

## Aplikasi "FLOVENT V7" Sebagai Model Pola Distribusi Aliran Udara dan Temperatur Pada Perancangan Awal *Operating Theater*

**Budihardjo**

Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara  
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru Universitas Indonesia Depok 16424  
Email : [budihardjo@eng.ui.ac.id](mailto:budihardjo@eng.ui.ac.id)

### **Abstrak**

*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 sesuai dengan standar 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 volumetrik 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 supply, laju alir udara dan tekanan udara didalam operating theater yang disesuaikan dengan kondisi fisik ruangan merupakan persyaratan awal untuk memenuhi kondisi nyaman thermal didalam ruang operasi.*

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

*Analisis model dan unjuk kerja thermal pada salah satu operating theater yang ada di Indonesia akan dibahas secara rinci dalam makalah ini.*

*Kata Kunci : Flovent, Ventilasi, Operating Theater, Visualisasi Model, laminar flow, clean room*

### **1. Pendahuluan**

Bila ditinjau dari segi tingkat risiko terjadinya penularan penyakit, ruang operasi (*operation room*) pada fasilitas pelayanan kesehatan (rumah sakit) termasuk dalam zona dengan resiko sangat tinggi. Penataan dan konstruksi ruang operasi telah ditetapkan dan diberlakukan sebagai upaya untuk peningkatan efisiensi pengelolaan kesehatan lingkungan rumah sakit. Spesifikasi teknis berikut persyaratan umum lainnya seperti sistem tata udara, ventilasi serta kualitas udara secara umum telah ditetapkan namun dalam tahap implementasi masih perlu dilengkapi dengan perancangan khusus yang terkait dengan sistem ruang bersih (*clean room*) atau ruang operasi.

Fungsi sistem tata udara pada ruang bersih adalah : mempertahankan keseragaman suhu, kelembaban relatif, dan penyaringan udara untuk meminimalkan debu atau partikel yang terbawa aliran udara masuk kedalam ruang. Partikel-partikel yang terbawa udara masuk kedalam sistem tata udara adalah *viable particle*, yang berpengaruh pada kesehatan manusia seperti alergi dan infeksi jamur. Yang termasuk kelompok *viable particle* antara lain ; bakteri, jamur, spora, serbuk sari dari tanaman. Sumber-sumber partikel yang berasal dari udara luar yang masuk kedalam ruang bersih dapat terjadi melalui ; sistem tata udara, infiltrasi pintu/jendela, penetrasi melalui dinding pipa atau dinding cerobong udara. Pengendalian terhadap *viable particle* ini dapat dilakukan dengan sistem penyaringan /filter udara, tekanan udara ruang dibuat positif dan isolasi terhadap semua semua laluan penetrasi. Sedangkan sumber-sumber partikel yang berasal dari dalam ruang bersih itu sendiri adalah dari orang yang keluar melalui kulit, pernafasan, rambut dan kosmetik. Pengendalian terhadap partikel/debu yang terkontaminasi, pengendalian pola aliran udara merupakan inti dari pembuatan ruang bersih. Unjuk kerja ruang bersih sangat tergantung pada kualitas dan penyebaran dari konsentrasi partikel, suhu, kelembaban relatif, pola aliran udara dan konstruksinya.

Kebutuhan akan sistem tata udara dan ventilasi pada ruang bersih yang memenuhi persyaratan medis dan teknis menjadi salah satu faktor utama dalam upaya peningkatan pelayanan kesehatan kepada masyarakat.

## 2. Operating Theater

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 (*clean room*) sesuai dengan standard yang telah ditetapkan dan dipublikasikan antara lain oleh US Federal Standard 209E (di batalkan pada November 29, 2001), BS 5295 dan ISO 14644 Part 1 yang dapat didefinisikan sebagai ruang tertutup dimana konsentrasi partikel dalam udara dikendalikan sampai batas tertentu.

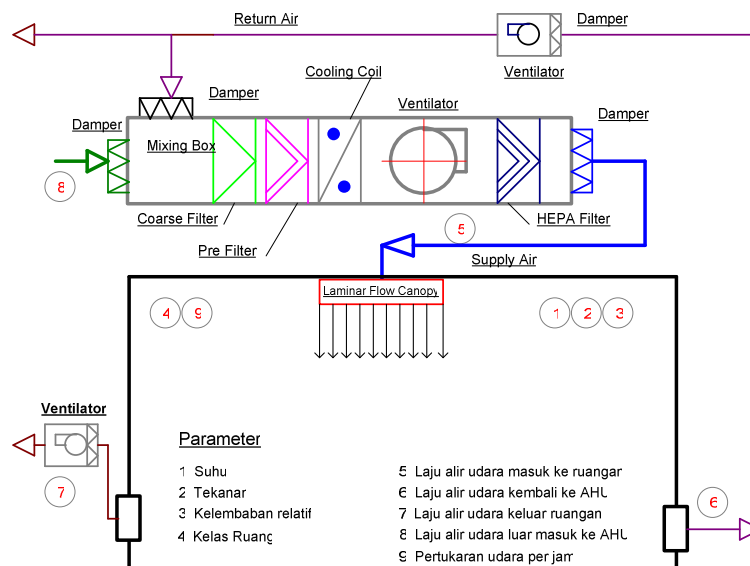
## 3. Ventilasi

Pada bangunan fasilitas pelayanan kesehatan, khususnya untuk kebutuhan udara segar ruang bersih atau kamar bedah (*operating theater*), digunakan sistem ventilasi 100% udara luar.

Seperti diketahui, bahwa sistem tata udara berperan sebagai salah satu kontribusi dalam penyebaran mikroorganisme ke dalam ruang melalui berbagai mekanisme. Oleh karena itulah pada sistem distribusi tata udara untuk fasilitas pelayanan kesehatan khususnya *clean room* harus dilengkapi dengan seperangkat filter udara dengan tingkat efisiensi mulai dari 30 % , 90 % dan 99,7 % (HEPA).

Gerak udara didalam ruang operasi sangat dianjurkan mengalir dari pusat sumber udara masuk (*laminar flow canopy*) kearah bawah menuju meja operasi dan kemudian bergerak menuju *return air grille* dan pintu masuk. Sangat diharapkan tidak ada pertukaran udara didalam ruang operasi dengan ruang disekelilingnya. Fungsi dari pertukaran udara per satuan waktu adalah untuk; mengendalikan suhu dan kelembaban udara ruangan, membantu mengeluarkan gas-gas anastesi yang terlarut dalam udara, melarutkan kontaminasi sejumlah bakteri dalam udara serta mengendalikan pergerakan udara dalam zona mini, mikro environment dan zona steril.

Rekomendasi umum agar sistem ventilasi dapat berfungsi sesuai rancangan atau standar yang ditentukan antara lain : jumlah pertukaran udara per jam antara 20 ÷ 30 kali, sirkulasi udara dalam ruang sebesar 80 % dari debit udara masuk, menggunakan filter dengan efisiensi 90% dan 99,7 % yang dapat menyaring partikel berukuran lebih dari 0.5 mikron, tekanan udara positif dalam ruang operasi (5 cm H<sub>2</sub>O), kelembaban udara dipertahankan antara 40 % ÷ 60 % dan pengendalian suhu udara dalam ruang antara 20 °C ÷ 24 °C.



Gambar 1. Sistem Distribusi Udara tipikal Operating Theater

## 4. Model Aliran Udara

*Flovent* adalah *software* 3D yang menggunakan metoda model matematik berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)* , dikembangkan oleh *The Mechanical Analysis Division of Mentor Graphics Corporation* dari *United Kingdom* (dulu dikenal dengan nama *Flomerics*).

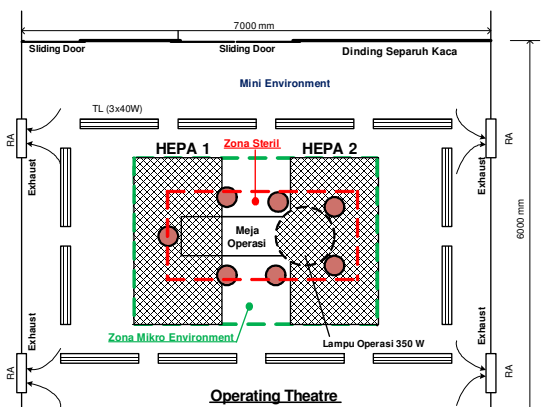
Software ini banyak digunakan sebagai alat bantu simulasi dalam bidang *engineering design processes* termasuk masalah perpindahan kalor dan aliran fluida.

Dalam bidang sistem tata udara dan ventilasi, *Flovent* dapat dimanfaatkan antara lain untuk optimalisasi distribusi suhu dan pengendalian kontaminasi baik didalam maupun diluar gedung/bangunan. Model aliran udara yang dihasilkan sangat membantu perencana sistem tata udara dalam : memprediksi unjuk kerja ruang bersih sebelum pelaksanaan konstruksi, mengetahui akibat perubahan denah ruangan, serta menentukan pertukaran udara yang sesuai.

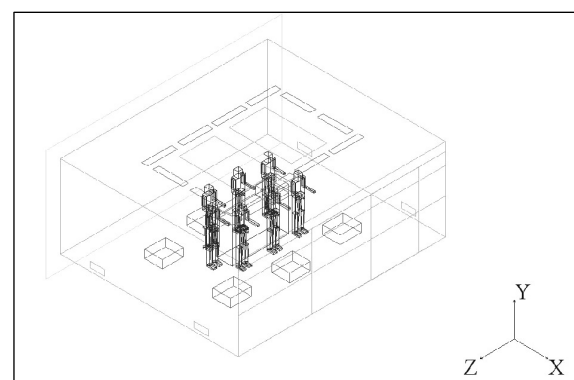
## 5. Studi Kasus

Dengan bantuan *software Flovent V7*, akan diprediksi perilaku suhu dan kecepatan udara didalam kamar bedah salah satu Rumah Sakit di Jakarta yang memiliki data-data sebagai berikut : (Gambar 2. dan 3.)

- *Zona Micro Environment*, yang didefinisikan sebagai bagian dari kamar bedah tempat terjadi kesibukan dimana tim bedah mengelilingi meja operasi pasien dan lampu operasi berada diatas pasien, :  
Dimensi meja operasi (PxLxT) : 1,9 m x 0,5 m x 1,2 m  
Jumlah personel :  
Dokter : 3 orang  
Penata Anastesi : 1 orang  
Instrument (perawat) : 1 orang  
Pembantu instrument : 2 orang  
Pasien : 1 orang  
Peralatan Lampu Operasi : 350 W
- *Zona Mini Environment*, yaitu ruang tempat terjadinya kegiatan operasi atau ruang/daerah yang menyelubungi *Zona Micro Environment*.  
Dimensi kamar bedah (PxLxT): 7,0 m x 6,0 m x 2,8 m  
Lampu Penerangan : 1.440 W  
Peralatan elektronik : 600 W
- *Zona Steril*, adalah zona penghubung antara mini environment dengan *micro environment* atau zona dibawah *Laminar Flow Canopy*.  
Dimensi Zona Steril : P = 3,1 m ; L = 2,1 m  
Dimensi Laminar Flow Canopy : P = 2,1 m ; L = 1,2 m



Gambar 2. Denah Ruang Bedah



Gambar 3. Visualisasi Model

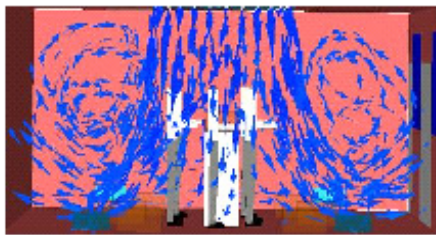
## 6. Analisis Simulasi

Data-data awal yang digunakan diperoleh dari kondisi aktual kamar bedah rumah sakit dengan asumsi yang diambil adalah bahwa pola distribusi aliran udara keluar dari *laminar flow canopy* berbentuk *uni directional air flow* dan suhu udara merata didalam kamar. Suplai udara masuk kedalam laminar flow canopy dirancang 3.000 m<sup>3</sup>/h, pada suhu konstan 20 °C.

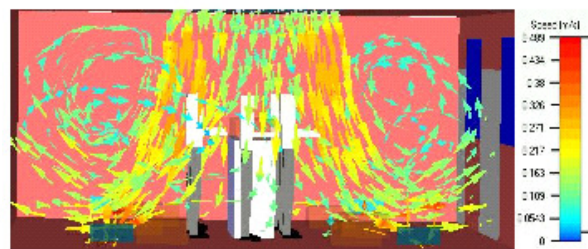
Kelembaban relatif udara dianggap konstan 55 % dan tekanan udara didalam kamar bedah diasumsikan konstan 2,5 cm H<sub>2</sub>O. Daya lampu penerangan divariasi antara 80 Watt dan 120 Watt.

Dari data-data tersebut diperoleh simulasi pola kecepatan aliran dan suhu udara seperti pada Gambar 4a dan 4b serta Gambar 5a dan 5b.

1. Dengan suplai udara segar pada suhu 20 °C dan debit 3.000 m<sup>3</sup>/h , serta pada daya penerangan 80 W, pola distribusi aliran udara keluar Laminar Flow Canopy (LFC) terlihat berbentuk “*non uni directional 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 0,20 ÷ 0,22 m/s dan mendekati meja operasi mencapai 0,15 m/s. Suhu udara keluar LFC terlihat konstan 20 °C dan merata didaerah zona steril dan mini environment.

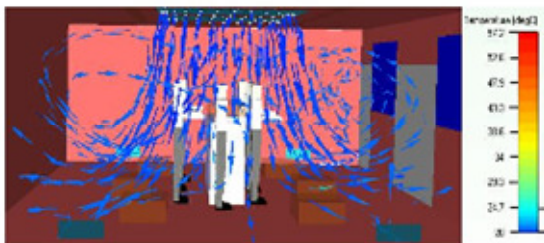


Gambar 4a. Distribusi Suhu Simulasi I

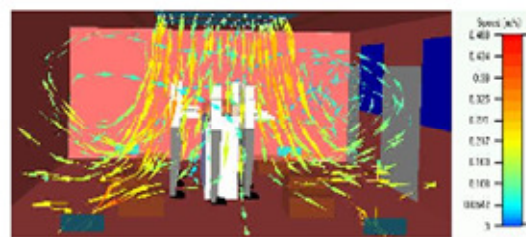


Gambar 4b. Distribusi Kecepatan Udara Simulasi I

2. Gejala yang sama terlihat pada daya penerangan kamar bedah dirubah menjadi 120W. Namun kecepatan udara keluar LFC berkisar antara 0,22 ÷ 0,25 m/s dan mendekati meja operasi menjadi 0,17 m/s. Distribusi suhu udara terlihat sama dengan kasus pertama.



Gambar 5a. Distribusi Suhu Simulasi II



Gambar 5b. Distribusi Kecepatan Udara Simulasi II

3. Pada percobaan dengan debit udara suplai lebih rendah dari 3.000 m<sup>3</sup>/h tidak diperoleh hasil yang memuaskan dan tidak terjadi konvergensi.

## 7. Kesimpulan

1. Tidak diperolehnya aliran udara unidirectional flow keluar LFC dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain; penempatan LFC yang berjarak satu dengan lainnya, rendahnya suhu udara keluar LFC, serta penempatan lokasi dan dimensi return air grille yang kurang memadai sehingga udara terlihat tidak seluruhnya dapat keluar ruangan.
2. Pertukaran udara dalam kamar bedah sebesar 25 kali ternyata belum optimal sehingga tidak tercapainya pola distribusi aliran udara yang diinginkan.
3. Dalam aplikasi perancangan dan simulasi *operating theater*, perlu dilakukan simulasi lanjutan dengan memperhitungkan letak dan susunan LFC, pertukaran udara yang lebih besar serta suhu udara suplai yang bervariasi.

## Daftar Acuan

- Departemen Kesehatan RI: Keputusan Menteri Kesehatan RI No: 1204/Menkes/SK/X/2004  
Tanggal : 19 Oktober 2004 :PERSYARATAN KESEHATAN LINGKUNGAN  
RUMAH SAKIT
- 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.*
- British Standard 5295,1989: Environmental cleanliness in enclosed spaces. General introduction, terms and definitions for clean rooms and clean air devices.*
- DIN 1946-2, 1994-01 : Ventilation and air conditioning; technical health requirements (VDI ventilation rules).*
- DIN 1946-4, 1999-03 : Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in hospitals (VDI Ventilation rules).*
- ASHRAE HANDBOOK, 2007 : HVAC Applications*
- FloVent V7, 2007 :The Mechanical Analysis Division of Mentor Graphics Corporation, United Kingdom.*