keenam

sumbu x	2,8	3	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,2	4,3	rata-rata
temperatur 5	20	20,1	20,3	20,4	20,9	21	22	22,3	24,2	24	21,52
pressure 5	11,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,7	11,7	11,7	11,76
velocity 5	0,302	0,245	0,2	0,196	0,301	0,219	0,301	0,205	0,57	0,134	0,27

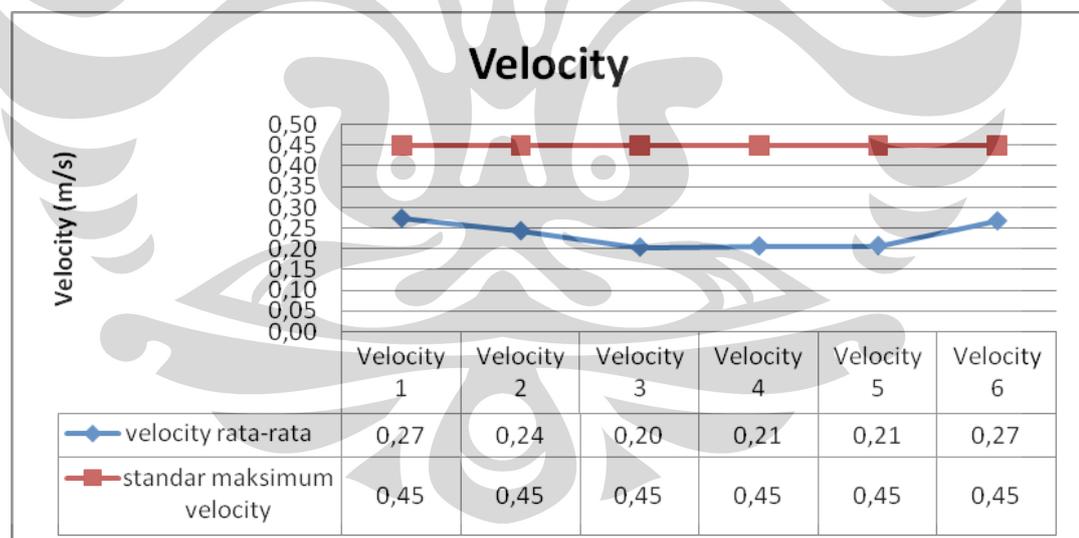
Pada percobaan keenam dengan 1 HEPA dan aliran keluar pada exhaust sebesar 10% *return air* serta jumlah exhaust hanya 4 unit, didapat aliran berbentuk “*uni directional air flow*” pada seluruh bagian-bagian pada ruangan walupun di bagian kiri akan membentuk aliran “*non uni directional air flow*” fenomena ini terjadi diakibatkan aliran keluar 10 % dan letak 2 exhaust di bawah lantai, sedangkan pada tekanan rata-rata 11,76 Pa sudah dapat dikatakan memenuhi persyaratan standar ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008.



Grafik 4.1 Temperatur



Grafik 4.2 Tekanan

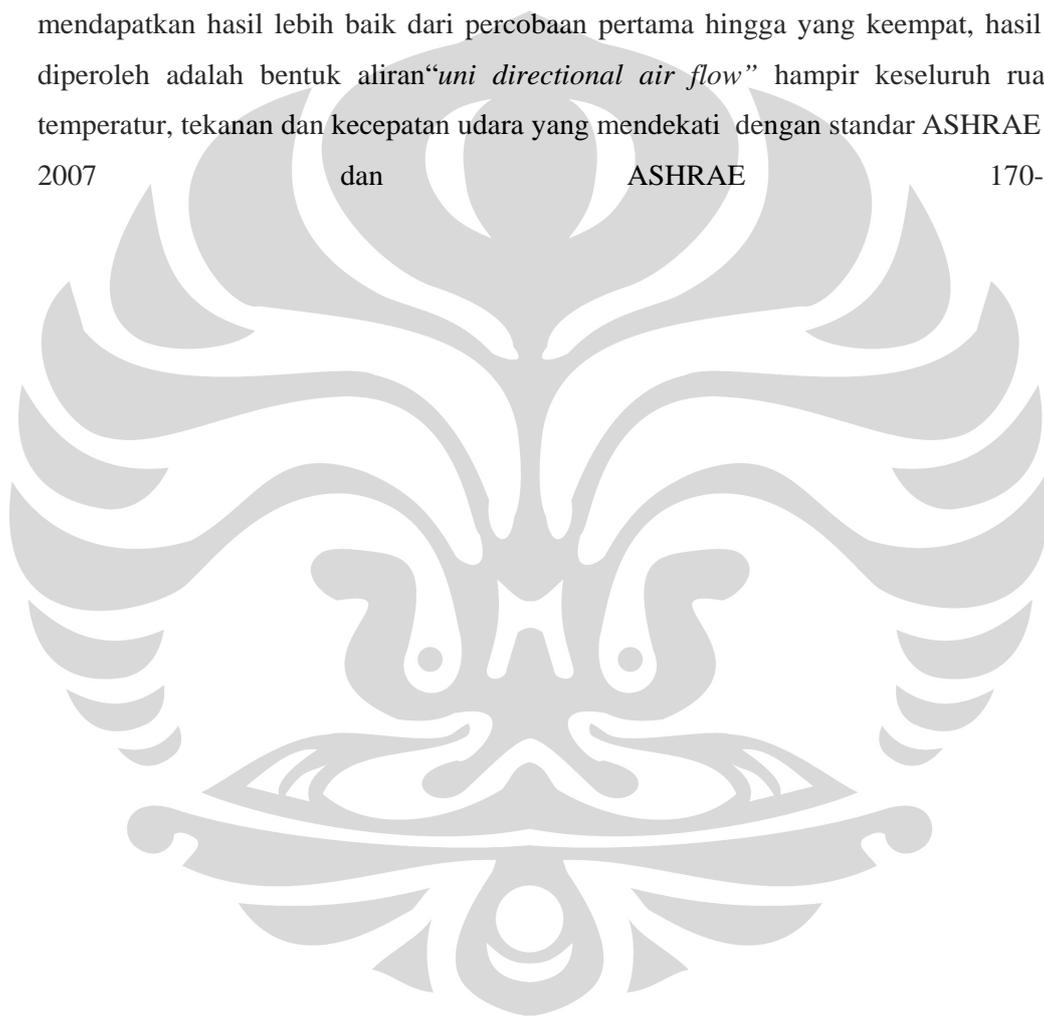


Grafik 4.3 Kecepatan udara (velocity)

Tabel 4.7. Hasil Percobaan

	Percobaan 1 Gambar 4.1	Percobaan 2 Gambar 4.2	Percobaan 3 Gambar 4.3	Percobaan 4 Gambar 4.4	Percobaan 5 Gambar 4.5	Percobaan 6 Gambar 4.6
Jumlah HEPA	2	2	2	1	1	1
Jumlah Exhaust	4	4	8	8	4	8
Return Air (persentase)	20%	10%	10%	20%	10%	10%
Hasil simulasi rata-rata (diatas pasien)						
Velocity (m/s)	0.27	0.24	0.20	0.21	0.21	0.27
Tekanan (pa)	38.97	28.92	3.98	72.62	17.65	11.76
Temperatur (°C)	22.03	22.11	22.29	21.73	21.73	21.52
Pola Aliran	non unidirectional flow	non unidirectional flow	non unidirectional flow	unidirectional flow	unidirectional flow	unidirectional flow

Berdasarkan grafik dan tabel diatas, yang mana percobaan kelima dan keenam mendapatkan hasil lebih baik dari percobaan pertama hingga yang keempat, hasil yang diperoleh adalah bentuk aliran "*uni directional air flow*" hampir keseluruhan ruangan, temperatur, tekanan dan kecepatan udara yang mendekati dengan standar ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Setelah disimulasikan dengan menggunakan FLOVENT V7 untuk data-data awal ruang operasi didapatkan aliran dan tekanan pada ruangan tersebut tidak memenuhi standar ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008.
2. Pada percobaan yang telah disimulasikan dimana ada perubahan-perubahan dari data awal yaitu : return air pada ruangan, jumlah dan tata letak HEPA serta jumlah exhaust, maka didapatkan beberapa hasil, yang mana percobaan keenam dan kelima mendapatkan hasil lebih baik dari percobaan pertama hingga yang keempat, hasil yang diperoleh adalah bentuk aliran "*uni directional air flow*" hampir keseluruhan ruangan, temperatur, tekanan dan kecepatan udara yang mendekati dengan standar ASHRAE 62.1-2007 dan ASHRAE 170-2008.
3. Dengan mempertimbangkan perubahan alat serta suplai udara seminimal mungkin maka percobaan kelima lebih baik dari percobaan keenam, dimana hanya merubah jumlah HEPA dan over pressure 10%.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan memasukan data alat yang lebih detail, tidak hanya data alat yang umum akan tetapi memasukan seluruh data sesuai dengan alat yang ada di Ruang Operasi pada Rumah Sakit .
2. Diharapkan hasil simulasi dapat disesuaikan dengan hasil yang didapat dari pengukuran langsung di lapangan / Ruang Operasi pada Rumah Sakit.
3. Untuk institusi Universitas Indonesia diharapkan dapat memberikan bekal ilmu pengetahuan dan wawasan yang lebih luas lagi kepada mahasiswa mengenai Software Flovent.

DAFTAR REFERENSI

Budihardjo. 2008, Aplikasi "FLOVENT V7" Sebagai Model Pola Distribusi Aliran Udara dan Temperatur Pada Perancangan Awal *Operating Theater*, Depok: Universitas Indonesia.

Federal Standard 209 E, 1992 : Federal Standard Airborne Particulate Cleanliness in Clean Rooms and Clean Zones.

ISO 14644-1, 1999: Cleanrooms and associated controlled environments--Part 1: Classification of air cleanliness.

DIN 1946-2, 1994-01 : Ventilation and air conditioning; technical health requirements (VDI ventilation rules).

FloVent V7, 2007 :The Mechanical Analysis Division of Mentor Graphics Corporation, United Kingdom.

ASHRAE Special Project 91. 2003, *HVAC Design manual for Hospital and Clinics*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engginers, Inc.

ASHRAE Standard. 2007, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engginers, Inc.

ASHRAE Standard. 2008, *Ventilation of Health Care Facilities*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engginers, Inc.

ASHRAE Handbook . 2007, HVAC Applications, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engginers, Inc.

Memarzadeh, F., and A.P. Manning. 2002, *Comparison of operating room ventilation system in the protection of the surgical site*, ASHRAE Transactions 108(2): 3-15

E.P. Candra. 2000, Perancangan Cleanroom Class 10.000 untuk Suatu Ruang Produksi pada Industri Semikonduktor, Depok: Universitas Indonesia.

Whyte W. 1991, *Cleanroom Design*, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Kozicki M. 1991, *Cleanrooms Facilities & Practise*, New York: Van Nostrand Reinhold

Wank, Shan K. 2001, *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, McGraw Hill

LAMPIRAN 1

Ventilation of Health Care Facilities¹

TABLE 7-1 Design Parameters

Function of Space	Pressure Relationship to Adjacent Areas (n)	Minimum Outdoor ach	Minimum Total ach	All Room Air Exhausted Directly to Outdoors (l)	Air-Recirculated by Means of Room Units (a)	RH (k), %	Design Temperature (l), °F/°C
SURGERY AND CRITICAL CARE							
Classes B and C operating rooms (m), (n), (o)	Positive	4	20	N/R	No	30-60	68-75/20-24
Operating/surgical cystoscopic rooms (m), (n) (o)	Positive	4	20	N/R	No	30-60	68-75/20-24
Delivery room (Caesarean) (m), (n), (o)	Positive	4	20	N/R	No	30-60	68-75/20-24
Substerile service area	N/R	2	6	N/R	No	N/R	N/R
Recovery room	N/R	2	6	N/R	No	30-60	70-75/21-24
Critical and intensive care	Positive	2	6	N/R	No	30-60	70-75/21-24
Wound intensive care (burn unit)	Positive	2	6	N/R	No	40-60	70-75/21-24
Newborn intensive care	Positive	2	6	N/R	No	30-60	70-75/21-24
Treatment room (p)	N/R	2	6	N/R	N/R	30-60	70-75/21-24
Trauma room (erisis or shock) (c)	Positive	3	15	N/R	No	30-60	70-75/21-24
Medical/anesthesia gas storage (r)	Negative	N/R	8	Yes	N/R	N/R	N/R
Laser eye room	Positive	3	15	N/R	No	30-60	70-75/21-24
ER waiting rooms (g)	Negative	2	12	Yes	N/R	max 65	70-75/21-24
Triage	Negative	2	12	Yes	N/R	max 60	70-75/21-24
ER decontamination	Negative	2	12	Yes	No	N/R	N/R
Radiology waiting rooms (q)	Negative	2	12	Yes	N/R	max 60	70-75/21-24
Class A Operating/Procedure room (o), (d)	Positive	3	15	N/R	No	30-60	70-75/21-24
INPATIENT NURSING							
Patient room (s)	N/R	2	6	N/R	N/R	max 60	70-75/21-24
Toilet room	Negative	N/R	10	Yes	No	N/R	N/R
Newborn nursery suite	N/R	2	6	N/R	No	30-60	72-78/22-26
Protective environment room (f), (n), (t)	Positive	2	12	N/R	No	max 60	70-75/21-24
All room (e), (n), (p)	Negative	2	12	Yes	No	max 60	70-75/21-24
All isolation anteroom (t) (u)	N/R	N/R	10	Yes	No	N/R	N/R
Labor/delivery/recovery/postpartum (LDRP) (s)	N/R	2	6	N/R	N/R	max 60	70-75/21-24
Labor/delivery/recovery (LDR) (s)	N/R	2	6	N/R	N/R	max 60	70-75/21-24

Note: N/R = no requirement

ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008

¹ ASHRAE Standard 170-2008

LAMPIRAN 2

Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality²

NORMATIVE APPENDIX E VENTILATION RATES FOR HEALTH CARE FACILITIES

TABLE E-1 Outdoor Air Requirements for Ventilation of Health Care Facilities
(Hospitals, Nursing and Convalescent Homes)^{*}

Application	Estimated Maximum Occupancy P/1000 ft ² or 100 m ²	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/ person	L/s person	cfm/ft ²	L/s · m ²	
Patient rooms	10	25	13			Special requirements or codes and pressure relationships may determine minimum ventilation rates and filter efficiency. Procedures generating contaminants may require higher rates.
Medical procedure	20	15	8			
Operating rooms	20	30	15			
Recovery and ICU	20	15	8			
Autopsy rooms	20			0.50	2.50	Air shall not be recirculated into other spaces.
Physical therapy	20	15	8			

^{*} Table E-1 prescribes supply rates of acceptable outdoor air required for acceptable indoor air quality. These values have been chosen to dilute human bioeffluents and other contaminants with an adequate margin of safety and to account for health variations among people and varied activity levels.

^{**} Net occupiable space.

² ASHRAE Standard 62.1-2007

LAMPIRAN 3

HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics³

TABLE 2
Details of Cases Considered in Study

Case	System	Diffuser Details	Volume Flow Rate, cfm (m ³ /s)	ACH	Supply Temp. to Maintain 72°F (22.2°C) °F (°C)	Supply Velocity, fpm (m/s)	Notes	Diffuser Types Used in Cases
1	Conventional	Supply and exhaust grilles: 24 in. × 14 in. (0.61 m × 0.36 m)	1500 (0.71)	18.75	67.5 (19.7)	321.43 (1.63)	Air is supplied at high level (one side), exhausted at low level (two sides)	Conventional (supply and exhaust)
2	Laminar	Entire ceiling has laminar flow supplies (20 ft × 20 ft [6.10 m × 6.10 m]); Exhausts are 14 in. × 20 ft (0.36 m × 6.10 m)	12000 (5.66)	150	71.5 (21.9)	30 (0.15)	Exhaust grilles are located at low level (two sides)	Laminar (supply) Conventional (exhaust)
3	Laminar	Array of supply grilles immediately above table (4 ft × 8 ft [1.22 m × 2.44 m])	1200 (0.57)	15	66.2 (19.0)	37.5 (0.19)	Exhaust grilles are located on one side and high and low level	Laminar (supply) Conventional (exhaust)
4	Laminar (mixed level exhausts)	Array of supply grilles immediately above table (6 ft × 8 ft [1.83 m × 2.44 m])	1600 (0.76)	20	67.6 (19.8)	33.3 (0.17)	Exhaust grilles are located on one side and high and low level	Laminar (supply) Conventional (exhaust)
5	Laminar (low level exhausts)	Array of supply grilles immediately above table (6 ft × 8 ft [1.83 m × 2.44 m])	1600 (0.76)	20	67.6 (19.8)	33.3 (0.17)	Exhaust grilles are located on one side at low level	Laminar (supply) Conventional (exhaust)
6	Laminar (high level exhausts)	Array of supply grilles immediately above table (6 ft × 8 ft [1.83 m × 2.44 m])	1600 (0.76)	20	67.6 (19.8)	33.3 (0.17)	Exhaust grilles are located on one side at high level	Laminar (supply) Conventional (exhaust)
7	Unidirectional flow with curtains	Array of supply grilles immediately above operating table (10 ft × 12 ft [3.05 m × 3.66 m]); Exhaust grilles: 24 in. × 14 in. [0.61 m × 0.36 m]	3000 (1.42)	37.25	69.7 (20.9)	25 (0.13)	Curtains on all four sides, 10 ft × 12 ft × 5 ft (3.05 m × 3.66 m × 1.52 m) high (extends to ceiling) Air is exhausted on one side at high and low levels	Laminar (supply) Conventional (exhaust)
8	Upward displacement	Displacement supply diffusers: 6 ft × 30 in. × 60 in. (0.15 m × 0.76 m × 1.52 m) Exhaust grilles: 24 in. × 14 in. (0.61 m × 0.36 m)	3000 (1.42)	37.25	69.7 (20.9)	30 (0.15)	Exhaust grilles are located on bottom of 1 ft × 1 ft × 2 ft (0.3 m × 0.3 m × 0.61 m) stubs	Upward displacement (supply) Conventional (exhaust)
9	Non-aspirating diffusers	Array of supply grilles immediately above operating table (8 ft × 8 ft [2.44 m × 2.44 m]); Exhaust grilles: 24 in. × 14 in. (0.61 m × 0.36 m)	2000 (0.94)	25	68.5 (20.3)	31.25 (0.16)	Air is exhausted at low level, 1 ft (0.3 m) from floor	Nonaspirating (supply) Conventional (exhaust)
10	Low supply/ high exhaust	Supply and exhaust grilles: 24 in. × 14 in. (0.61 m × 0.36 m)	1500 (0.71)	18.75	67.5 (19.7)	321.43 (1.63)	Air is supplied at low level (two side), exhausted at high level (two sides)	Conventional (supply and exhaust)
11	Goldman concept	U-shaped array of supply grilles immediately above operating table (6 used) Nozzles: 3 in. (7.62e-2 m) dia. Exhaust grilles: 24 in. × 14 in. (0.61 m × 0.36 m)	1520 (0.72) (1500 (0.71) through array, 20 (0.01) through nozzle)	19	67.5 (19.7)	31.25 (0.16) & 320 (1.63)	Nozzle is provided via chimney and is located 5 ft (1.52 m) above floor level Air is exhausted at low level on two sides, and a ceiling level immediately above patient	Laminar (Supply) Conventional (Exhaust)

³ ASHRAE Special Project 91