



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI DAN MODELLING ALIRAN UDARA
MENGUNAKAN CFD PADA LANTAI SATU MASJID
AT-TAUHID ARIEF RAHMAN HAKIM UI SALEMBA**

SKRIPSI

**RAHMAT AGUNG SANJAYA
04 04 08 02 69**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
GANJIL 2008/2009
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI DAN MODELLING ALIRAN UDARA
MENGUNAKAN CFD PADA LANTAI SATU MASJID
AT-TAUHID ARIEF RAHMAN HAKIM UI SALEMBA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RAHMAT AGUNG SANJAYA

04 04 08 02 69

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
GANJIL 2008/2009
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

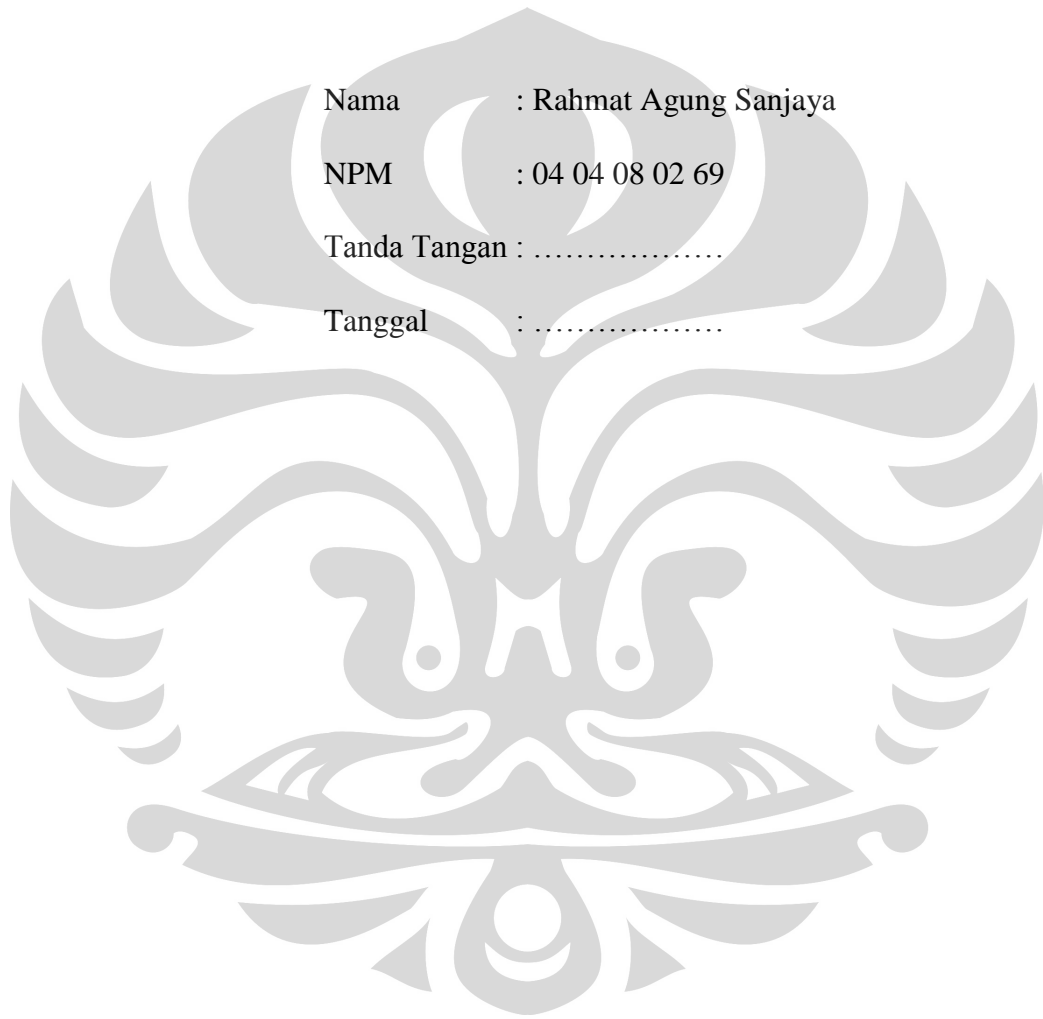
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Rahmat Agung Sanjaya

NPM : 04 04 08 02 69

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rahmat Agung Sanjaya
NPM : 04 04 08 02 69
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Simulasi Dan Modelling Aliran Udara
Menggunakan CFD Pada Lantai Satu Masjid At-
Tauhid Arief Rahman Hakim UI Salemba

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : ()
Pembimbing : ()
Penguji : ()
Penguji : ()
Penguji : ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, 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 Program Studi Teknik Perkapalan Departemen 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. Ahmad Indra Siswantara dan Ir. Rusdy Malin, MME. 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;
3. Rekan skripsi (Suhendra), dan teman-teman dari Teknik Mesin-Perkapalan 2004 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
4. Mas Udiyono dan segenap staff karyawan Departemen Teknik Mesin;
5. Mas Apri dan Mas Herman sebagai staff proyek Masjid At-tauhid ARH;
6. Fitri Amalia sebagai kekasih yang telah memberikan banyak dukungan dan menjadi motivasi saya untuk segera 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, 20 Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rahmat Agung Sanjaya

NPM : 04 04 08 02 69

Program Studi : Teknik Perkapalan

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

SIMULASI DAN MODELLING ALIRAN UDARA MENGGUNAKAN CFD
PADA LANTAI SATU MASJID AT-TAUHID ARIEF RAHMAN HAKIM UI
SALEMBA

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 20 Desember 2008

Yang menyatakan

(Rahmat Agung Sanjaya)

ABSTRAK

Nama : Rahmat Agung Sanjaya
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Simulasi Dan Modelling Aliran Udara Menggunakan CFD Pada Lantai Satu Masjid At-Tauhid Arief Rahman Hakim UI Salemba

Bangunan yang baik, bukanlah bangunan yang sekedar indah, namun juga harus memperhatikan aspek kenyamanan secara termis, visual dan akustik. Dalam hal ini masjid sebagai ruang ibadah juga harus mempertimbangkan aspek kenyamanan tersebut dalam pembangunannya.

Pada pengerjaan skripsi kali ini bertujuan untuk melakukan modeling dan simulasi numerik serta menganalisis distribusi udara dan temperatur untuk mengetahui karakteristik visualisasi pada ruangan ibadah menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics), dalam hal ini menggunakan program flovent. Dan objek yang dipilih dalam penelitian ini berlokasi di majid At-tauhid Arief Rahman Hakim UI salemba.

Simulasi pada program akan divalidasikan dengan keadaan aktual pada hasil pengukuran. Dari analisa yang dilakukan dengan menggunakan program CFD dan pengukuran data dilapangan serta kuesioner, disimpulkan bahwa temperatur ruang ibadah tersebut diatas temperatur standar acuan kenyamanan, tetapi secara keseluruhan ruang ibadah tersebut dinilai baik (memberikan sensasi sejuk dan netral) berdasarkan kuesioner yang dilakukan, ini terjadi karena angin yang masuk atau diberikan melalui bukaan-bukaan dan kipas angin yang ada di ruangan tersebut.

Kata kunci : Ruang ibadah, distribusi aliran udara dan temperatur, kenyamanan termis, CFD

ABSTRACT

Name : Rahmat Agung Sanjaya
Study Program : Teknik Perkapalan
Title : Simulation and Modelling Air Flow at First Floor
Mosque At-Tauhid Arifrahman with CFD

The good building, is not only luxurious, but also have to pay attention and most important comfortable aspect by thermal, visual and acoustic in process build-up. In this Case mosque as prayer room have to consider the comfortable aspect in its development.

This research studied analysis is using simulation and modeling of numeric analysis air distribution and temperature to get information about of characteristic visualization thermal condition inside the prayer room with CFD (Computational Fluid Dynamics), in this case using FLOVENT. And as a research object chosen the At-Tauhid Arief Rahman Hakim mosque located in UI Salemba to collect for CFD model simulation.

This program will be used to modeling and simulate thermal condition inside the prayer room and the result will be compared with the actual research for validation, before being compared with the comfort room standard. As the result, this research studied of thermal condition inside the prayer room by using program CFD, measurement of field data and questionnaire will be concluded that air temperature at inside the prayer room above thermal comfort reference standard temperature, but as a whole the prayer room assessed goodness (giving neutral and cool sensation) according to questionnaire, because wind which enter or given to ventilation natural and mechanical exist in the prayer room.

Key words : mosque, distribution airflow and temperature, thermal comfort, CFD

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|------------------------------------|----------|
| JUDUL | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| UCAPAN TERIMA KASIH | iv |
| HALAM PERSETUJUAN PUBLIKASI | v |
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 LATAR BELAKANG | 1 |
| 1.2 PERUMUSAN MASALAH | 2 |
| 1.3 TUJUAN PENELITIAN | 2 |
| 1.4 PEMBATAAN PENELITIAN | 3 |
| 1.5 METODE PENELITIAN | 3 |
| 1.6 SISTEMATIKA PENELITIAN | 4 |
| BAB 2 LANDASAN TEORI | 6 |
| 2.1 ALIRAN UDARA | 6 |
| 2.1.1 Penjelasan Umum | 6 |
| 2.1.2 Mekanisme Aliran Udara | 7 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.2 | VENTILASI | 9 |
| 2.2.1 | Penjelasan Umum | 9 |
| 2.2.2 | Jenis-jenis Ventilasi | 10 |
| 2.3 | PERPINDAHAN PANAS (HEAT TRANSFER) | 13 |
| 2.4 | KENYAMANAN TERMIS (THERMAL COMFORT) ... | 16 |
| 2.4.1 | Penjelasan Umum | 16 |
| 2.4.2 | Faktor-faktor Yang Berpengaruh Terhadap Kenyamanan Termis | 17 |
| 2.4.3 | Pengukuran Tingkat Kenyamanan Termis | 18 |
| 2.4.4 | Permasalahan Kenyamanan termis | 20 |
| 2.4.5 | Acuan Kenyamanan Termis | 22 |
| 2.5 | COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) | 23 |
| 2.5.1 | Penjelasan Umum | 23 |
| 2.5.2 | Komponen Utama CFD | 24 |
| 2.5.3 | Program yang digunakan dalam CFD | 26 |
| 2.6 | STATISTIK | 27 |
| BAB 3 | METODOLOGI PENELITIAN, PENGAMBILAN DATA, PEMODELAN DAN SIMULASI | 31 |
| 3.1 | METODOLOGI PENELITIAN | 31 |
| 3.1.1 | Pendahuluan | 31 |
| 3.1.2 | Objek, Tempat dan Waktu Penelitian | 32 |
| 3.1.3 | Peralatan dan Alat Ukur | 32 |
| 3.1.4 | Alur Kerangka Penelitian | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2 | PENGAMBILAN DATA | 33 |
| 3.2.1 | Data Bangunan | 33 |
| 3.2.2 | Data Kuesioner | 35 |
| 3.3 | PEMODELAN | 36 |
| 3.3.1 | Cara dan Hasil Pengukuran | 37 |
| 3.2.2 | Hasil Pengukuran | 38 |
| 3.4 | SIMULASI | 42 |
| 3.4.1 | Pembuatan Simulasi pada FLOVENT | 43 |
| 3.4.2 | Validasi Model Simulasi | 46 |
| BAB 4 | HASIL DAN ANALISA PENELITIAN | 49 |
| 4.1 | HASIL PENGUKURAN | 49 |
| 4.1.1 | Hasil Pengukuran Eksperimen | 49 |
| 4.1.2 | Hasil Simulasi CFD | 53 |
| 4.1.3 | Hasil Kuesioner | 59 |
| 4.2 | ANALISA HASIL PENGUKURAN DAN SIMULASI .. | 60 |
| 4.3 | ANALISA HASIL KUESIONER | 63 |
| 4.4 | BEBAN PENDINGINAN YANG DIBUTUHKAN | 64 |
| BAB 5 | KEIMPULAN DAN SARAN | 65 |
| 5.1 | KESIMPULAN | 65 |
| 5.2 | SARAN | 67 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 68 |
| | LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Aliran udara karena faktor angin | 7 |
| Gambar 2.2 Aliran udara karena faktor suhu | 8 |
| Gambar 2.3 Aliran udara karena bentuk bangunan | 8 |
| Gambar 2.4 Aliran udara karena peralatan mekanik yang digunakan | 9 |
| Gambar 2.5 Contoh proses perpindahan panas konduktif | 13 |
| Gambar 2.6 Contoh proses perpindahan panas konvektif | 14 |
| Gambar 2.7 Contoh proses perpindahan panas radiatif | 15 |
| Gambar 2.8 Contoh proses Absorpsi | 15 |
| Gambar 2.9 Grafik hubungan PMV dan PPD | 19 |
| Gambar 2.10 Proses simulasi dan visualisasi pada FLOVENT | 27 |
| Gambar 2.11 Skema umum dalam melakukan estimasi mean populasi | 29 |
| Gambar 3.1 Skema alur kerangka penelitian | 33 |
| Gambar 3.2 Data bangunan yang diberikan dalam program Sketcup 5 | 34 |
| Gambar 3.3 Data bangunan lantai dua kondisi aktual pada AutoCAD | 34 |
| Gambar 3.4 Form kuesioner | 35 |
| Gambar 3.5 Lokasi titik-titik pengukuran | 36 |
| Gambar 3.6 Skema alur pemodelan | 36 |
| Gambar 3.7 Skema proses (a) pembuatan geometri dan simulasi (b) pada FLOVENT | 42 |
| Gambar 4.1 Grafik data distribusi kecepatan udara pada setiap lokasi pengukuran | 45 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.2 | Grafik distribusi temperature Udara | 47 |
| Gambar 4.3 | Grafik data distribusi kelembaban udara | 48 |
| Gambar 4.4 | Grafik-grafik data distribusi temperature dan kelembaban pada setiap titik-titik lokasi pengukuran | 50 |
| Gambar 4.5 | Gambar pada bidang, distribusi temperatur pada setiap titik-titik lokasi pengukuran yang untuk divalidkan dengan data pengukuran | 54 |
| Gambar 4.6 | Distribusi dan vektor kecepatan temperature secara horizontal (pada bidang Y dengan ketinggian 1,7 m) | 55 |
| Gambar 4.7 | Gambar distribusi dan vektor kecepatan temperatur secara vertikal (pada bidang X dan Z) pada lokasi-lokasi pengukuran | 54 |
| Gambar 4.8 | Gambar PMV pada bidang $Y = 1,7m$ | 58 |
| Gambar 4.9 | Gambar PMV dan PPD pada bidang $Y = 1,7 m$ | 56 |
| Gambar 4.10 | Grafik hasil kuesioner pada hari Jumat, tanggal 5 Desember 2008 Keadaan cuacanya cerah | 59 |
| Gambar 4.11 | Grafik hasil kuesioner pada Jumat, tanggal 19 Desember 2008 Keadaan Cuaca berawan (pagi s.d siang) ; Sore hujan ringan | 60 |
| Gambar 4.12 | Nilai ukur dan simulai serta error temperature udara | 61 |
| Gambar 4.13 | Beban pendinginan yang dibutuhkan | 67 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Skala PMV | 19 |
| Tabel 3.1 | Distribusi sensasi termis dari seluruh responden | 34 |
| Tabel 3.2 | Data Laju kecepatan udara dan temperature (dari anemometer) | 37 |
| Tabel 3.3 | Data laju kelembaban udara dan temperatur (dari Hygrometer) | 38 |
| Tabel 4.1 | Data distribusi kecepatan udara | 44 |
| Tabel 4.2 | Data distribusi Temperatur Udara | 46 |
| Tabel 4.3 | Data distribusi Kelembaban Udara | 47 |
| Tabel 4.4 | Nilai ukur dan simulai serta error temperatur udara | 61 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Bangunan yang baik, bukanlah bangunan yang sekedar indah, namun juga harus memperhatikan aspek kenyamanan. Dalam hal ini masjid sebagai ruang ibadah juga mempertimbangkan kenyamanan dalam pembangunannya. Unsur kenyamanan meliputi kenyamanan termis, kelembaban, akustik, penerangan dan visual termasuk kualitas udara dalam ruangan yang dipengaruhi oleh semua elemen yang berada dalam ruangan itu sendiri, termasuk perilaku pengguna ruangan dan system ventilasi serta sirkulasi udara, dikenal paling sedikit 4 macam kenyamanan : kenyamanan ruang, penglihatan, pendengaran, dan termis.

Untuk memenuhi segala jenis kenyamanan tersebut, ventilasi pada bangunan mempunyai peran yang sangat penting dalam mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara dan suhu sehingga kondisi kenyamanan termal yang dibutuhkan pada suatu ruangan dapat terpenuhi.

Dengan adanya system ventilasi akan terjadi pertukaran udara di dalam dan luar ruangan dengan baik sehingga panas dalam ruangan dapat diminimalisir. Pada ventilasi alami pertukaran udara terjadi jika ada perbedaan tekanan melalui bukaan bangunan dan angin. Luas bukaan ventilasi sangat mempengaruhi pola aliran dan distribusi udara dalam ruang yang dapat menentukan besarnya distribusi suhu dan udara dalam ruang. Untuk memperoleh luas bukaan ventilasi (alamiah) yang menghasilkan distribusi suhu dan udara dalam ruang yang ideal, diperlukan analisis sifat dan pola aliran serta distribusi udara dalam ruang ibadah.

Untuk pemecahan analisis aliran udara dan perpindahan kalor dalam ruangan dapat dilakukan dengan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Metode CFD menggunakan analisis numeric yaitu control volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan yang terdiri atas persamaan keseimbangan massa, momentum dan energy, sehingga penyelesaian persamaan untuk benda 2 (dua) atau 3 (tiga) dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan / bersamaan. Dalam hal ini software yang digunakan dalam CFD untuk menyelesaikan

permasalahan aliran udara dan perpindahan kalor pada ruangan ialah program Flovent.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dari beberapa hal yang melatar belakangi permasalahan tersebut diatas, maka penulis ingin melakukan penelitian terhadap berbagai faktor-faktor sebagai parameter kondisi kenyamanan termal pada bangunan masjid, khususnya ventilasi alami sebagai usaha mengkondisikan udara dalam bangunan masjid yang menjadi objek penelitian. Penelitian ini dilaksanakan melalui permodelan dengan simulasi computer dengan menggunakan software yang berbasis CFD (Computational Fluid Dynamics) untuk mempelajari distribusi aliran udara dan temperature serta kenyamanan termis pada ruangan.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Melakukan modeling dan simulasi serta menganalisis distribusi udara dan temperature untuk mengetahui karakteristik visualisasi pada ruangan (masalah kenyamanan dari segi termal dalam ruangan) ibadah menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics) dalam hal ini menggunakan program flovent.

1.4 PEMBATASAN PENELITIAN

Melakukan simulasi dan modeling distribusi udara dan temperature, dengan objek yang menjadi penelitian adalah Masjid At-tauhid Arif Rachman UI Salemba. Berdasarkan keadaan aktual dan pengambilan data pada tanggal 22 November 2008 sebagai input data program CFD. Dan untuk mendukung pernyataan atau hasil dari analisis penelitian ini serta ingin mengetahui bagaimana pendapat orang terhadap kondisi thermal yang dirasakan dilakukan kuesioner terhadap orang yang melakukan aktivitas pada ruangan tersebut pada hari Jumat tanggal 5 Desember 2008 dan hari Jumat tanggal 19 Desember 2008.

Penelitian ini penulis lakukan bersama dengan seorang mahasiswa rekan skripsi, sehingga dengan demikian terdapat beberapa kesamaan dalam laporan skripsi yang diajukan ini. Pembahasan hasil simulasi program CFD akan dititik beratkan pada distribusi kecepatan aliran udara, pola aliran udara, dan distribusi temperature udara didalam ruangan pada lantai 1 (satu).

1.5 METODE PENELITIAN

Metode sumber dan pengumpulan data serta informasi :

1. Sumber data dan informasi : Data dan informasi primer diperoleh dari staff pembangunan Masjid At-tauhid Arifrachman.
2. Pengumpulan data dan informasi yang dilakukan antara lain berasal dari : pengamatan (observasi), wawancara, kuesioner, tinjauan kepustakaan yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas pada penulisan skripsi dengan membaca buku-buku, diktat, jurnal, dan literatur lainnya baik yang ada diperpustakaan maupun mencarinya melalui internet.
3. Pengambilan data dibagi menjadi dua yaitu: pengambilan data penelitian dan pengambilan data untuk masukkan data pada program CFD (*Computational Fluids Dynamic*).
4. Simulasi Numerik, simulasi dilakukan dengan menggunakan program *Flovent* sebagai perangkat lunak CFD (*Computational Fluids Dynamic*).

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini adalah berdasarkan isi dari setiap bab yang terdapat pada skripsi ini , yaitu :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan yang digunakan.

BAB II : Landasan Teori

Bab ini menjelaskan secara umum mengenai aliran udara, mekanisme aliran udara ventilasi, jenis-jenis ventilasi kenyamanan, pengukuran tingkat kenyamanan termis, perpindahan panas (heat transfer) penjelasan mengenai CFD (Computational Fluid Dynamics)-Flovent beserta komponen utama CFD.

BAB III : Pengukuran, modelling dan Simulasi

Bab ini memuat bagaimana penelitian ini dilakukan, proses pengambilan data di lapangan, dan proses simulasi sebagai validasi dari hasil pengukuran di lapangan.

BAB IV : Hasil dan Analisa

Bab ini memuat hasil-hasil dari pengambilan data aktual, proses komputasi CFD dan analisa dari hasil data aktual di bandingkan dengan standar kenyamanan dengan validasi data menggunakan hasil simulasi CFD.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Bab ini memuat kesimpulan yang diambil dari pembahasan sehingga pada akhirnya dapat dikemukakan saran-saran penulis.

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



UNIVERSITAS INDONESIA

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 ALIRAN UDARA

2.1.1 Penjelasan Umum

Udara merupakan elemen yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Tanpa ada udara manusia tidak dapat bertahan hidup. Ventilasi (Ventus, wind, angin) adalah aliran udara, baik di ruang terbuka maupun tertutup (di dalam ruangan), maka dengan adanya ventilasi di dalam ruangan akan memudahkan pergerakan udara dari luar ruang masuk ke dalam ruangan atau sebaliknya, sehingga ada pergantian udara, disamping itu ventilasi juga dapat mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara dan suhu sehingga kondisi kenyamanan termal yang dibutuhkan dapat terpenuhi.

Sistem ventilasi adalah masalah pergerakan udara dimana udara dalam ruangan selalu mengalir sehingga udara yang buruk selalu berganti dengan udara yang bersih. Dengan udara yang selalu bergerak diharapkan kondisi udara di dalam ruangan akan bertambah baik, meliputi kenyamanan dan kualitasnya. Ventilasi dapat berjalan secara alami (natural) ataupun mekanikal (buatan) dengan menggunakan bantuan alat.

Angin merupakan udara yang bergerak. Dan udara bergerak karena adanya gaya yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan dan perbedaan suhu. Kedua pola ini dapat diatur dalam perancangan ruang-ruang yang harus saling mendukung dan tidak saling berlawanan. Besarnya tekanan angin pada bangunan tergantung pada banyak faktor, yaitu kecepatan angin itu sendiri, ukuran dan bentuk geometri dari bangunan serta sudut datangnya angin. Lubang ventilasi dan penempatannya harus dirancang demikian agar dapat memenuhi kebutuhan pengaturan udara dalam ruang. Gaya apung (buoyancy, stack effect) adalah gaya gerak udara ke atas akibat perbedaan suhu.

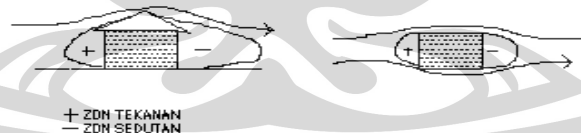
Aliran udara dalam bangunan dapat memberikan tingkat kenyamanan tanpa menggunakan sistem pendinginan udara aktif. Aliran udara mempengaruhi tingkat kenyamanan termis dengan menurunkan resiko pemanasan lokal dan memperbaiki tingkat evaporasi keringat. Gerakan udara menimbulkan pelepasan panas oleh permukaan kulit, selama temperatur udara lebih rendah dari temperatur kulit.

2.1.2 Mekanisme Aliran udara

Mekanisme aliran udara terjadi karena adanya beberapa faktor yang menyebabkan atau membentuk aliran itu terjadi, yaitu karena :

1. Faktor angin yaitu karena adanya perbedaan tekanan.

Angin yang bertiup atau menerpa dengan kecepatan dan arah tertentu pada bangunan dapat menimbulkan perbedaan tekanan pada lokasi yang berbeda dan menghasilkan distribusi tekanan pada bangunan, yang akan mengakibatkan tekanan positif maka akan terjadi aliran udara masuk melalui bukaan atau lubang-lubang pada bangunan bidang penerima angin datang, dan mengakibatkan tekanan negatif maka akan terjadi aliran udara keluar dari bangunan bidang yang berlawanan, dan pada bidang-bidang samping.

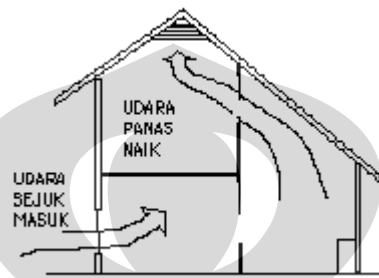


Gambar 2.1 Aliran udara karena faktor angin

2. Faktor termal yaitu karena adanya perbedaan temperatur dibawah dan atas ruangan dan diluar ruang dengan temperatur didalam ruangan.

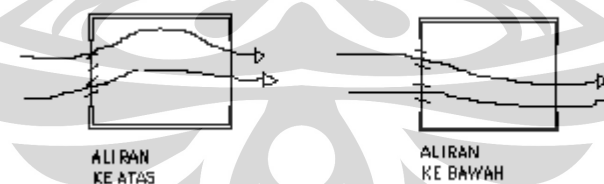
Aliran udara dalam ruang juga dapat terjadi karena perbedaan suhu udara, yang secara vertikal karena perbedaan temperatur di bawah dan diatas ruangan tersebut. Udara yang lebih dingin akan bergerak ke atas ruangan tersebut atau sebaliknya, karena perbedaan masa jenis udaranya.

Secara horizontal bila suhu udara dalam ruang lebih tinggi dari pada udara diluar, maka udara dari luar akan masuk melalui lubang-lubang atau bukaan yang ada. Bila yang terjadi adalah sebaliknya, maka udara didalam ruangan yang lebih panas ke luar bangunan melalui lubang-lubang atau bukaan yang ada.



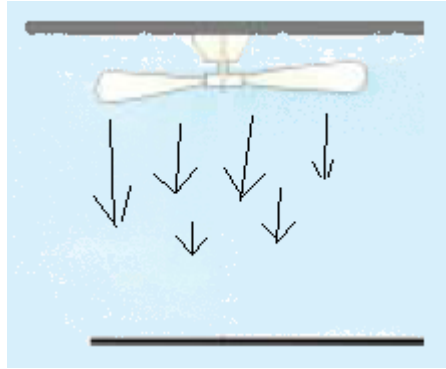
Gambar 2.2 Aliran udara karena faktor suhu

3. Faktor bentuk bangunan, yaitu karena adanya beragam bentuk yang dapat mempengaruhi atau membentuk aliran udara tersebut. Seperti contoh pada gambar 2.3 bentuk-bentuk yang berbeda pada lubang atau bukaan misalnya pada jendela akan mengasilkan pola atau mekanisme aliran udara yang berbeda-beda tergantung jenis bukaan tersebut.



Gambar 2.3 Aliran udara karena bentuk bangunan

4. Faktor atau bersumber dari peralatan mekanikal (buatan) yang digunakan pada ruangan tersebut. Misalnya kipas angin yang dipasang pada ruang akan menyebabkan atau terbentuk aliran udara dari kipas angin tersebut sesuai dari peralatan yang digunakan tersebut.



Gambar 2.4 Aliran udara karena peralatan mekanik yang digunakan

2.2 Ventilasi

2.2.1 Penjelasan Umum

Ventilasi yang dimaksud disini adalah proses pemasukan atau penggantian udara (bersih/segar) dari luar baik 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 di dalam ruangan akan bertambah baik, meliputi kenyamanan dan kualitasnya. Jadi 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 kurangnya perawatan sistem ventilasi udara. Sehingga menyebabkan sirkulasi udara yang 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 didalamnya karena memberikan hembusan angin yang mengenai kulitnya

UNIVERSITAS INDONESIA

ataupun mengambil panas (terjadi perpindahan panas) benda atau pun 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 agar kita merasakan lebih nyaman dan sejuk, walaupun temperatur udaranya sama atau tinggi (terhadap kondisi acuan temperatur kenyamanan thermal) di dalam ruangan tersebut ataupun dapat menurunkan temperatur udara dalam ruangan tersebut.

2.2.2 Jenis-Jenis Ventilasi

Ventilasi dapat berjalan secara alami (natural) ataupun mekanikal (buatan) dengan menggunakan bantuan alat.

1. 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 di luar bangunan dan/atau perbedaan suhu dalam ruang. Sehingga banyak tergantung pada kekuatan angin dan perbedaan tekanan udara serta temperatur di luar dan di dalam 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.

Tentang ventilasi alami dalam bangunan-bangunan tropis lembab (Indonesia), beberapa aspek yang diteliti adalah : perilaku aliran udara dalam ruangan akibat arah dan kecepatan angin di luar bangunan di zone bebas, pengaruh konfigurasi bukaan (inlet dan outlet), bentuk atap dan peletakan aksesoris bukaan seperti posisi dan jenis jendela serta bentuk dan peralatan yang ada di dalam ruangan tersebut. Kontrol manual sistem ventilasi alami dapat dilakukan dengan pembukaan dan penutupan lubang ventilasi serta pengaturan bukaan pada dinding. Pengaturan ventilasi alami agar tetap kontinyu sulit dilakukan karena proses aliran udara dipengaruhi oleh temperatur, kecepatan dan arah angin yang tidak mudah dikendalikan.

Namun untuk merancang ventilasi alami perlu dipikirkan syarat awal, yaitu : (1) tersedianya udara luar yang sehat (bebas dari bau, debu, dan polutan lain yang mengganggu), (2) suhu udara luar tidak terlalu tinggi (maksimal 28 °C), (3) tidak banyak bangunan disekitar yang akan menghalangi aliran udara horizontal (sehingga angin berhembus lancar), dan (4) lingkungan tidak bising. Jika syarat awal tidak dipenuhi, maka sebaiknya tidak dipaksakan memakai ventilasi alami karena justru akan merugikan.

Kerugian dan keuntungan ventilasi alami

Ventilasi alami mempunyai beberapa kerugian diantaranya : (1) suhu, kecepatan angin (pertukaran atau aliran udara) dan kelembaban tidak mudah diatur karena adanya pertukaran udara dan kecepatan angin yang tidak konstan/berubah-ubah (2) kualitas udara tidak mudah diatur (debu, bau, polusi lain dsb), (3) gangguan lingkungan (kebisingan, serangga, debu dsb) sulit dicegah, (4) aliran udara kedalam ruang yang terlalu dalam atau terdapat halangan dan ruang-ruang yang berjajar pada arah melebar atau arah tebal ruangan, biasanya tidak mungkin terjadi atau sampai.

Dari beberapa kerugian atau keterbatasan dari ventilasi alami diatas dapat dibantu dengan ventilasi buatan secara mekanik (dengan menggunakan peralatan), guna tetap menjaga dan mengontrol kualitas dan kenyamanan dalam ruangan tersebut.

Ventilasi alami mempunyai beberapa keuntungan diantaranya : (1) biayanya relative lebih murah dibandingkan dengan ventilasi mekanik, (2) tidak dibutuhkan ruangan untuk peralatan mekanik, (3) pemeliharaan yang relative mudah dan dapat dikatakan sangat minim atau hampir tidak ada, dsb.

2. Ventilasi buatan (mekanik)

Adalah pergantian udara yang tidak secara alami atau melibatkan peralatan mekanis, (seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan air conditioner (AC), fan, blower, exhaust dsb). Ventilasi buatan dapat membantu atau menyediakan dan mengontrol serta memasukan atau pun mengisap aliran udara ke dalam 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 menambah biaya operasiaonal, biaya pemeliharaan dan biaya penggantian dalam penggunaannya.

Kerugian dan keuntungan ventilasi buatan

Ventilasi buatan mempunyai beberapa kerugian diantaranya : (1) Mahal dan memerlukan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan ventilasi alami disebabkan membutuhkan peralatan mekanik/bantuan dan memperhitungkan biaya pemasangan, operasional, pemeliharaan dan pergantian dalam penggunaannya, (2) karena ventilasi buatan menggunakan atau memerlukan dinding-dinding partisi atau celing

UNIVERSITAS INDONESIA

(langit-langit) dalam penggunaannya menyebabkan dapat menghalangi aliran udara dan membutuhkan ruangan untuk peralatannya dalam ruangan tersebut.

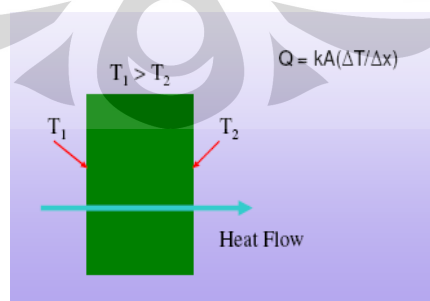
Keuntungan ventilasi buatan yaitu dapat mengendalikan pertukaran atau menyediakan serta menjaga aliran udara dan temperatur sehingga kualitas dan kenyamanan dalam ruangan tersebut dapat terpenuhi.

2.3 Perpindahan panas (Heat transfer)

Adalah proses perpindahan kalor dari benda yang lebih panas ke benda lain yang kurang panas. Suatu Bangunan dalam hal ini ruangan akan mendapatkan perolehan dan kehilangan panas dan massa dari dan ke lingkungan sekitarnya melalui proses perpindahan panas dan massa secara konduksi, konveksi dan radiasi yang mengakibatkan adanya distribusi udara dan suhu dalam bangunan.

1. Perpindahan panas konduktif (Conductive heat transfer) adalah perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui kontak (sentuhan).

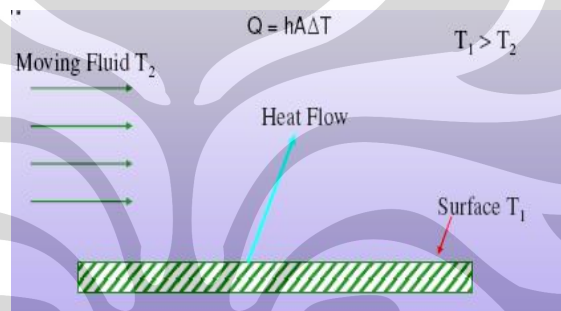
Pada bangunan Perpindahan panas secara konduksi terjadi diantaranya pada penutup/kerangka (atap, dasar/lantai, dinding, sekat/pembatas dsb) bangunan. Perpindahan panas konduksi dipengaruhi oleh konduktivitas bahan, suhu lingkungan, konduktivitas bahan, tebal bahan dan waktu. Semakin besar nilai konduktivitasnya, bahan tersebut semakin cepat merambatkan panas.



Gambar 2.5 Contoh proses perpindahan panas konduktif

2. Perpindahan panas konvektif (Convective heat transfer) adalah perpindahan panas dari benda lebih panas ke benda yang kurang panas melalui aliran angin (atau zat alir lainnya).

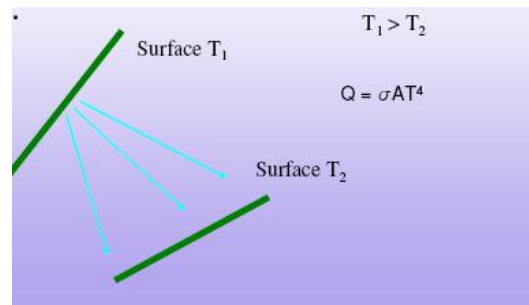
Pada bangunan Perpindahan panas secara konvektif terjadi diantaranya pada atap bangunan, manusia, lantai, serta bangunan penopangnya seperti dinding, kerangka dan peralatan lainnya serta aliran udara yang masuk dan keluar melalui bukaan ventilasi. Perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh koefisien konveksi udara, kecepatan angin, suhu lingkungan, waktu dan luasan daerah konveksi. Semakin besar nilai koefisien konveksi dan kecepatan angin, maka akan semakin cepat keseimbangan panas dalam ruangan konveksi.



Gambar 2.6 Contoh proses perpindahan panas konvektif

3. Perpindahan panas radiatif (Radiative heat transfer) adalah perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas dengan cara pancaran.

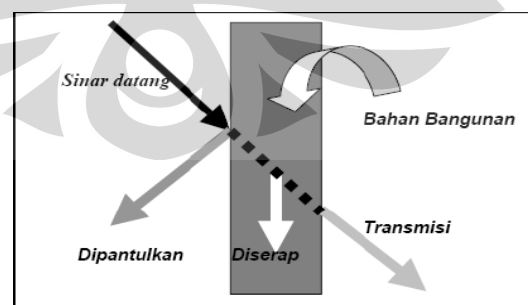
Pada bangunan Perpindahan panas secara radiatif terjadi diantaranya pada radiasi yang dipancarkan oleh matahari, manusia dan bangunan itu sendiri satu sama lain terhadap lingkungan di sekitarnya. Pindah panas secara radiasi dipengaruhi oleh besarnya radiasi matahari atau bahan, kecepatan angin dan suhu lingkungan. Panas lainnya yang ditimbulkan oleh penghuni atau peralatan yang ada di dalam bangunan/ruangan juga harus dapat diperhitungkan.



Gambar 2.7 Contoh proses perpindahan panas radiatif

4. Absorpsi (absorption, penyerapan)

Adalah kemampuan benda menyerap radiasi matahari. Bilangan serap (α) menunjukkan berapa bagian radiasi yang datang di serap. Sebagai contoh, $\alpha=0,7$ menunjukkan bahwa 0,7 bagian radiasi akan diserap dan 0,3 akan dipantulkan. Radiasi matahari (gelombang pendek) yang diserap ini akan menjadi panas dan menyebabkan suhu benda bertambah. Panas ini akan dibuang (dipancarkan) kembali dalam bentuk gelombang panjang. Kemampuan bahan untuk memancarkan panas kembali dinamakan *emisivitas*, biasanya diberi notasi e . Misalnya, sebuah bahan memiliki $e=0,8$ berarti 0,8 panas akan dipancarkan kembali ke lingkungan sekitar. Proses ini akan menyebabkan suhu turun. Oleh karena itu, sebenarnya panas yang tertahan benda adalah $(\alpha)(1-e)$, dimana : α = Bagian radiasi yang diserapi dan e = Kemampuan bahan untuk memancarkan kembali ke lingkungan (*emisivitas*).



Gambar 2.8 Contoh proses Absorpsi

2.4 Kenyamanan Termis (thermal comfort)

2.4.1 Penjelasan Umum

Dalam bahasa Inggris kata comfort (nyaman) diartikan sebagai bebas dari rasa sakit atau bebas dari masalah, sedangkan pengertian, kenyamanan termis (suhu) yaitu suatu kondisi perasaan (merasa tidak kepanasan atau kedinginan serta perasaan yang tidak menyebabkan ketidaknyamanan) dalam pikiran manusia yang menggambarkan kepuasan terhadap lingkungan termis disekelilingnya. Kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Oleh karena itu, kenyamanan tidak dapat diwakili oleh satu angka (parameter atau faktor) tunggal, melainkan banyak faktor untuk dapat penilaian terhadap kondisi tersebut dan juga lebih menyangkut pada penghuni bukan pada bangunannya.

Ilmu kenyamanan termis juga hanya membatasi pada kondisi udara tidak ekstrim (moderate thermal environment), dimana manusia masih dapat mengantisipasi dirinya terhadap perubahan suhu udara di sekitarnya. Dalam kondisi yang tidak ekstrim ini terdapat daerah suhu dimana manusia tidak memerlukan usaha apapun, seperti halnya menggigil atau mengeluarkan keringat, dalam rangka mempertahankan suhu tubuhnya agar tetap berkisar pada 37° C. Daerah suhu inilah yang kemudian disebut dengan suhu netral atau nyaman. dinyatakan bahwa suhu nyaman diperlukan manusia untuk mengoptimalkan produktifitas kerja. Dalam kenyamanan termis, manusia merasakan sensasi panas atau dingin sebagai wujud respon dari sensor perasa pada kulit terhadap stimuli suhu di sekitarnya. Apabila suhu udara di sekitar tubuh manusia lebih tinggi dari suhu nyaman yang diperlukan, aliran darah pada permukaan tubuh atau anggota badan akan meningkat dan ini akan meningkatkan suhu kulit. Peningkatan suhu ini bertujuan untuk

UNIVERSITAS INDONESIA

melepaskan lebih banyak panas secara radiasi dari dalam tubuh ke udara di sekitarnya. Proses pengeluaran keringat akan terjadi pada suhu udara yang lebih tinggi lagi, sebagai tindak lanjut dari usaha pelepasan panas tubuh melalui proses penguapan. Pada situasi dimana suhu udara lebih rendah dari yang diperlukan tubuh, peredaran darah ke permukaan tubuh atau anggota badan dikurangi. Hal ini merupakan usaha tubuh untuk mengurangi pelepasan panas ke udara disekitarnya. Pada situasi ini pada umumnya tangan atau kaki menjadi dingin dan pucat. Otot-otot akan berkontraksi dan tubuh akan meinggigil pada suhu udara yang lebih rendah lagi. Hal ini merupakan usaha terakhir tubuh untuk memperoleh tambahan panas melalui peningkatan proses metabolisme. Pada kondisi lebih ekstrim, baik terlalu panas ataupun terlalu dingin, manusia mungkin tidak lagi mampu bertahan untuk hidup. Dan karena tubuh manusia memiliki variasi antara satu dengan yang lainnya, seperti halnya gemuk, kurus, kekar dsb, ada kecenderungan bahwa suhu nyaman yang dimiliki oleh tiap-tiap individu berbeda. Untuk itu, secara teori tidak akan pernah terjadi bahwa sekelompok manusia dapat merasakan nyaman seluruhnya apabila ditempatkan dalam suatu ruang yang memiliki suhu yang sama.

2.4.2 Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan termis.

Dalam penilaian tentang kenyamanan termis, menurut teori Fanger dinyatakan bahwa kondisi kenyamanan termis hanya ditentukan oleh 6 faktor kenyamanan termis (4 faktor iklim/lingkungan dan 2 faktor manusia/individu). Faktor iklim/lingkungan yang mempengaruhi terdiri dari suhu udara, kecepatan angin, kelembaban udara serta suhu rata-rata permukaan ruang (Mean Surface Radiant Temperatur), sedangkan faktor manusia/individu yang menentukan keadaan suhu nyaman yaitu laju metabolisme (jenis aktivitas) manusia tersebut dan jenis pakaian yang dikenakan. Dan menurut teori ini bahwa diluar ke 6 faktor tersebut, semua faktor lain (seperti

UNIVERSITAS INDONESIA

usia, jenis kelamin, bangsa, etnik, letak geografi, bentuk tubuh (kurus/gemuk), perubahan suhu, adaptasi dsb) tidak berpengaruh secara nyata (statistically significant) terhadap pemilihan suhu nyaman manusia. Dengan demikian pada kondisi dimana ke 6 faktor tersebut sama untuk sekelompok manusia sehat (tidak dalam keadaan sakit) tanpa memandang ke 6 faktor tersebut akan menyatakan tingkat (derajat) kenyamanan atau sensasi termis yang sama. Dengan teori ini dianggap dapat digunakan oleh siapa saja dan dimana saja atau dengan kata lain dapat digunakan secara universal untuk memprediksi tingkat kenyamanan dari sekelompok manusia yang berada pada ruang tertentu.

Namun, kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Oleh karena itu, kenyamanan tidak dapat diwakili oleh satu angka (parameter atau faktor) tunggal, melainkan banyak faktor untuk dapat penilaian terhadap kondisi tersebut agar kondisi nyaman terpenuhi diantaranya parameter-parameter lain yang mempengaruhi diantaranya yaitu aliran/pergerakan udara, kualitas udara, suara/kebisingan, bau, pencahayaan, pengaruh radiasi, area dimana berada, bahan material yang digunakan, tata letak peralatan dan konstruksi, peralatan mekanik, jumlah sumber panas yang didalam ruangan tersebut dsb.

2.4.3 Pengukuran tingkat kenyamanan Termis

Untuk mengukur atau menilai dalam menyatakan tingkat kenyamanan termis suatu kondisi termis tertentu ukuran (index) atau parameter (suatu satuan/besaran (unit) dalam bentuk angka/skala dengan yang dapat digunakan untuk memperkirakan (memprediksi) dan mewakili ukuran rasa (sensasi) termis yang dialami oleh seseorang tau sekelompok orang dalam ruang atau lingkungan termis tertentu) yang digunakan yakni Prediksi Sensasi Termis Rata-rata

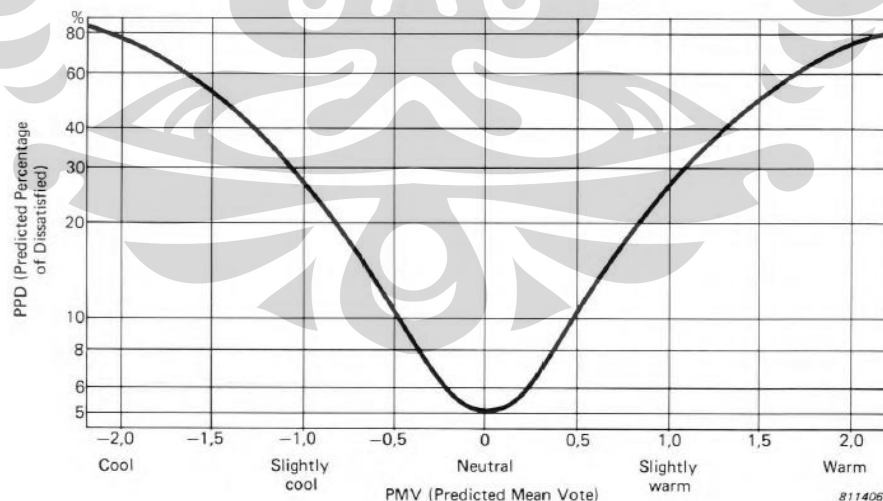
(Predicted Mean Vote (PMV)) dan Prediksi Prosentase Ketidaknyamanan (Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)).

Skala index PMV ini digunakan untuk memperkirakan sejauh mana sensasi termik dari suatu kumpulan atau sekelompok manusia merasa nyaman atau tidak nyaman yang mengenakan pakaian sejenis atau dengan tahanan yang kurang lebih sama, melakukan aktifitas serupa atau tertentu yang sama dan berada pada suatu ruang tertentu atauyang secara termis dianggap homogen. Nilai PMV berkisar antara -3 dan +3 (dapat berupa angka pecahan).

Tabel 2.1 Skala PMV

| | | | | | | |
|-------|------------|---------------|---------|---------------|-------------|--------|
| Hot | Warm | Slightly warm | Neutral | Slightly Cool | Cool | Cold |
| Panas | Agak Panas | Hangat | Netral | Sejuk | Agak Dingin | Dingin |
| +3 | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | -3 |

PPD memberikan prediksi nilai dari proporsi (dalam prosentase) dari sekelompok manusia yang diperkirakan akan merasa tidak nyaman secara termis ketika mereka berada dalam suatu ruang tertentu.



Gambar 2.9 Grafik hubungan PMV dan PPD

Berdasarkan grafik diatas pada kondisi termis apapun prosentase PPD tidak akan mencapai 0 % atau prosentase yang merasa nyaman

UNIVERSITAS INDONESIA

tidak mungkin mencapai 100 %, meskipun nilai $PMV = 0$ disana masih terdapat sekitar 5 % dari populasi manusia dalam kelompok tersebut yang masih merasa tidak nyaman, secara teori mungkin disebabkan karena adanya perbedaan variasi individu seperti usia, berat badan dsb dalam kelompok tersebut. Sementara itu rentang suhu nyaman dicapai apabila nilai PMV berada diantara + 0,5 hingga - 0,5 dimana pada kondisi ini PPD mencapai 10 % atau prosentase yang nyaman mencapai 90 %.

2.4.4 Permasalahan Kenyaman Termis

Seseorang dapat merasa ketidaknyamanan (discomfort) walupun kondisi termis sekelilingnya (lingkungannya) netral untuk tercapainya udara ruang yang nyaman atau memenuhi persyaratan kenyamanan. Keadaan semacam ini biasanya disebut dengan istilah ketidaknyamanan setempat (local discomfort).

Faktor-faktor yang menyebabkan kondisi ketidaknyamanan setempat tersebut diantaranya disebabkan oleh sebagai berikut :

1. Hembusan Udara Kencang (Draught)

Jika hembusan atau aliran udara yang mengenai hanya sebagian dari tubuh atau secara lokal kita dimana bagian tubuh yang lain tidak terkena serta memiliki ambang kecepatan diatas ambang tertentu (cukup kencang) dapat mengakibatkan efek ketidaknyamanan setempat meskipun sebagian besar tubuh yang lain merasa nyaman, karena Bertambahnya kecepatan aliran udara dan menurunnya temperatur dapat menghasilkan ketidaknyamanan. fenomena ini dipengaruhi oleh besarnya kecepatan udara rata-rata yang mengalir, turbulensi aliran udara atau nilai fluktuasi kecepatan udara yang mengalir dan besarnya temperatur udara yang mengalir.

2. Radiasi Panas Tidak Merata (Asymmetric Thermal Radiation)

Radiasi yang tidak merata yang mengenai sebagian dari tubuh manusia akan menyebabkan ketidaknyamanan setempat, meskipun ruang tersebut sebetulnya nyaman. Contohnya terjadi apabila langit-langit (ceiling) menerima panas dari penutup atap dan menyebabkan suhu bahan untuk ceiling tersebut akan naik. Akibat kenaikan suhu tersebut, ceiling akan memancarkan radiasi panas pada ruang yang berada dibawahnya. Manusia yang kebetulan sedang berada pada ruang tersebut akan menerima radiasi terutama pada bagian kepala atau bagian tubuhnya. Dalam keadaan ini akan terjadi perbedaan radiasi yang diterima oleh tubuh antara bagian atas dan bagian bawah dari tubuh manusia tersebut akibat panas radiasi yang tidak mengenai bagian tubuhnya yang tidak merata dan ini akan menimbulkan ketidaknyamanan termis pada manusia tersebut. Beberapa eksperimen membuktikan bahwa kondisi dengan langit-langit yang panas dengan jendela yang dingin menyebabkan ketidaknyamanan yang paling besar, sedangkan untuk langit-langit dingin dan jendela panas menghasilkan ketidaknyamanan yang paling kecil. Selama eksperimen, permukaan lainnya pada ruangan dibuat sedemikian rupa sehingga temperatur pada permukaan-permukaan tersebut besarnya sama.

3. Perbedaan Suhu Udara Secara Vertikal.

Secara umum dapat dikatakan bahwa suhu udara pada setiap titik dalam ruangan akan meningkat sesuai dengan ketinggian titik tersebut terhadap lantai. Ini terjadi karena udara panas akan berada di atas karena berat jenisnya lebih besar dari pada udara dingin yang berat jenisnya lebih rendah (gaya apung udara/ buoyancy). Karena perbedaan tersebutlah terjadi perbedaan suhu secara vertikal yang mengenai tubuh manusia tersebut, ini akan

UNIVERSITAS INDONESIA

menyebabkan ketidaknyaman setempat, meskipun secara keseluruhan tubuh dalam keadaan nyaman. Misalnya bagian kepala manusia tersebut akan merasakan panas (tidak nyaman), sedangkan bagian kakinya akan merasa dingin (tidak nyaman). Dari penelitian didapat bahwa manusia lebih toleran terhadap ketidaknyaman apabila suhu udara dibagian kaki lebih tinggi dibandingkan udara di sekitar kepala, disbanding jika keadaan berlawanan. Eksperimen-eksperimen telah menunjukkan bahwa perbedaan temperature yang paling baik antara kepala dan kaki tidak lebih dari 3°C . Perbedaan temperatur antara kepala dan kaki sebesar 3°C hanya menghasilkan tingkat ketidakpuasan sebesar 5% dan nilai ini sebagai tingkat yang dapat diterima untuk level aktivitas dimana kebanyakan pengguna ruangan melakukan aktivitasnya dengan duduk (belajar/bekerja).

4. Temperatur Lantai (Floor Temperature)

Ketidaknyamanan setempat dapat terjadi apabila lantai terlalu dingin atau terlalu panas. Besarnya energi panas yang hilang dipengaruhi oleh konduktivitas termal dan kapasitas panas dari material lantai dan alas kaki. Perbedaan temperature lantai yang dapat diterima berkisar antara 19°C s/d 29°C yang hanya menimbulkan 10% ketidakpuasan.

2.4.5 Acuan Kenyaman yang di Syaratkan

Indonesia (tropis lembab) diantaranya mempunyai cirri-ciri iklim dan cuaca yaitu sebagai berikut Suhu udara pada umumnya tinggi diantara $24^{\circ} - 34^{\circ}\text{C}$ dengan amplitude suhu siang-malam kecil ($24^{\circ} - 32^{\circ}\text{C}$), kelembaban udara juga tinggi yaitu antara 60 - 95%, kecepatan angin rendah (terutama pada pagi dan malam hari), sedangkan siang hari pada umumnya angin berhembus cukup kencang, radiasi matahari cukup tinggi, walaupun sering juga tertutup mendung dsb.

UNIVERSITAS INDONESIA

Dan sebagai rekomendasi acuan praktis untuk tingkat kenyamanan apabila memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut : Dalam hal kenyamanan termis (suhu) menurut Tri Harso Karyono yaitu $26,4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ suhu udara atau $26,7^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ suhu operasi sedangkan menurut ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineer) yaitu suhu efektif $23^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$, kelembaban udara relatif (RH) antara 30% – 60% dan kecepatan angin 0,1 - 1,5 m/s menurut ASHRAE dengan indeks PMV antara - 0,5 s.d + 0,5 atau nilai PPD berkisar diantara 0% s.d 10%.

2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

2.5.1 Penjelasan Umum

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah suatu metode analisis sistem yang meliputi aliran fluida, pindah panas dan massa, serta fenomena lain (seperti reaksi kimia, aliran rokok, aliran partikel dsb) dengan menggunakan simulasi berbasis komputer.

Dengan metode CFD ini dapat menganalisis dan memprediksi simulasi distribusi pola aliran udara dan temperatur di dalam maupun diluar pada suatu bangunan agar menghasilkan aliran udara dan suhu yang baik atau dapat diterima dalam merancang suatu bangunan sesuai standar dan diinginkan (efektif) di dalam maupun diluar bangunan dengan biaya murah dan waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan metode eksperimen. 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.

Simulasi adalah teknik penyusunan dari kondisi nyata (sistem) dan kemudian melakukan percobaan pada model yang dibuat dari

sistem. Simulasi merupakan alat yang fleksibel dari model atau kuantitatif. Simulasi cocok diterapkan untuk menganalisa interaksi masalah yang rumit dari sistem. Simulasi dapat dilakukan dengan pembuatan model persamaan matematika, program komputer, dan pembuatan model atau prototipe sehingga sistem yang akan disimulasikan dapat terwakili oleh model yang disimulasikan. Simulasi analisis distribusi suhu dan udara (ventilasi natural) pada bangunan dapat dilakukan dengan persamaan matematika, dan program komputer. Parameter yang harus diperhitungkan dalam simulasi analisis distribusi udara dan temperature pada bangunan diantaranya yaitu temperatur lingkungan (luar bangunan), temperatur udara dalam bangunan, radiasi matahari dan atau pencahayaan, kecepatan angin, sistem dan besaran (dimensi/geometri) ventilasi, bahan-bahan bangunan (konduktivitas panas, emisivitas, koefisien pindah panas, absorpsivitas), suhu manusia (jenis aktivitas) dan pakaian yang dikenakan dsb.

2.5.2 Komponen utama CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) mengandung tiga komponen utama, yaitu : pre-processor, solver dan post-processor.

1. Pre-processor

Komponen pre-processor merupakan komponen data input atau parameter dari permasalahan aliran ke dalam program CFD dengan menggunakan interface yang memudahkan operator (pengguna), berfungsi sebagai transformer input berikutnya ke dalam bentuk yang sesuai dengan pemecahan oleh solver. Pada tahapan pre-processor, dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut: 1) mendefinisikan sistem dan geometri daerah yang dikehendaki (perhitungan domain dan subdomain) ; 2) pembentukan geometri dan peralatan atau sumber yang ada serta grid (mesh) pada setiap domain dan subdomain ; 3) pemilihan fenomena fisik dan kimia

UNIVERSITAS INDONESIA

(perpindahan kalor, kalor radiasi, turbulensi dsb) yang dibutuhkan ; 4) menentukan sifat-sifat fluida (konduktivitas, viskositas, panas jenis, massa jenis dsb) ; 5) menentukan kondisi batas yang sesuai dengan keperluan. Ketepatan aliran dalam geometri yang dibentuk dalam CFD ditentukan oleh jumlah sel di dalam grid yang dibangun. Semakin besar jumlah sel, ketepatan atau ketelitian dari hasil pemecahan semakin baik. Mesh optimal tidak harus selalu seragam, dapat dilakukan dengan memperhalus mesh pada bagian yang memiliki variasi cukup besar dan semakin kasar untuk bagian yang relatif tidak banyak mengalami perubahan.

Prose Pre-processor inilah yang paling membutuhkan waktu yang lama dalam pengerjaan CFD dibandingkan dengan proses yang lain, walaupun proses solution (menjalankan (running)) bila proses Pre-processor telah selesai itu pun tergantung kekompleksitasan simulasi dan kesalahan yang dibuat sewaktu membuat atau dalam Pre-processor tersebut. Untuk itu untuk memaksimalkan produktifitas atau mengefisienkan waktu kita dapat menggunakan model-model yang sudah ada atau mengimport dari dari program CAD yang lain untuk membuat geometri yang kompleks atau mendownload dari website atau mengansumsikan penyederhanakan bentuk model/geometri yang akan dibuat tetapi membuat model/geometri tersebut tetap memberikan informasi yang lengkap pada tingkatan ketepatan yang diperlukan.

2. Solver

Proses pada solver merupakan proses pemecahan dalam CFD secara matematika melalui analisis numerik tiga dimensi dengan metode volume hingga melalui memisalkan variable-variabel aliran yang belum diketahui ke dalam fungsi-fungsi sederhana, diskretisasi dengan cara menggantikan pemisalan tadi menjadi persamaan aliran atur dan menguraikan persamaan matematis tersebut dan

menyelesaikan persamaan matematis tersebut dengan metode iterasi (membuat sebuah tebakan nilai variabel-variabel dan terus dilakukan sampai selisih antara ruas kiri dengan ruas kanan persamaan mendekati nol (konvergen)). Solution adalah tahap penyelesaian masalah berupa proses iterasi hingga mencapai harga yang diinginkan atau mendekati nol (konvergen),

3. Post-processor

Hasil yang diperoleh dari proses yang berada dalam pre-processor dan solver akan ditampilkan dalam post-processor atau merupakan penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh.

Tampilan tersebut dapat berupa : 1) tampilan geometri domain/subdomain dan grid ; 2) plot vector, contour ; 3) plot permukaan dua dan tiga dimensi ; 4) pergerakan partikel ; 5) manipulasi pandangan; 6) output warna ; 7) validasi dan verifikasi dsb.

2.5.3 Program yang digunakan dalam CFD

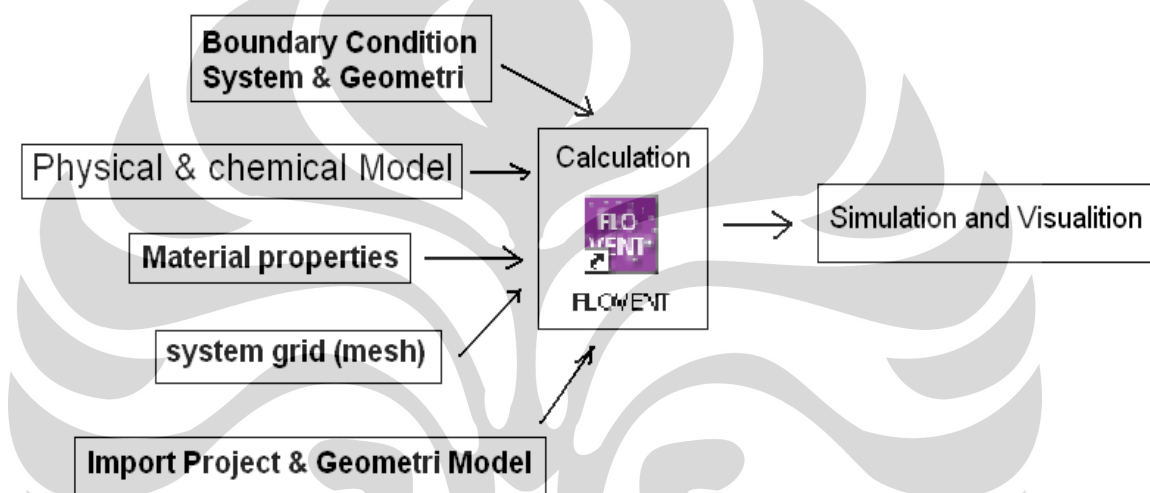
Ada beberapa program yang digunakan dalam CFD untuk menyelesaikan permasalahan aliran udara dan temperature (Fluent, EFD, Pheonics, Cosmis dsb) pada bangunan yaitu dalam hal ini penelitian ini menggunakan program FLOVENT.

FLOVENT adalah program komputer yang menggunakan teknik CFD untuk menganalisis dan memprediksi serta menyelesaikan distribusi/pergerakan aliran udara (yang disebabkan faktor angin, termal/buoyancy, bentuk dan peralatan yang digunakan) dan perpindahan kalor (perbedaan temperature sumber/benda, konduksi, konveksi dan radiasi) dalam suatu bangunan dalam dua dan tiga dimensi. Dengan FLOVENT dapat memberikan kecepatan, keakuratan, keefektifan dan biaya yang murah dalam memprediksi

UNIVERSITAS INDONESIA

lingkungan termal dalam dan luar bangunan, sebagai alternatif atau penambahan percobaan fisik dibandingkan dengan metode eksperimen.

Contoh-contoh aplikasi penggunaan Flovent yaitu : naturally ventilated, mechanically ventilated and air-conditioned solutions, Office Environment and Comfort Modeling, Cleanrooms and Contaminant distribution in three-dimensional spaces Modeling, External Flow and Dispersion Modeling dsb.



Gambar 2.10 Proses simulasi dan visualisasi pada FLOVENT

2.6 Statistik

Dengan statistik kita berusaha atau dapat memungkinkan untuk menyimpulkan populasi. Untuk itu kelakuan atau estimasi populasi dipelajari berdasarkan data yang diambil baik secara sampling ataupun sensus. Dalam kenyataannya, mengingat berbagai faktor (dana, waktu, kondisi dan situasi, dsb) untuk keperluan tersebut diambil sebuah sample yang representatif (mewakili) lalu berdasarkan pada analisis terhadap data sample, kesimpulan mengenai populasi dibuat. Dengan menggunakan berdasarkan data sample dapat untuk diestimasi nilai dari suatu parameter (misalnya rata-rata, simpangan baku, persen/varian) dari nilai populasi yang tidak diketahui tersebut. Jadi nilai parameter populasi

tersebut yang sebenarnya tetapi tidak diketahui itu akan ditaksir/diestimasi berdasarkan statistic sample yang diambil dari populasi yang bersangkutan. Kelakuan populasi yang akan ditinjau disini hanyalah mengenai parameter populsi dan sample yang digunakan adalah sample acak.

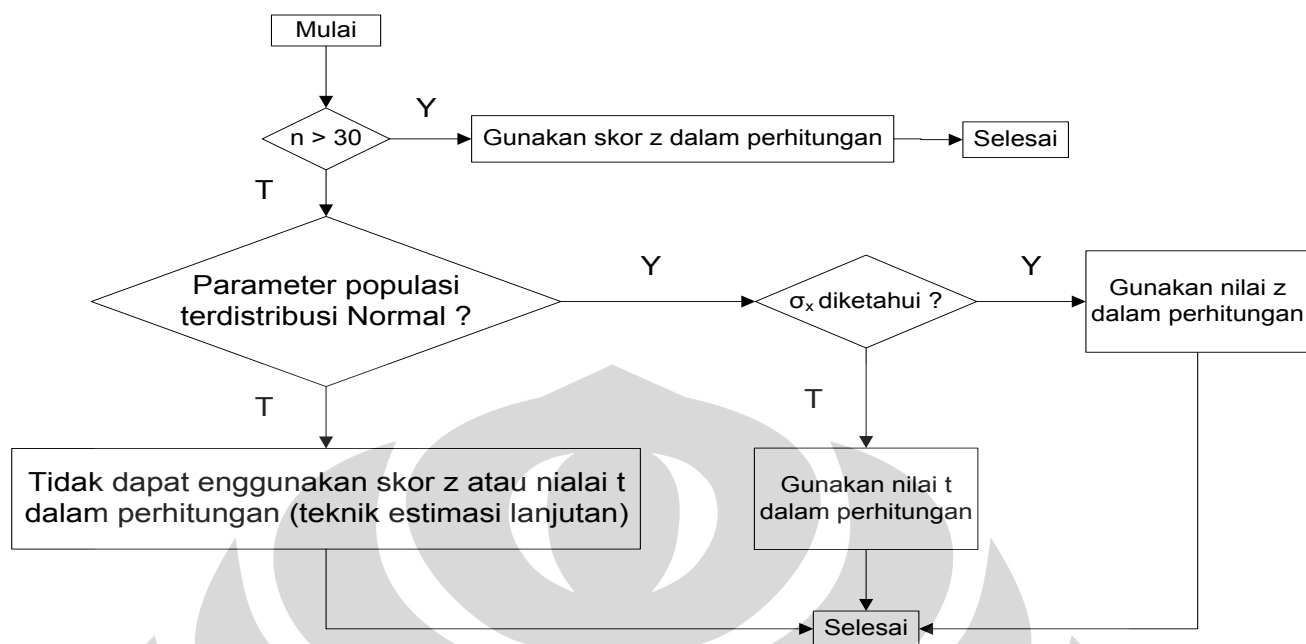
Secara umum parameter populasi misalnya dilambangkan E dan parameter sampel dilambangkan \hat{E} . Maka jika E , yang tidak diketahui harganya dapat ditaksir/diestimasi oleh \hat{E} . Jelas bahwa sangat dikehendaki $\hat{E} = E$, yaitu bisa mengatakan nilai E yang sebenarnya. Tetapi ini merupakan keinginan yang boleh dibilang ideal sifatnya. Kenyataan yang terjadi adalah menaksir/mengestimasi E oleh \hat{E} terlalu tinggi atau menaksir/mengestimasi E oleh \hat{E} terlalu rendah..

Dalam menaksir/mengestimasi terdapat dua jenis yaitu estimasi titik (point estimate) ialah suatu angka tunggal dari sample yang dapat dianggap sebagai nilai masuk akal bagi nilai populasi, dan estimasi interval (interval estimate) ialah estimasi nilai parameter sebuah populasi diantara dua batas nilai. Estimasi titik untuk sebuah parameter populasi (misalnya rata-rata), nialainya akan bergantung pada nilai parameter (rata-rata) sample yang didapat dari sample-sample yang diambil. Karenanya orang sering merasa kurang yakin atau kurang percaya atas penaksiran/estimasi macam ini. Sebagai gantinya digunakan estimasi interval untuk dapat menaksir parameter populasi tersebut berdasarkan parameter sample tersebut yang memungkinkan hasilnya lebih dipercaya. Dalam prakteknya harus dicari estimasi interval yang sempit dengan derajat/tingkat kepercayaan (level of confidence) yang memuaskan terhadap penaksiran-penaksiran interval yang dibuat.

Menaksir atau mengestimasi mean (rata-rata) populasi

Dalam melakukan estimasi terhadap mean populasi dengan menggunakan data yang diperoleh dari sample terdapat beberapa hal yang terlebih dahulu harus diperhatikan yaitu : (1) ukuran sample (apakah besarnya > 30 atau kecil < 30) ; (2) informasi tentang distribusi populasinya (apakah distribusi normal atau tidak); (3) Devisiasi standard populasinya (diketahui atau tidak) dan (4) pemilihan jenis distribusi yang menjadi dasar estimasi.

UNIVERSITAS INDONESIA



Gambar 2.11 Skema umum dalam melakukan estimasi mean populasi

Mengestimasi mean populasi jika deviasi standard populasi tidak diketahui dan jumlah data/ukuran sample lebih dari 30 ($n > 30$)

Dalam kebanyakan situasi, bukan hanya mean populasi, deviasi standard populasi pun tidak diketahui. Jadi deviasi standard populasi harus diestimasi juga bersamaan dengan mean populasinya.

Estimasi interval dari mean populasi dapat dibentuk sebagai berikut :

$$\bar{x} - z \hat{\sigma}_{\bar{x}} < \mu_x < \bar{x} + z \hat{\sigma}_{\bar{x}}$$

Tanda (^) di atas symbol error standard menunjukkan bahwa nilainya adalah suatu nilai estimasi. \bar{x} = mean sample dan z = nilai skor (distribusi) z

Dengan :

jika anggota populasi tak terhingga : $\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$; s = deviasi standard sample

jika anggota populasi terhingga sejumlah N : $\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$

Mengestimasi mean populasi jika deviasi standard populasi tidak diketahui dan jumlah data/ukuran sample kurang dari 30 ($n < 30$)

Apabila sample yang digunakan berukuran kecil ($n < 30$) maka estimasi dengan prosedur diatas tidak bisa dipakai. Berdasarkan gambar 2.11 , estimasi memang masih dimungkinkan dengan distribusi normal z jika distribusi populasinya bisa dipastikan normal dan deviasi standard populasitelah diketahui. Namun, untuk kebanyakan situasi, hal ini sulit sekali dipenuhi. Jika distribusi populasinya bisa dipastikan normal namun deviasi standard populasi tidak diketahui maka distribusi mean sampling akan mengikuti distribusi-t (sering disebut distribusi student-t). Sementara jika populasinya tidak bisa dipastikan terdistribusi normal maka baik distribusi z maupun distribusi t tidak bisa digunakan.

Estimasi interval dari mean populasi dapat dibentuk sebagai berikut :

$$\bar{x} - t_{\alpha/2, v} \sigma_{\bar{x}} < \mu_x < \bar{x} + t_{\alpha/2, v} \sigma_{\bar{x}}$$

dimana :

$t_{\alpha/2, v}$ = nilai kritis t yang tergantung pada tingkat kepercayaan dan derajat kebebasan

α = 1 – tingkat kepercayaan (sering disebut chance of error)

v = derajat kebebasan (df) = $n - 1$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN, PENGAMBILAN DATA, PEMODELAN DAN SIMULASI

3.1 METODOLOGI PENELITIAN

3.1.1 Pendahuluan

Metodologi penelitian yang digunakan dalam skripsi ini yaitu pengambilan data di lapangan untuk mendapatkan geometri ruangan, material dan spesifikasi peralatan yang digunakan serta melihat langsung objek penelitian supaya mengetahui keadaan yang sebenarnya, mengukur kecepatan aliran udara, mengukur temperatur udara, mengukur kelembaban udara serta tingkat pencahayaan atau radiasi matahari pada objek penelitian tersebut dengan menggunakan alat ukur, yang nantinya akan dilakukan tahap lebih lanjut yaitu pensimulasian objek penelitian tersebut dengan menggunakan program FLOVENT serta melakukan kuesioner terhadap persepsi orang terhadap kenyamanan pada objek penelitian. Tujuan pensimulasian ini untuk mengetahui karakteristik visualisasi yaitu bagaimana arah dan laju serta pola atau distribusi aliran udara, distribusi temperatur, kelembaban udara dan kecepatan angin pada objek penelitian tersebut sebagai validasi dari data yang telah diambil di lapangan. Batasan penelitian ini yaitu : melakukan simulasi dan modeling distribusi udara dan temperature pada lantai dasar objek penelitian tersebut.

3.1.2 Objek, Tempat dan Waktu Penelitian

Objek penelitian ini yaitu lantai dasar pada Masjid At-Tahuid Arief Rachman Hakim yang berlokasi di Salemba UI. Dan Waktu penelitian atau pengambilan data yaitu pada hari Sabtu tanggal 22 November 2008 dengan keadaan cuaca cerah rata-rata $31,2^{\circ}\text{C}$ dan hari Jum'at pada tanggal 19 Desember 2008 dengan keadaan cuaca cerah berawan dengan temperature rata-rata 31°C , sedangkan pengambilan kuesioner dilakukan pada hari Jum'at tanggal 5 Desember 2008 setelah shalat jumat dilangsungkan pada keadaan cuaca cerah 31°C dan hari

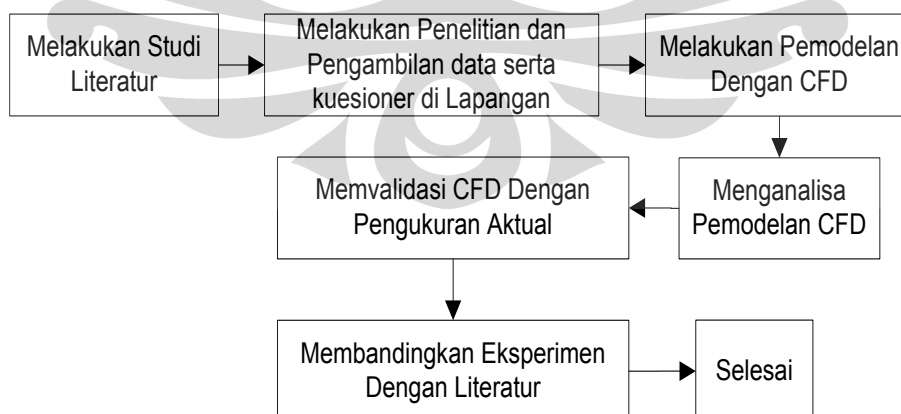
Jum'at tanggal 19 Desember 2008 pada keadaan cuaca cerah berawan dengan suhu rata-rata 31°C.

3.1.3 Peralatan dan Alat Ukur

Pada penelitian ini peralatan dan alat ukur yang digunakan sebagai yaitu sebagai berikut :

1. Hygrometer, yang digunakan untuk mengukur kelembaban udara serta mengukur temperatur udara
2. Anemometer, yang digunakan untuk mengukur laju kecepatan aliran udara serta mengukur temperatur udara.
3. Lux meter, yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya atau radiasi matahari pada ruangan tersebut.
4. Meteran, yang digunakan untuk lokasi pengambilan data dan geometri ruang.
5. Kamera digital, yang digunakan sebagai dokumentasi pada ruangan tersebut
6. Personal Computer (PC) dengan program Sketchup 5, AutoCad 2007, Inventor 11, FLOMCAD dan FLOVENT, yang digunakan untuk penggambaran modeling dan simulasi objek penelitian tersebut.

3.1.4 Alur Kerangka Penelitian

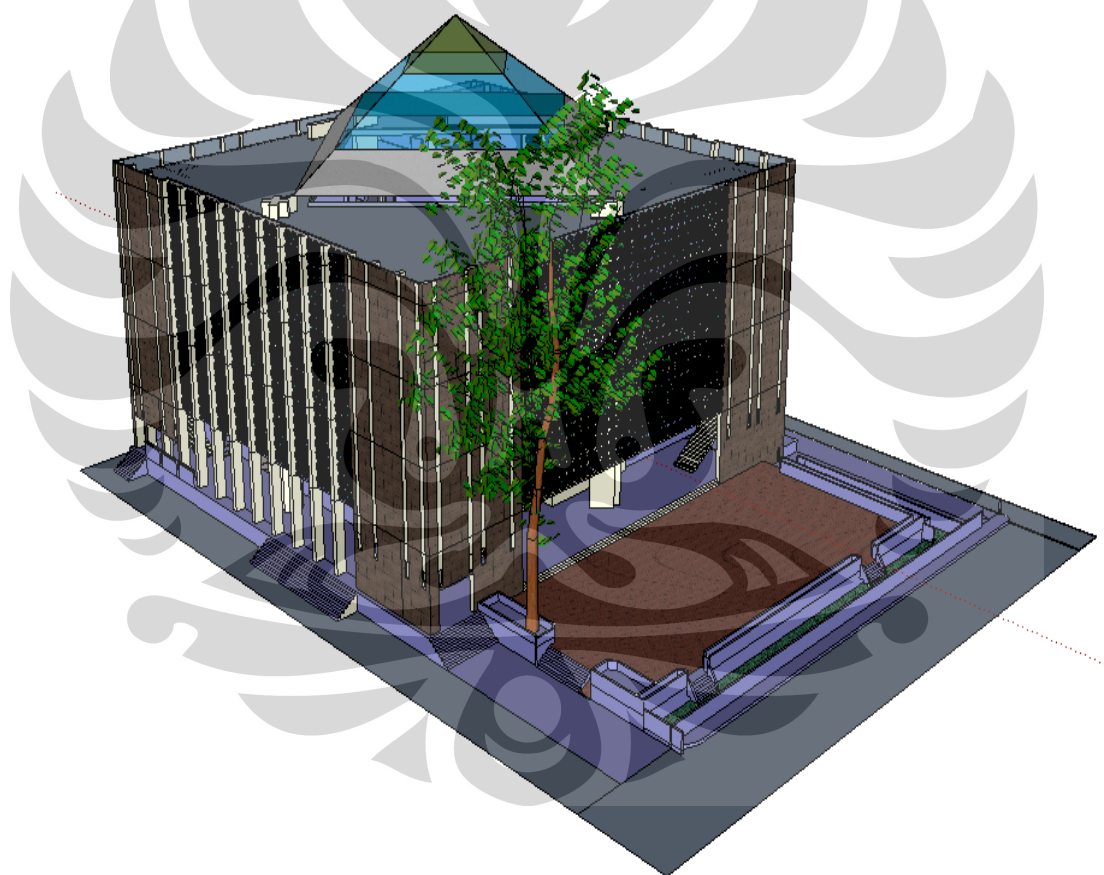


Gambar 3.1 Skema Alur kerangka penelitian

3.2 PENGAMBILAN DATA

3.2.1 Data Bangunan

Data yang diambil diperoleh dari staff pembangun masjid At-Tahuid ARH UI yang meliputi data geometri bangunan, material dan spesifikasi peralatan (sistem tata udara dan elektrikalnya) yang digunakan pada hari Sabtu tanggal 22 November 2008. Data tersebut adalah data aktual yang sudah dikerjakan oleh staf pembangunan mesjid tersebut dan data geometri bangunan tersebut diberikan dalam bentuk softcopy pada program Sketcup 5 (3D) dan AutoCad (2D), sedangkan data material dan spesifikasi peralatan (sistem tata udara dan elektrikalnya) dalam bentuk Microsoft Word.

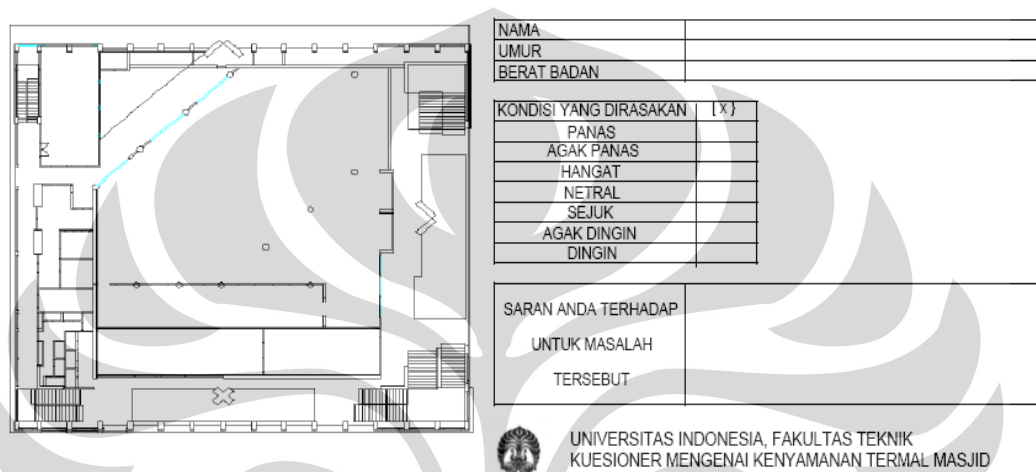


Gambar 3.2 Data bangunan

Sumber : Diberikan dalam program Sketcup 5

3.2.2 Data Kuesioner

Kuesioner ini diambil untuk mendapatkan persepsi penilaian orang tentang kenyamanan termis yang melakukan aktivitas di dalam ruang tersebut dalam hal ini pada lantai dasar. Kuesioner ini diambil pada hari Jum'at tanggal 5 Desember 2008 setelah orang tersebut melakukan shalat Jum'at pada keadaan cuaca cerah dan hari Jum'at tanggal 19 Desember 2008 pada keadaan cuaca cerah berawan dengan suhu rata-rata 31°C.



| | |
|--|-----|
| NAMA | |
| UMUR | |
| BERAT BADAN | |
| KONDISI YANG DIRASAKAN | [X] |
| PANAS | |
| AGAK PANAS | |
| HANGAT | |
| NETRAL | |
| SEJUK | |
| AGAK DINGIN | |
| DINGIN | |
| SARAN ANDA TERHADAP UNTUK MASALAH TERSEBUT | |

UNIVERSITAS INDONESIA, FAKULTAS TEKNIK
KUESIONER MENGENAI KENYAMANAN TERMAL MASJID

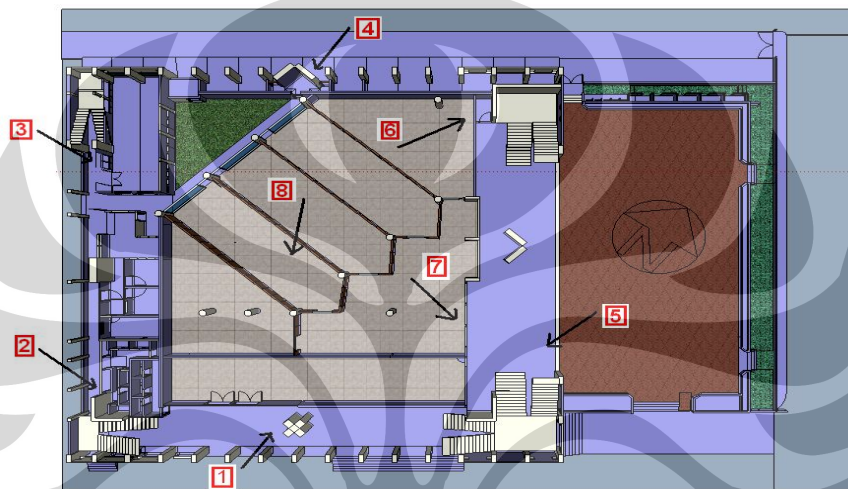
Gambar 3.3 Form Kuesioner

Tabel 3.1 Distribusi sensasi termis dari seluruh responden

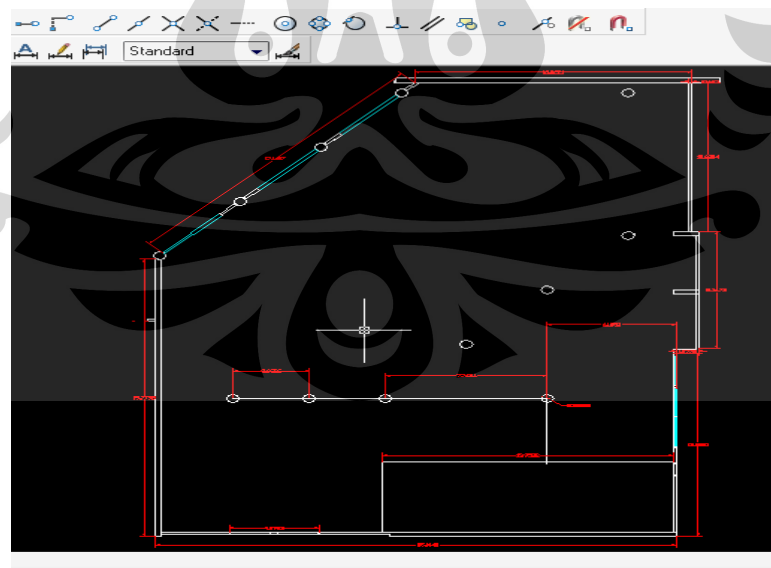
| Sensasi termis yang dirasakan | Jumlah Responden (org) | |
|-------------------------------|------------------------|------------------|
| | Tanggal 5/12/08 | Tanggal 19/12/08 |
| PANAS (3) | 0 | 0 |
| AGAK PANAS (2) | 2 | 0 |
| HANGAT (1) | 2 | 1 |
| NETRAL (0) | 2 | 34 |
| SEJUK (-1) | 7 | 8 |
| AGAK DINGIN (-2) | 0 | 0 |
| DINGIN (-3) | 0 | 0 |
| Total jumlah | 13 | 43 |

3.3 PEMODELAN

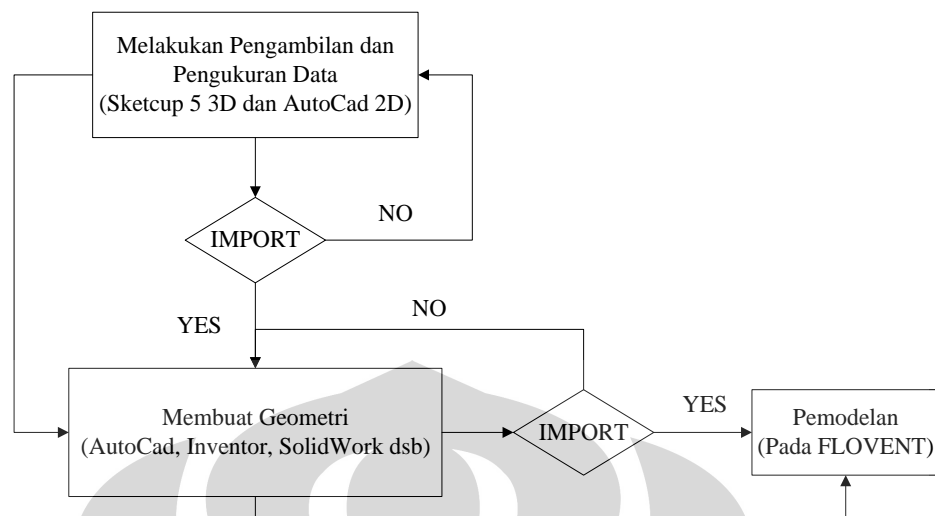
Pada tahap ini yang dilakukan yaitu Pembuatan geometri bangunan dan pengukuran terhadap parameter-parameter yang diperlukan sebagai input dalam Program FLOVENT. Parameter-parameter yang diukur antara lain temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas cahaya atau radiasi matahari (default = 20°C) dengan alat ukur pada hari Sabtu tanggal 22 November 2008 yang dilakukan pada lantai dasar.



Gambar 3.4 Lokasi titik-titik pengukuran



Gambar 3.5 Pemodelan ruang ibadah lantai 1, pada AutoCAD2007



Gambar 3.6 Skema alur pemodelan

3.3.1 Cara dan Hasil Pengukuran

3.3.1.1 Pengukuran Kecepatan Aliran Udara

Pengukuran kecepatan aliran udara ini akan digunakan sebagai input dan data pembanding ke dalam program FLOVENT, serta juga akan digunakan untuk validasi hasil simulasi dari program tersebut. Untuk mengukur kecepatan aliran udara didalam ruang, alat ukur yang digunakan adalah anemometer.

Proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

- Menyalakan anemometer, pastikan kipas dari anemometer dalam keadaan diam terlebih dahulu.
- Memastikan bahwa bagian yang digunakan adalah bagian depan kipas dari anemometer.
- Hadapkan bagian depan dari anemometer tersebut ke titik yang ingin diukur kecepatan aliran udaranya. Arah aliran yang ingin diambil harus tegak lurus dengan bagian depan dari anemometer.
- Pencatatan hasil pengukuran.

Pengambilan data ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan dan dalam selang waktu rata-rata 1 jam (17 Desember 2008) dan selang waktu 2 jam (22 November 2008) serta ketinggiannya sekitar ketinggian orang pada saat pengukuran, pada setiap lokasi titik-titik pengukuran.

3.2.3.1.2 Pengukuran Temperatur Udara dan Pengukuran Kelembaban Udara

Pengukuran temperatur dan kelembaban udara dilakukan sama dengan pengukuran kecepatan aliran udara, bedanya hanya data yang dicatat adalah temperatur dan kelembaban udara, dengan alat yang digunakan yaitu hygrometer.

Proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

Menyalakan hygrometer pada setiap lokasi titik-titik pengukuran, lalu mencatat hasil yang tertera pada alat tersebut. Pengambilan data ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan dan dalam selang waktu rata-rata 2 – 3 jam serta ketinggiannya sekitar ketinggian orang pada saat pengukuran, pada setiap lokasi titik-titik pengukuran.

3.3.2 Hasil Pengukuran

Tabel 3.2 Data Laju Kecepatan Udara dan Temperatur (dari anemometer)

| Lokasi | Waktu (h:m) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Avg. |
|--------|-------------|-----------------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 9:15 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 31,5 | 31,5 | 31,4 | 31,6 | 31,8 | 31,56 |
| | 13:56 | Kecepatan (m/s) | 1,53 | 1,16 | 0,96 | 1,46 | 0,9 | 1,202 |
| | | Temperatur (°C) | 30,5 | 30,6 | 30,6 | 30,5 | 30,6 | 30,56 |
| | 16:56 | Kecepatan (m/s) | 0,5 | 0,47 | 0,52 | 0,53 | 0,51 | 0,506 |
| | | Temperatur (°C) | 29,9 | 29,9 | 30 | 30 | 30 | 29,96 |
| 2 | 9:49 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 31,3 | 31,1 | 31,1 | 30,9 | 31,1 | 31,1 |
| | 13:49 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 31,4 | 31,3 | 31,3 | 31,2 | 31,2 | 31,28 |
| | 17:00 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 29,8 | 29,9 | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 30 |
| 3 | 11:15 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0,38 | 0,38 | 0,21 | 0,17 | 0,228 |
| | | Temperatur (°C) | 31,3 | 31,2 | 30,1 | 30,1 | 30,9 | 30,72 |
| | 15:32 | Kecepatan (m/s) | 0,24 | 0,42 | 0,47 | 0,42 | 0,55 | 0,42 |
| | | Temperatur (°C) | 31 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,8 | 30,9 |
| | 17:08 | Kecepatan (m/s) | 0,36 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,47 | 0,43 |
| | | Temperatur (°C) | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,9 | 29,9 | 29,84 |
| 4 | 10:00 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,022 |

| | | | | | | | | |
|---|-------|-----------------|------|------|------|------|------|-------|
| | | Temperatur (°C) | 31,2 | 31,3 | 31,2 | 31,4 | 31,4 | 31,3 |
| | 13:43 | Kecepatan (m/s) | 0,84 | 1,08 | 0,99 | 1,13 | 1,03 | 1,014 |
| | | Temperatur (°C) | 31,2 | 31,3 | 31,3 | 31,1 | 31,1 | 31,2 |
| | 17:03 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 29,8 | 29,9 | 30 | 30 | 30 | 29,94 |
| 5 | 9:34 | Kecepatan (m/s) | 0,67 | 0,68 | 0,65 | 0,62 | 0,42 | 0,608 |
| | | Temperatur (°C) | 31,8 | 31,9 | 31,8 | 31,7 | 31,8 | 31,8 |
| | 14:00 | Kecepatan (m/s) | 0,57 | 0,79 | 0,54 | 0,68 | 0,41 | 0,598 |
| | | Temperatur (°C) | 31,1 | 31,1 | 31,2 | 31,2 | 31,2 | 31,16 |
| | 16:50 | Kecepatan (m/s) | 0,04 | 0,04 | 0,52 | 0,55 | 0,4 | 0,31 |
| | | Temperatur (°C) | 30 | 30 | 30 | 30,1 | 30,3 | 30,08 |
| 6 | 10:09 | Kecepatan (m/s) | 0,02 | 0 | 0,07 | 0,05 | 0 | 0,028 |
| | | Temperatur (°C) | 31,7 | 31,7 | 31,5 | 31,5 | 31,6 | 31,6 |
| | 14:22 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0,14 | 0,13 | 0 | 0,054 |
| | | Temperatur (°C) | 30,2 | 30,2 | 30,5 | 30,5 | 30,4 | 30,36 |
| | 16:35 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 30,1 | 30,1 | 30,3 | 30,4 | 30,4 | 30,26 |
| 7 | 10:18 | Kecepatan (m/s) | 0,3 | 0,55 | 0 | 0,69 | 0 | 0,308 |
| | | Temperatur (°C) | 31,4 | 31,4 | 31,6 | 31,4 | 31,5 | 31,46 |
| | 14:28 | Kecepatan (m/s) | 0,04 | 0 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,012 |
| | | Temperatur (°C) | 30 | 30,1 | 30,3 | 30,4 | 30,4 | 30,24 |
| | 16:46 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 8 | 10:25 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Temperatur (°C) | 31,1 | 31,2 | 31,1 | 31,1 | 31,2 | 31,14 |
| | 14:35 | Kecepatan (m/s) | 0,17 | 0,14 | 0,07 | 0 | 0 | 0,076 |
| | | Temperatur (°C) | 30,1 | 30,1 | 30,2 | 30,3 | 30,2 | 30,18 |
| | 16:40 | Kecepatan (m/s) | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| | | Temperatur (°C) | 29,8 | 30 | 30 | 30,1 | 30,1 | 30 |

Tabel 3.3 Data Laju Kelembapan Udara dan Temperatur (dari Hygrometer)

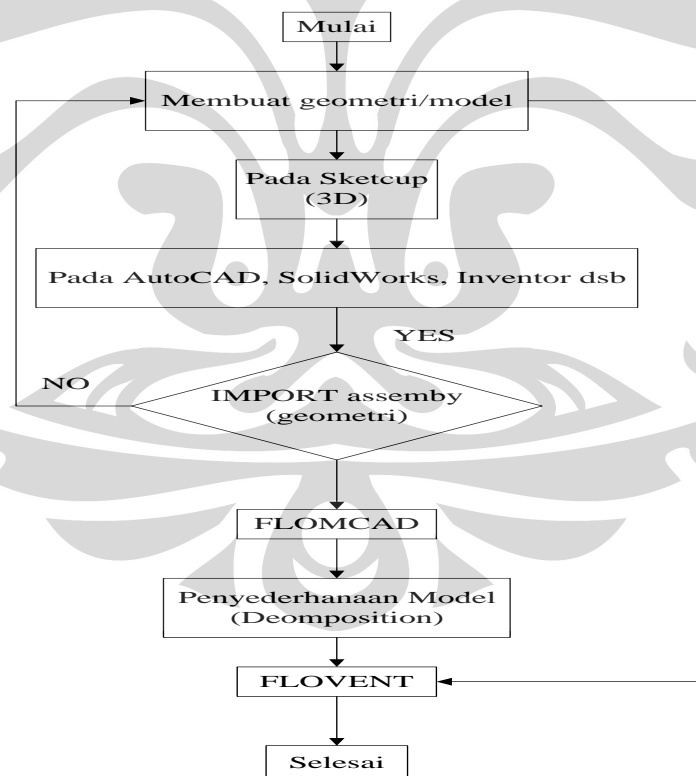
| Lokasi | Waktu (h:m) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Avg. |
|--------|-------------|-----------------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 9:15 | RH (%) | 62 | 62 | 61 | 57 | 58 | 60 |
| | | Temperatur (°C) | 31,9 | 32 | 32,8 | 33,2 | 33,6 | 32,7 |
| | 13:56 | RH (%) | 63 | 63 | 62 | 62 | 61 | 62,2 |
| | | Temperatur (°C) | 31,9 | 31,9 | 31,9 | 31,9 | 31,8 | 31,88 |
| | 16:56 | RH (%) | 70 | 69 | 68 | 68 | 68 | 68,6 |
| | | Temperatur (°C) | 29,9 | 30 | 30 | 30 | 30 | 29,98 |
| 2 | 9:49 | RH (%) | 59 | 58 | 57 | 57 | 58 | 57,8 |

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----------------|-----------------|------|------|------|------|-------|------|
| | 13:49 | Temperatur (°C) | 32,9 | 32,9 | 32,9 | 32,8 | 32,7 | 32,84 | |
| | | RH (%) | 59 | 59 | 60 | 60 | 60 | 59,6 | |
| | 17:00 | Temperatur (°C) | 33,4 | 33,4 | 33,3 | 33,2 | 33,1 | 33,28 | |
| | | RH (%) | 69 | 69 | 69 | 69 | 69 | 69 | |
| | 3 | 11:15 | Temperatur (°C) | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 30,1 |
| | | | RH (%) | 58 | 59 | 59 | 60 | 60 | 59,2 |
| 15:32 | | Temperatur (°C) | 32,9 | 32,8 | 32,8 | 32,7 | 32,7 | 32,78 | |
| | | RH (%) | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | |
| 17:08 | | Temperatur (°C) | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | |
| | | RH (%) | 71 | 70 | 70 | 69 | 69 | 69,8 | |
| 4 | 10:00 | Temperatur (°C) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| | | RH (%) | 54 | 55 | 54 | 53 | 53 | 53,8 | |
| | 13:43 | Temperatur (°C) | 33,3 | 33,4 | 33,4 | 33,5 | 33,6 | 33,44 | |
| | | RH (%) | 60 | 59 | 59 | 58 | 58 | 58,8 | |
| | 17:03 | Temperatur (°C) | 33,6 | 33,6 | 33,6 | 33,7 | 33,7 | 33,64 | |
| | | RH (%) | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | |
| 5 | 9:34 | Temperatur (°C) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| | | RH (%) | 62 | 61 | 61 | 60 | 60 | 60,8 | |
| | 14:00 | Temperatur (°C) | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | |
| | | RH (%) | 62 | 63 | 63 | 63 | 63 | 62,8 | |
| | 16:50 | Temperatur (°C) | 31,7 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | |
| | | RH (%) | 70 | 69 | 69 | 68 | 68 | 68,8 | |
| 6 | 10:09 | Temperatur (°C) | 30,2 | 30,2 | 30,3 | 30,2 | 30,2 | 30,22 | |
| | | RH (%) | 53 | 52 | 53 | 54 | 55 | 53,4 | |
| | 14:22 | Temperatur (°C) | 33,6 | 33,6 | 33,5 | 33,5 | 33,4 | 33,52 | |
| | | RH (%) | 66 | 66 | 67 | 67 | 67 | 66,6 | |
| | 16:35 | Temperatur (°C) | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,3 | 30,22 | |
| | | RH (%) | 67 | 67 | 67 | 68 | 68 | 67,4 | |
| 7 | 10:18 | Temperatur (°C) | 30,4 | 30,4 | 30,4 | 30,4 | 30,4 | 30,4 | |
| | | RH (%) | 57 | 57 | 56 | 56 | 56 | 56,4 | |
| | 14:28 | Temperatur (°C) | 32,5 | 32,5 | 32,5 | 32,4 | 32,4 | 32,46 | |
| | | RH (%) | 70 | 70 | 69 | 70 | 70 | 69,8 | |
| | 16:46 | Temperatur (°C) | 29,9 | 29,9 | 30 | 30 | 30 | 29,96 | |
| | | RH (%) | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | |
| 8 | 10:25 | Temperatur (°C) | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | |
| | | RH (%) | 60 | 59 | 59 | 60 | 60 | 59,6 | |
| | 14:35 | Temperatur (°C) | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 32,5 | 32,5 | 32,44 | |
| | | RH (%) | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | |
| | 16:40 | Temperatur (°C) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| | | RH (%) | 69 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68,2 | |
| | | Temperatur (°C) | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | |

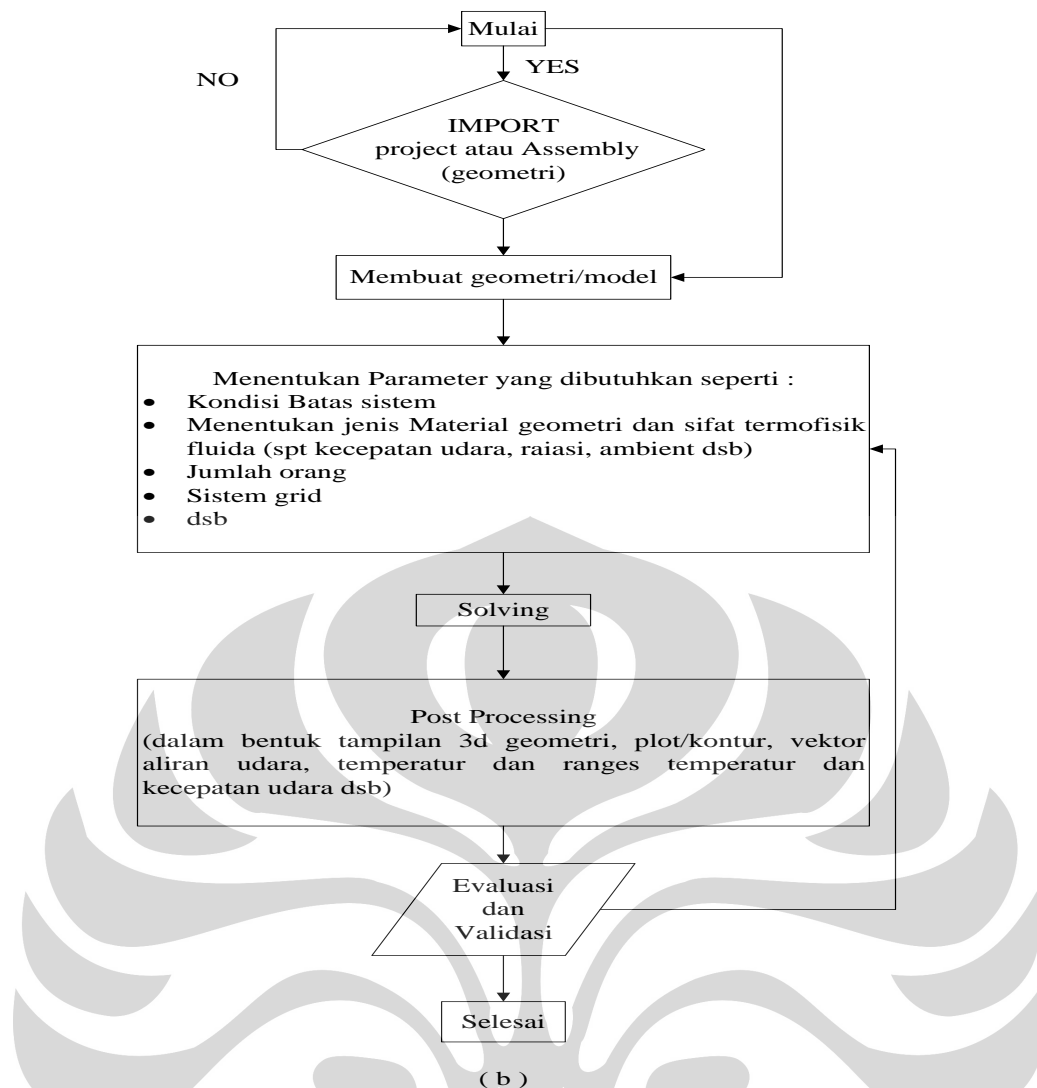
3.4 SIMULASI

Pada dasarnya tahap ini yang dilakukan yaitu untuk menentukan input geometri yang akan diproses atau disimulasikan pada CFD dalam hal ini digunakan program FLOVENT. Input geometri tersebut berdasarkan dari import dari program CAD lain atau membuatnya langsung dalam program FLOVENT tersebut. Setelah geometri tersebut jadi lalu selanjutnya menentukan parameter-parameter (seperti, kondisi batasnya, system gridnya dsb) yang diperlukan setelah itu baru dilakukan proses terhadap hasil yang telah dibuat. Hasil simulasi tersebut diantaranya berupa tampilan geometri, plot/contour dan vektor aliran udara, range kecepatan udara dan temperature dsb.

Asumsi yang digunakan dalam simulasi menggunakan CFD ini antara lain sebagai berikut : Pada kondisi steady state, Udara lingkungan dianggap konstan ($31,272^{\circ}\text{C}$) selama simulasi dan radiasi matahari default (20°C).



(a)



Gambar 3.7 Skema proses (a) pembuatan geometri dan simulasi (b) pada FLOVENT

3.4.1 Pembuatan simulasi pada FLOVENT

Pada tahap ini yang dilakukan yaitu simulasi pada lantai dasar dengan membuat geometri atau model dalam hal ini pada lantai dasar masjid dengan program FLOVENT. Asumsi yang digunakan dalam simulasi menggunakan CFD ini antara lain sebagai berikut : udara bergerak dalam kondisi steady, udara tidak terkompresi (incompressible) ρ konstan, Panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan (udara 20°C), Udara lingkungan diberi input data $31,2^{\circ}\text{C}$ dan radiasi matahari dianggap (default) konstan. Kondisi batasnya

angin yaitu tidak memasukan atau tanpa diberi masukan input kecepatan udara yang berasal dari luar ruangan (asumsi kondisi minimum yaitu pada saat tidak ada angin yang masuk), kondisi batas thermalnya (heat source) dari orang saja (600 orang @medium activity) dan masukan dari peralatan mekanikalnya berupa lampu sebanyak 13 buah dengan @36 watt dalam kondisi lampu menyala saat simulasi dan seluruh geometri (dinding, jendela, lantai, atap dsb) thermal dianggap melakukan konduksi dan tanpa diberi panas (panas tergantung jenis material yang diberikan) sedangkan radiasi dianggap single (seluruh permukaan dianggap sama temperaturnya yang diakibatkan radiasi). Dan aliran modelingnya bersifat turbulen.

Pembuatan geometri ini berdasarkan fasilitas yang ada di program tersebut.

Langkah-langkah pembuatannya yaitu sebagai berikut :

- Membuat dan mengatur sistem pada posisi (0,0,0) dengan ukuran (42,4614;5,02;40,00408)
- Membuat ruangan dengan menggunakan satu buah enclosure
Enclosure : posisi (4,4437,0;6,995) dengan ukuran (32,3791;5,02;25,7727) dengan memberi ketebalan 0,15 m.
- Membuat lubang- lubang ventilasi pada enclosure tersebut pada setiap sisinya dengan menggunakan hole sebagai bukaan atau masuknya angin. Pada enclosure sebanyak 4 buah hole, yaitu pada sisi X-high, Z-low, X-low, dan Z-high.
- Membuat dua buah cuboid sebagai sekat saf wanita yang terdapat pada lantai dasar. Dengan posisi (27,0010;0;13,9418) dengan ketinggian 3 meter dan tebal sekat 0,15.
- Membuat 2 buah cuboid. Sebagai dinding ruangan dalam ruang lantai dasar. Pada cuboid satu (31,5;0;7,09) dengan ukuran (0,15;5,02;13,8), cuboid dua pada posisi (31,5;0;21,70) dengan ukuran (4,9;5,02;0,15),
- Membuat 12 buah silinder, sebagai tiang atau pilar pondasi yang terdapat memancang pada lantai dasar masjid. Dengan memilih cylinder kemudian

masukkan ukuran diameter sebesar 0,598 meter dengan ketinggian 5,02 meter. Dan meletakkannya sesuai dengan ukuran yang terdapat pada Auto CAD.

- Membuat 13 buah lampu TL dengan @36 watt dan panjang lampu 70 cm. Dengan meletakkannya pada koordinat yang sesuai dengan kondisi aktual, dapat terlihat di program Auto CAD.
- Membuat hole, sebagai pintu belakang masjid. Dengan posisi (36,5;0;24,9) dan ukurannya (0.15;3;4)
- Membuat 1 buah sloping blok untuk membuat cuboid yang miring. Sebagai dinding bidang miring yang terdapat pada lantai dasar. Untuk mempermudah pembuatan arah kemiringan slop, kita dapat menggunakan angle view pada bidang X-Z. Kemudian diberi ketebalan sebesar 0,15 m.
- Dan dalam pemberian material, pada enclosure (dinding), sloping blok (dinding miring), cylinder (tiang beton) ketiga komponen tersebut diberi jenis material yang sama yaitu concrete block. Untuk cuboid sebagai sekat saf wanita diberi jenis material fiberglass.

3.4.2 Validasi Model Simulasi

Validasi dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan hasil pada model pada lokasi titik-titik tertentu yang diinginkan atau ditentukan pada pengukuran. Besarnya error (%) antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi. Besarnya error dihitung dengan persamaan :

$$Error (\%) = \left[\frac{C_{pengukuran} - C_{model}}{C_{pengukuran}} \right] \times 100$$

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

4.1 HASIL PENGUKURAN

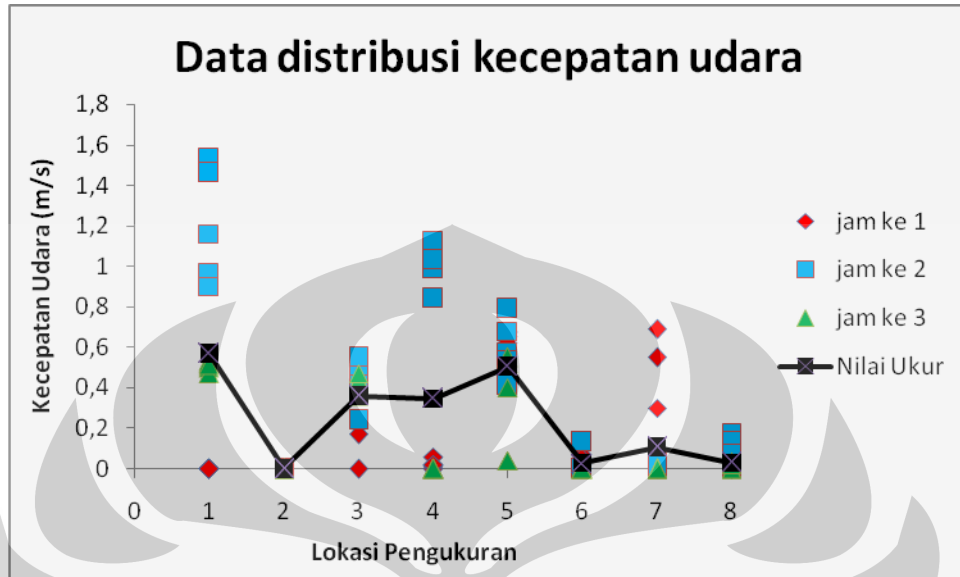
4.1.1 Hasil Pengukuran Eksperimen

Dari pengukuran yang telah dilakukan pada lantai dasar Masjid At-Tahuhid ARH UI didapatkan data-data hasil pengukuran aktual berdasarkan data yang diambil pada hari sabtu tanggal 22 November 2008 dengan kondisi cuaca cerah. Data tersebut digunakan sebagai data input dan untuk validasi terhadap simulasi yang dibuat.

Tabel 4.1 Data distribusi kecepatan udara

| Posisi | Jam | Waktu Pengukuran ke | Nilai pada pengukuran | | | | | avg | SD | SDavg | Nilai ukur |
|--------|-------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|---------|-------|------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | |
| 1 | 9:15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,027 | 0,5693 |
| | 13:56 | 2 | 1,53 | 1,16 | 0,96 | 1,46 | 0,9 | 1,2 | 0,08142 | | |
| | 16:56 | 3 | 0,5 | 0,47 | 0,52 | 0,53 | 0,51 | 0,51 | 0,00053 | | |
| 2 | 9:49 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 |
| | 13:49 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 17:00 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 3 | 11:15 | 1 | 0 | 0,38 | 0,38 | 0,21 | 0,17 | 0,23 | 0,02547 | 0,013 | 0,3593 |
| | 15:32 | 2 | 0,24 | 0,42 | 0,47 | 0,42 | 0,55 | 0,42 | 0,01295 | | |
| | 17:08 | 3 | 0,36 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,47 | 0,43 | 0,0017 | | |
| 4 | 10:00 | 1 | 0 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00052 | 0,004 | 0,3453 |
| | 13:43 | 2 | 0,84 | 1,08 | 0,99 | 1,13 | 1,03 | 1,01 | 0,01223 | | |
| | 17:03 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 5 | 9:34 | 1 | 0,67 | 0,68 | 0,65 | 0,62 | 0,42 | 0,61 | 0,01157 | 0,032 | 0,5053 |
| | 14:00 | 2 | 0,57 | 0,79 | 0,54 | 0,68 | 0,41 | 0,6 | 0,02077 | | |
| | 16:50 | 3 | 0,04 | 0,04 | 0,52 | 0,55 | 0,4 | 0,31 | 0,0639 | | |
| 6 | 10:09 | 1 | 0,02 | 0 | 0,07 | 0,05 | 0 | 0,03 | 0,00097 | 0,002 | 0,0273 |
| | 14:22 | 2 | 0 | 0 | 0,14 | 0,13 | 0 | 0,05 | 0,00548 | | |
| | 16:35 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 7 | 10:18 | 1 | 0,3 | 0,55 | 0 | 0,69 | 0 | 0,31 | 0,09857 | 0,033 | 0,1067 |
| | 14:28 | 2 | 0,04 | 0 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,00027 | | |
| | 16:46 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|------|------|------|------|------|------|---------|-------|--------|
| 8 | 10:25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,002 | 0,0287 |
| | 14:35 | 2 | 0,17 | 0,14 | 0,07 | 0 | 0 | 0,08 | 0,00613 | | |
| | 16:40 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,0002 | | |

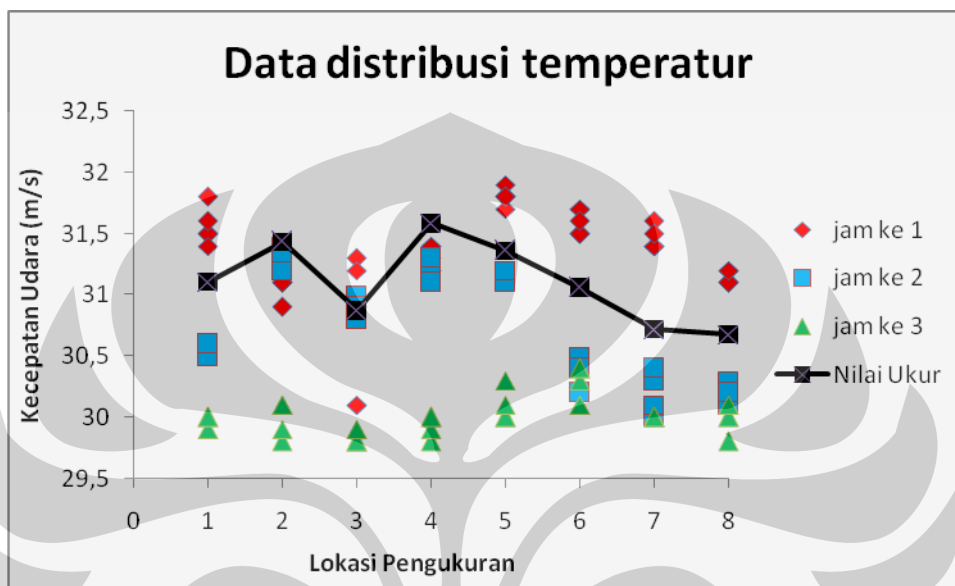


Grafik 4.1 Distribusi kecepatan udara

Tabel 4.2 Data distribusi temperatur udara

| Posisi | Jam | Waktu Pengukuran ke | Nilai pada pengukuran | | | | | avg | SD | SDavg | Nilai ukur |
|--------|-------|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | |
| 1 | 9:15 | 1 | 31,5 | 31,5 | 31,4 | 31,6 | 31,8 | 31,6 | 0,023 | 0,01 | 31,1067 |
| | 13:56 | 2 | 30,5 | 30,6 | 30,6 | 30,5 | 30,6 | 30,6 | 0,003 | | |
| | 16:56 | 3 | 29,9 | 29,9 | 30 | 30 | 30 | 30 | 0,003 | | |
| 2 | 9:49 | 1 | 31,3 | 31,1 | 31,1 | 30,9 | 31,1 | 31,1 | 0,02 | 0,016 | 31,4333 |
| | 13:49 | 2 | 31,4 | 31,3 | 31,3 | 31,2 | 31,2 | 31,3 | 0,007 | | |
| | 17:00 | 3 | 29,8 | 29,9 | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 30 | 0,02 | | |
| 3 | 11:15 | 1 | 31,3 | 31,2 | 30,1 | 30,1 | 30,9 | 30,7 | 0,342 | 0,117 | 30,8733 |
| | 15:32 | 2 | 31 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,8 | 30,9 | 0,005 | | |
| | 17:08 | 3 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,9 | 29,9 | 29,8 | 0,003 | | |
| 4 | 10:00 | 1 | 31,2 | 31,3 | 31,2 | 31,4 | 31,4 | 31,3 | 0,01 | 0,009 | 31,58667 |
| | 13:43 | 2 | 31,2 | 31,3 | 31,3 | 31,1 | 31,1 | 31,2 | 0,01 | | |
| | 17:03 | 3 | 29,8 | 29,9 | 30 | 30 | 30 | 29,9 | 0,008 | | |
| 5 | 9:34 | 1 | 31,8 | 31,9 | 31,8 | 31,7 | 31,8 | 31,8 | 0,005 | 0,008 | 31,36 |
| | 14:00 | 2 | 31,1 | 31,1 | 31,2 | 31,2 | 31,2 | 31,2 | 0,003 | | |
| | 16:50 | 3 | 30 | 30 | 30 | 30,1 | 30,3 | 30,1 | 0,017 | | |
| 6 | 10:09 | 1 | 31,7 | 31,7 | 31,5 | 31,5 | 31,6 | 31,6 | 0,01 | 0,019 | 31,0600 |
| | 14:22 | 2 | 30,2 | 30,2 | 30,5 | 30,5 | 30,4 | 30,4 | 0,023 | | |
| | 16:35 | 3 | 30,1 | 30,1 | 30,3 | 30,4 | 30,4 | 30,3 | 0,023 | | |
| 7 | 10:18 | 1 | 31,4 | 31,4 | 31,6 | 31,4 | 31,5 | 31,5 | 0,008 | 0,014 | 30,7200 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|------|------|------|------|------|------|-------|-------|---------|
| | 14:28 | 2 | 30 | 30,1 | 30,3 | 30,4 | 30,4 | 30,2 | 0,033 | | |
| | 16:46 | 3 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 0 | | |
| 8 | 10:25 | 1 | 31,1 | 31,2 | 31,1 | 31,1 | 31,2 | 31,1 | 0,003 | 0,008 | 30,6767 |
| | 14:35 | 2 | 30,1 | 30,1 | 30,2 | 30,3 | 30,2 | 30,2 | 0,007 | | |
| | 16:40 | 3 | 29,8 | 30 | 30 | 30,1 | 30,1 | 30 | 0,015 | | |

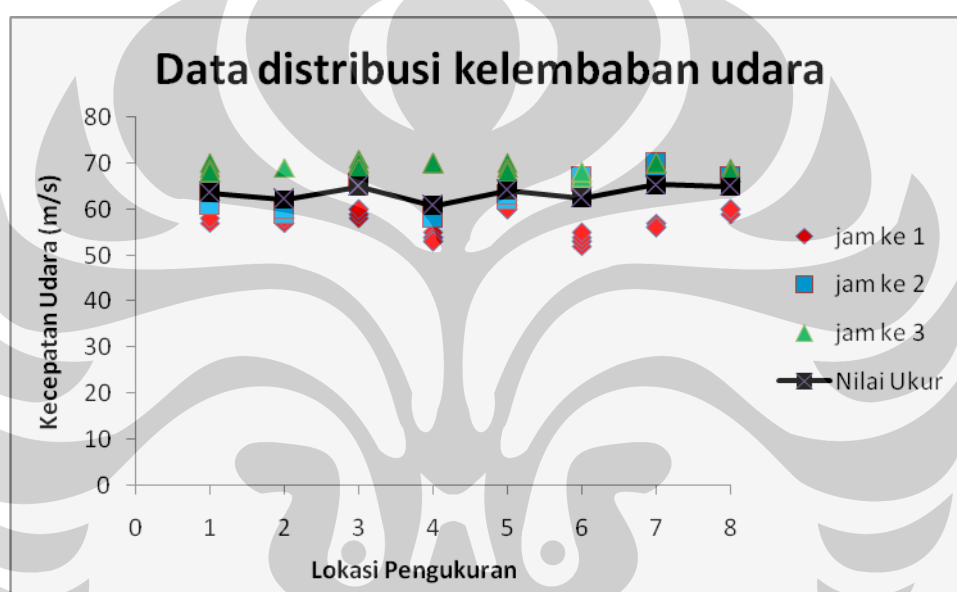


Grafik 4.2 Distribusi temperatur

Tabel 4.3 Data distribusi kelembaban udara

| Posisi | Jam | Waktu Pengukuran ke | Nilai pada pengukuran | | | | | avg | SD | SDavg | Nilai ukur |
|--------|-------|---------------------|-----------------------|----|----|----|----|------|-----|-------|------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | |
| 1 | 9:15 | 1 | 62 | 62 | 61 | 57 | 58 | 60 | 5,5 | 2,333 | 63,6000 |
| | 13:56 | 2 | 63 | 63 | 62 | 62 | 61 | 62,2 | 0,7 | | |
| | 16:56 | 3 | 70 | 69 | 68 | 68 | 68 | 68,6 | 0,8 | | |
| 2 | 9:49 | 1 | 59 | 58 | 57 | 57 | 58 | 57,8 | 0,7 | 0,333 | 62,1333 |
| | 13:49 | 2 | 59 | 59 | 60 | 60 | 60 | 59,6 | 0,3 | | |
| | 17:00 | 3 | 69 | 69 | 69 | 69 | 69 | 69 | 0 | | |
| 3 | 11:15 | 1 | 58 | 59 | 59 | 60 | 60 | 59,2 | 0,7 | 0,467 | 65,0000 |
| | 15:32 | 2 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 0 | | |
| | 17:08 | 3 | 71 | 70 | 70 | 69 | 69 | 69,8 | 0,7 | | |
| 4 | 10:00 | 1 | 54 | 55 | 54 | 53 | 53 | 53,8 | 0,7 | 0,467 | 60,86667 |
| | 13:43 | 2 | 60 | 59 | 59 | 58 | 58 | 58,8 | 0,7 | | |
| | 17:03 | 3 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 0 | | |
| 5 | 9:34 | 1 | 62 | 61 | 61 | 60 | 60 | 60,8 | 0,7 | 0,533 | 64,13333 |
| | 14:00 | 2 | 62 | 63 | 63 | 63 | 63 | 62,8 | 0,2 | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|----|----|----|----|----|------|-----|-------|---------|
| | 16:50 | 3 | 70 | 69 | 69 | 68 | 68 | 68,8 | 0,7 | | |
| 6 | 10:09 | 1 | 53 | 52 | 53 | 54 | 55 | 53,4 | 1,3 | 0,633 | 62,4667 |
| | 14:22 | 2 | 66 | 66 | 67 | 67 | 67 | 66,6 | 0,3 | | |
| | 16:35 | 3 | 67 | 67 | 67 | 68 | 68 | 67,4 | 0,3 | | |
| 7 | 10:18 | 1 | 57 | 57 | 56 | 56 | 56 | 56,4 | 0,3 | 0,167 | 65,4000 |
| | 14:28 | 2 | 70 | 70 | 69 | 70 | 70 | 69,8 | 0,2 | | |
| | 16:46 | 3 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 0 | | |
| 8 | 10:25 | 1 | 60 | 59 | 59 | 60 | 60 | 59,6 | 0,3 | 0,167 | 64,9333 |
| | 14:35 | 2 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 0 | | |
| | 16:40 | 3 | 69 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68,2 | 0,2 | | |

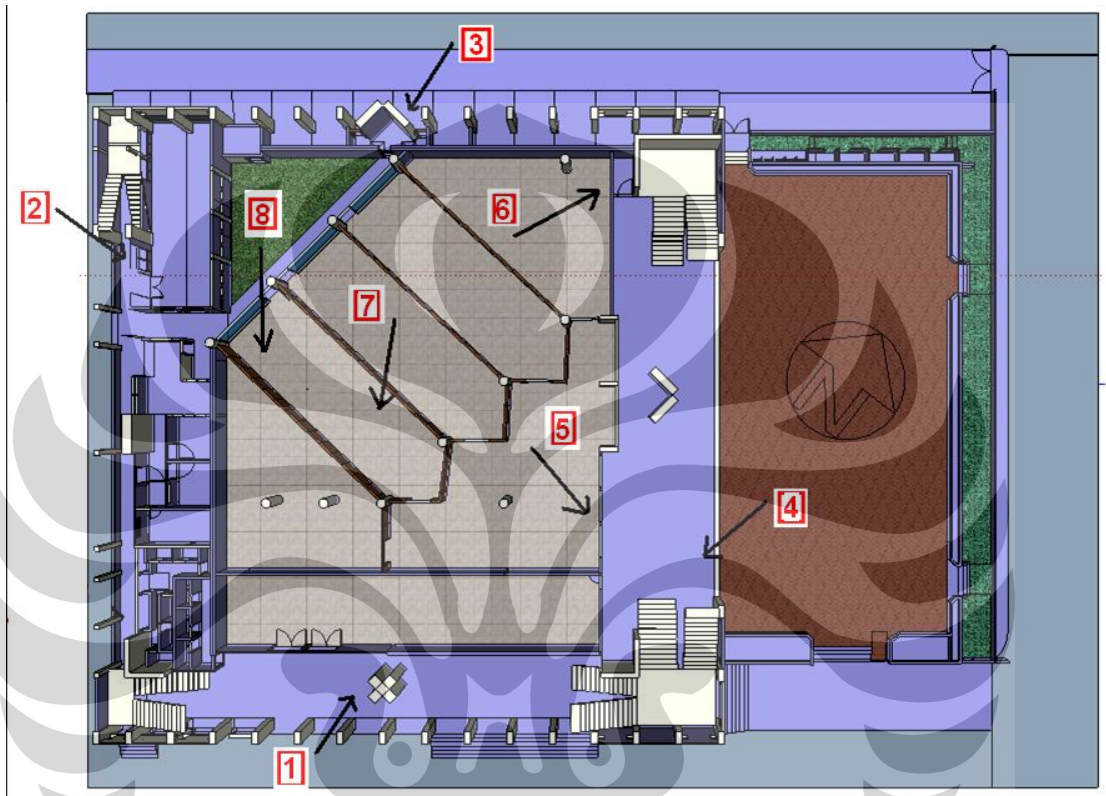


Grafik 4.3 Distribusi kelembaban udara

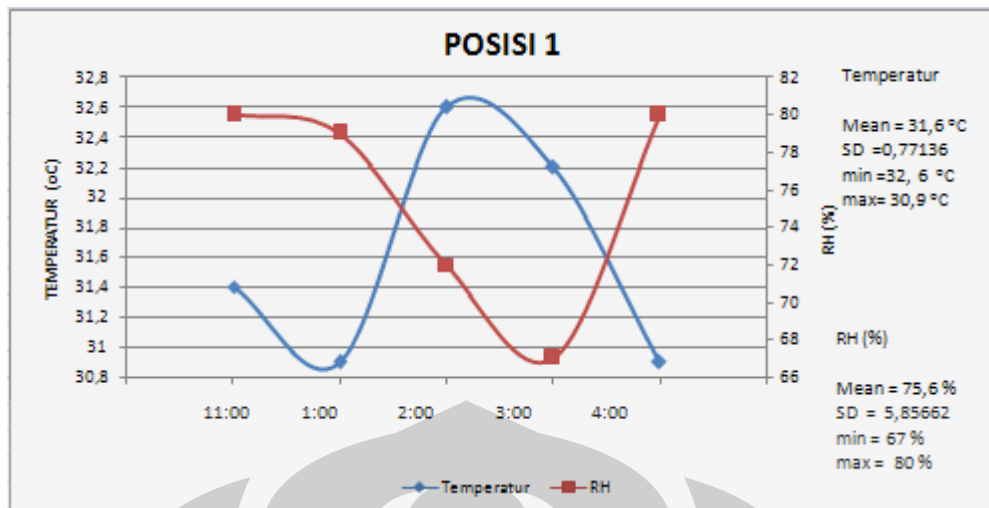
Terlihat bahwa pada grafik tersebut, rata-rata kelembaban udara pada ruangan tersebut yaitu besarnya $\pm 63\%$. Dan bila dibandingkan dengan acuan kenyamanan termis yang disyaratkan untuk ruangan nyaman yaitu besarnya antara 30 - 60 %, Nilainya diatas dari acuan tersebut.

Hasil Pengukuran Temperatur dan RH (%)

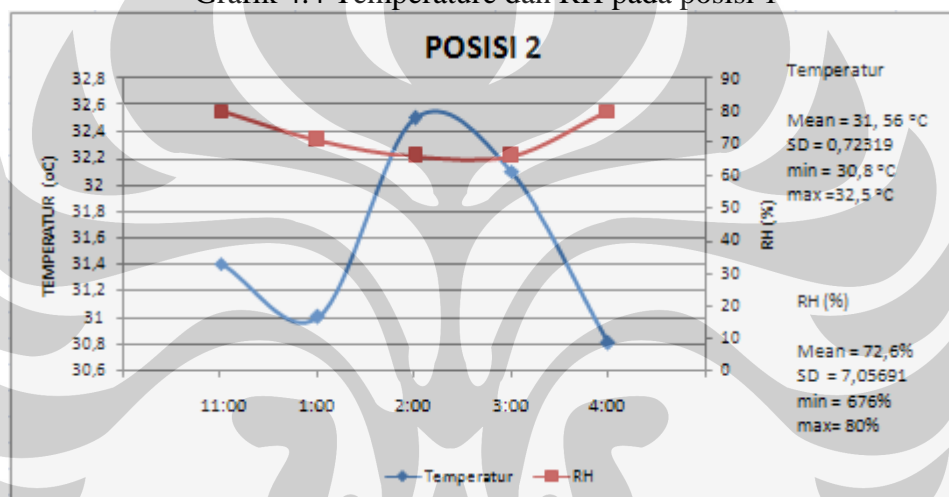
Berikut merupakan hasil pengukuran yang dilakukan pada lantai dasar Masjid At-Tahuhid ARH UI pada hari sabtu tanggal 19 Desember 2008 dengan kondisi cuaca cerah berawan. Data tersebut digunakan untuk mengetahui pada pukul berapa temperature dan RH berada di nilai maksimum dan minimum, kemudian sebagai pembandingan pada pengukuran sebelumnya untuk analisis penelitian. Dengan mengambil pada 8 titik di lantai dasar.



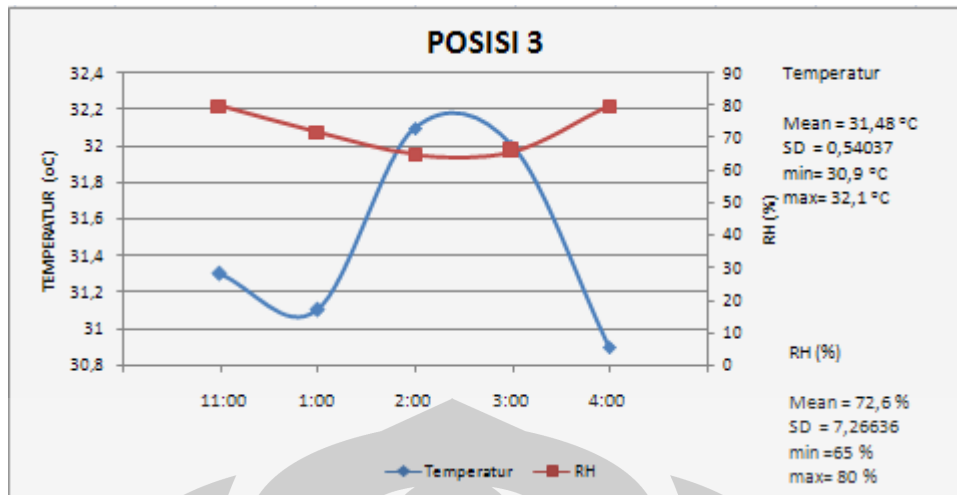
Gambar 4.1 Lokasi delapan titik pengukuran



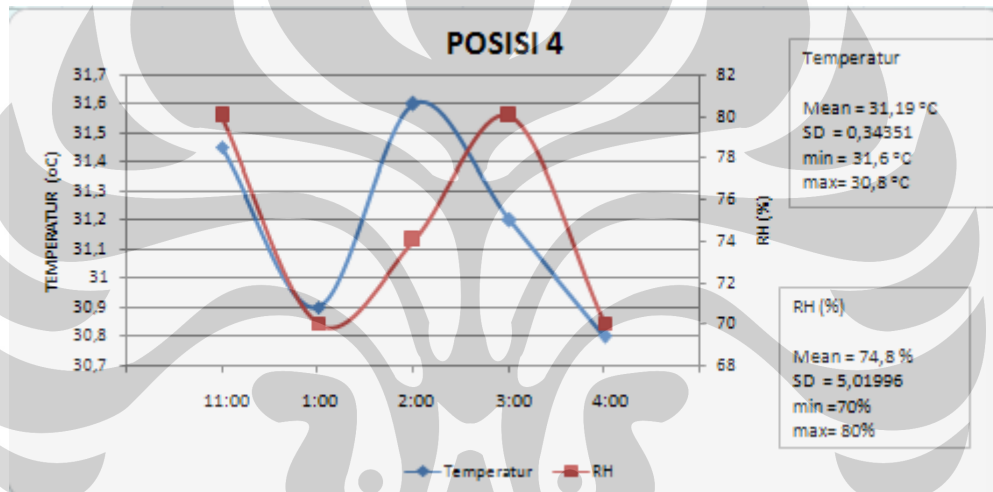
Grafik 4.4 Temperature dan RH pada posisi 1



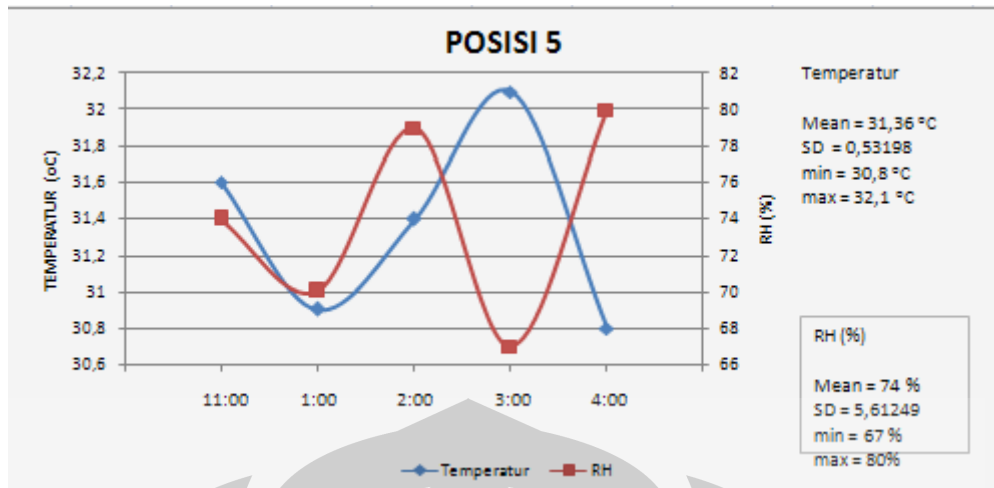
Grafik 4.5 Temperature dan RH pada posisi 2



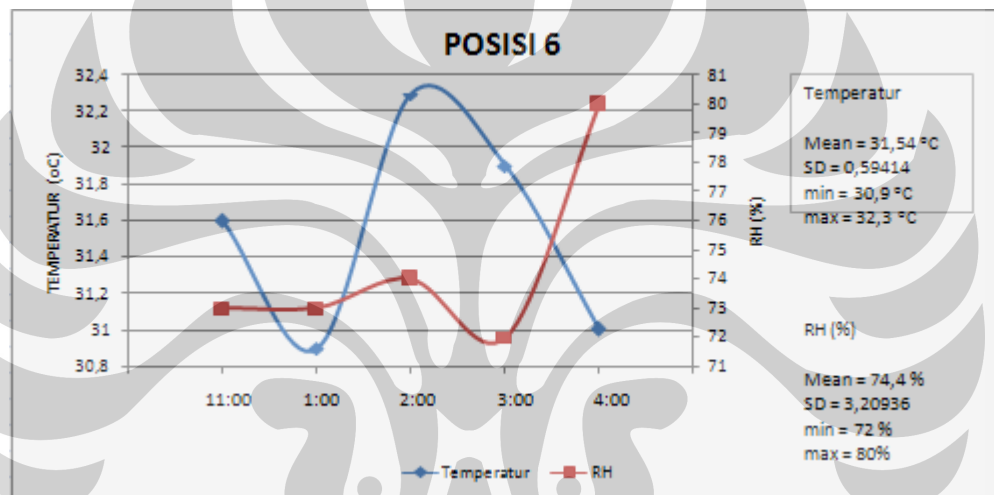
Grafik 4.6 Temperature dan RH pada posisi 3



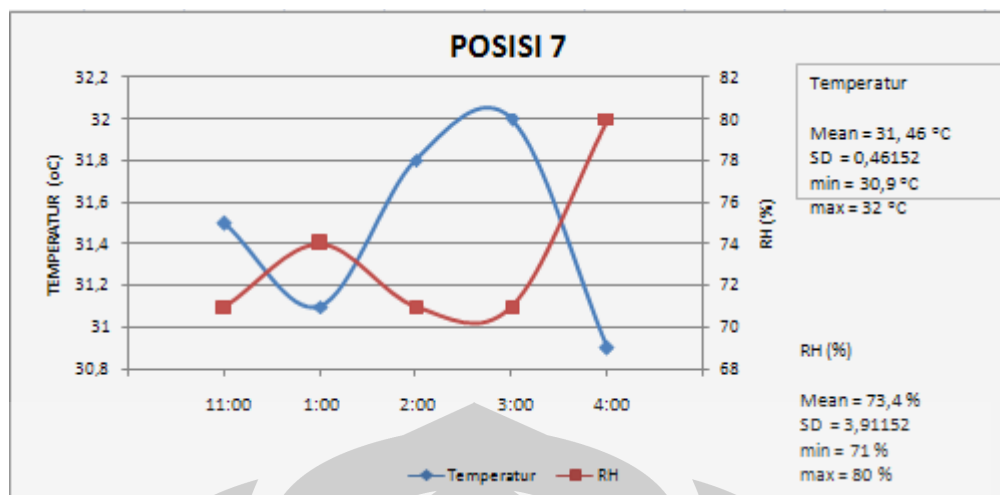
Grafik 4.7 Temperature dan RH pada posisi 4



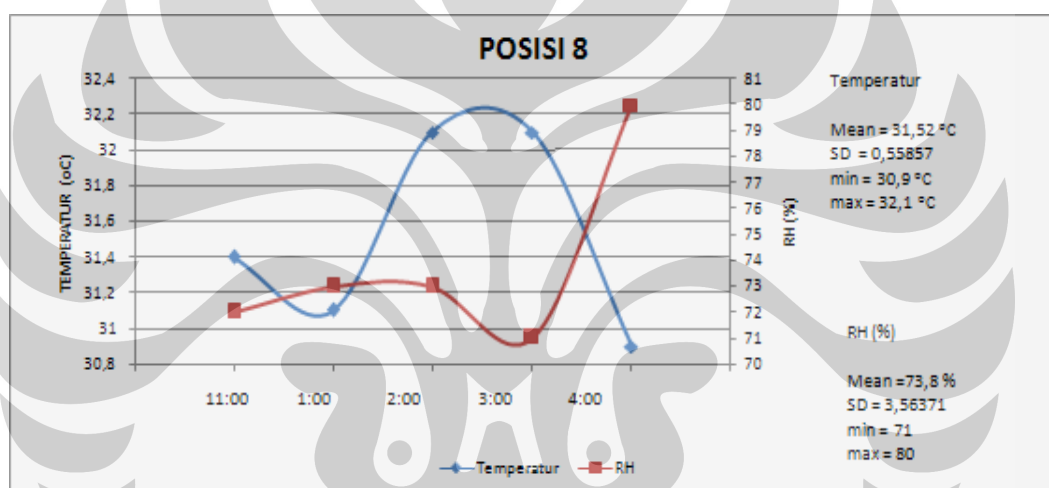
Grafik 4.8 Temperature dan RH pada posisi 5



Grafik 4.9 Temperature dan RH pada posisi 6



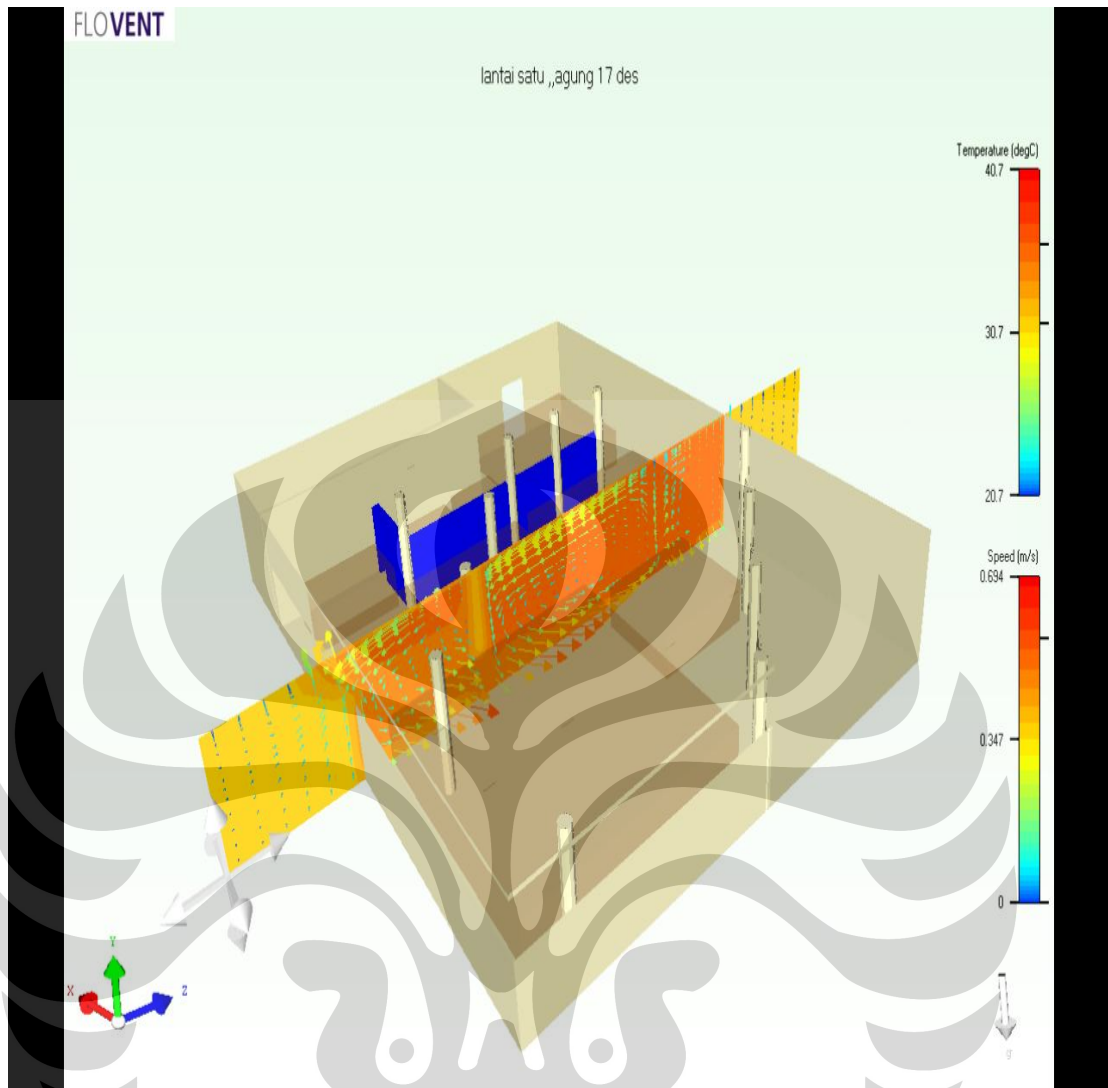
Grafik 4.10 Temperature dan RH pada posisi 7



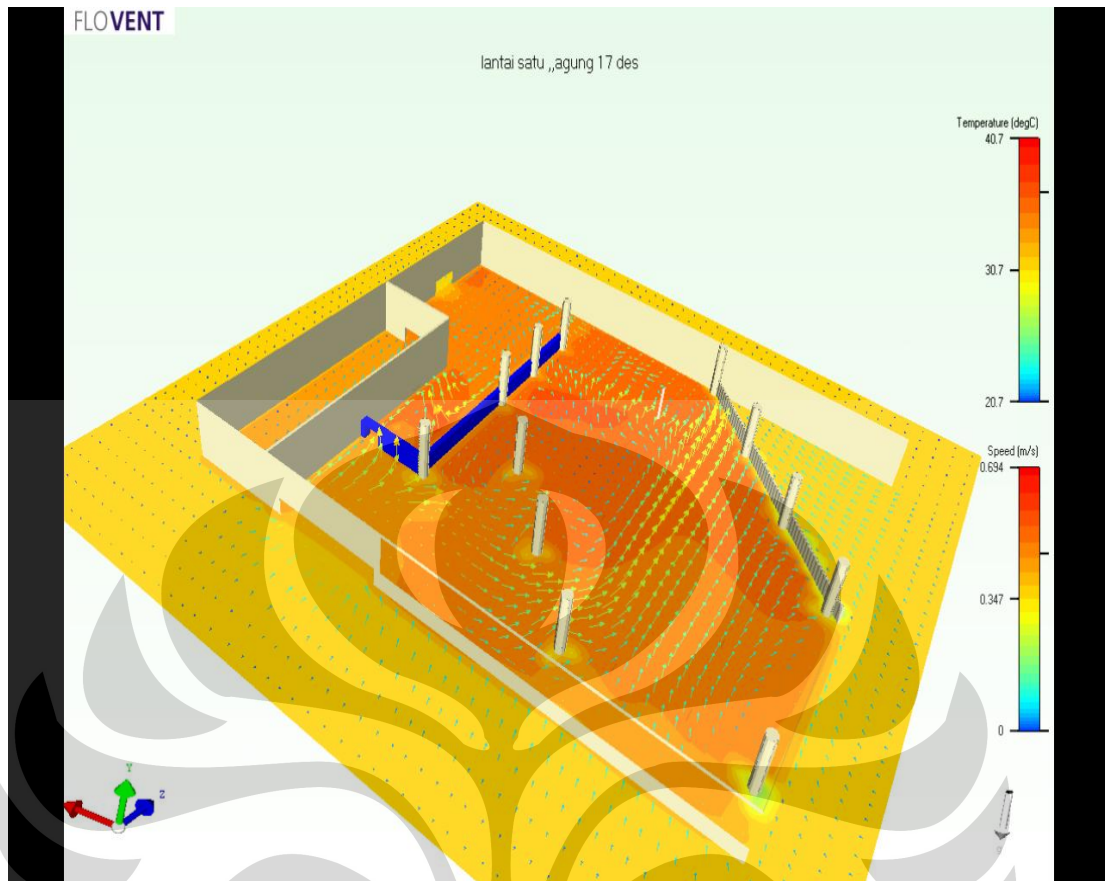
Grafik 4.11 Temperature dan RH pada posisi 8

4.1.2 Hasil Simulasi CFD

Berikut adalah hasil simulasi CFD pada lantai dasar Masjid At-Tahuid ARH UI dengan menggunakan FLOVENT, yang di simulasikan pada saat ruang berisikan sejumlah 600 orang dengan kegiatan sedang atau medium activity (@80 watt), kondisi lampu menyala sebanyak 13 buah @ 36 watt dan tanpa fan serta tidak diberi masukan input kecepatan udara yang berasal dari luar ruangan tersebut berdasarkan data input yang diambil berdasarkan pada hari sabtu tanggal 22 November 2008 dengan kondisi cuaca cerah. Hasil simulasi tersebut berupa distribusi dan nilai aliran udara dan temperatur dalam bentuk irisan kontur melintang dan vektor kecepatan aliran dan pembentukan suhu udara di dalam ruangan tersebut pada setiap lokasi titik-titik pengukuran.

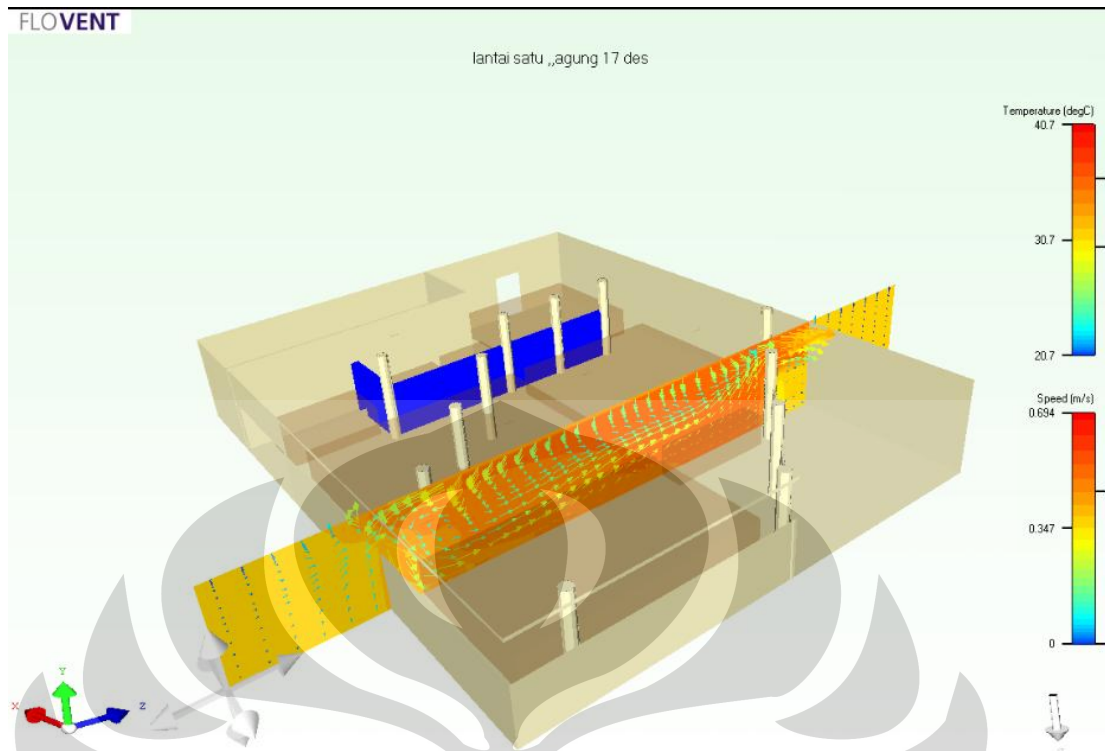


Gambar 4.2 Distribusi dan temperature (bidang X) pada lokasi



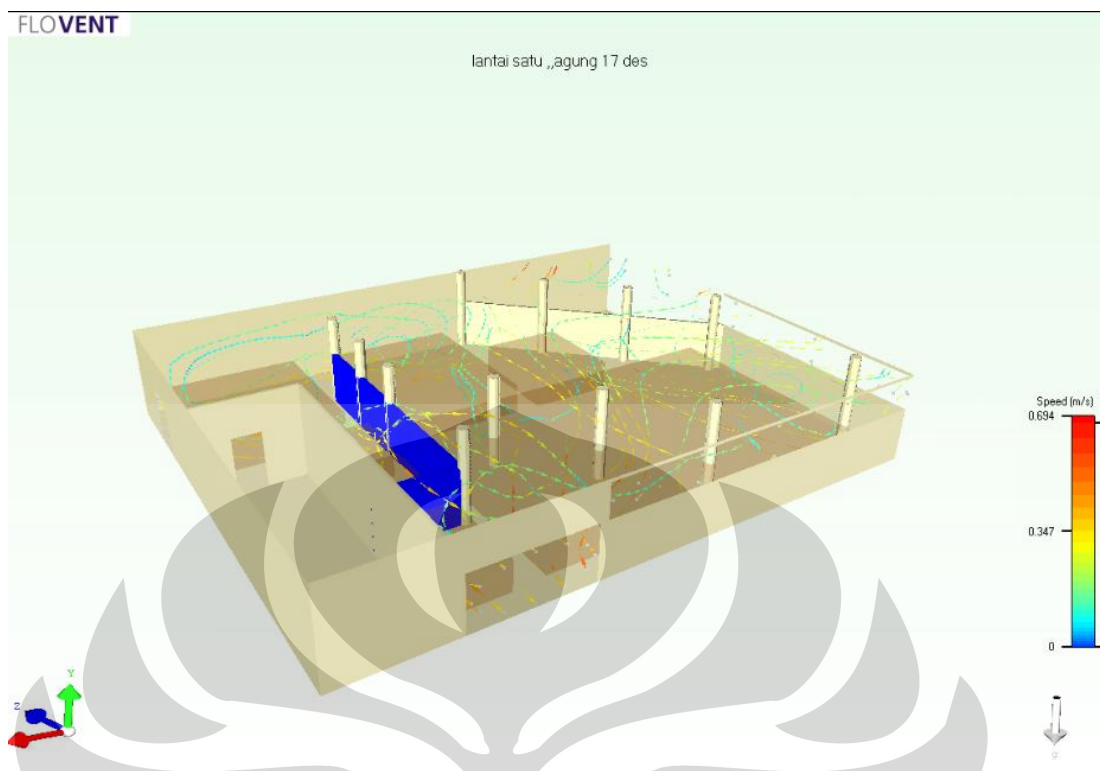
Gambar 4.3 Distribusi aliran udara dan temperature (bidang Y) pada lokasi dengan ketinggian 1,7 m

Dari plot distribusi aliran udara dan temperature pada bidang X, dapat dilihat bahwa temperatur didalam ruangan berkisar ± 32 °C, sedikit lebih tinggi dibandingkan temperature luar yaitu sebesar 31,27 °C, hal ini dikarenakan adanya panas yang ditimbulkan dengan adanya penambahan beban yaitu sejumlah 600 orang dengan aktivitas sedang (bergerak ketika shalat) dan ada aliran udara yang disebabkan karena adanya perbedaan tekanan temperature pada didalam ruangan dengan di luar ruangan tersebut. Hal ini sejalan dengan yang dikemukakan oleh pada dasar teori yang disebutkan, dimana perbedaan tekanan udara dan perbedaan temperatur lingkungan menyebabkan terjadinya pergerakan udara dengan laju yang sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin. Kemudian pada lokasi tengah terdapat nilai temperature 32,77 °C, selain disebabkan panas orang juga karena lokasinya yang terhalang oleh sekat dari ventilasi.



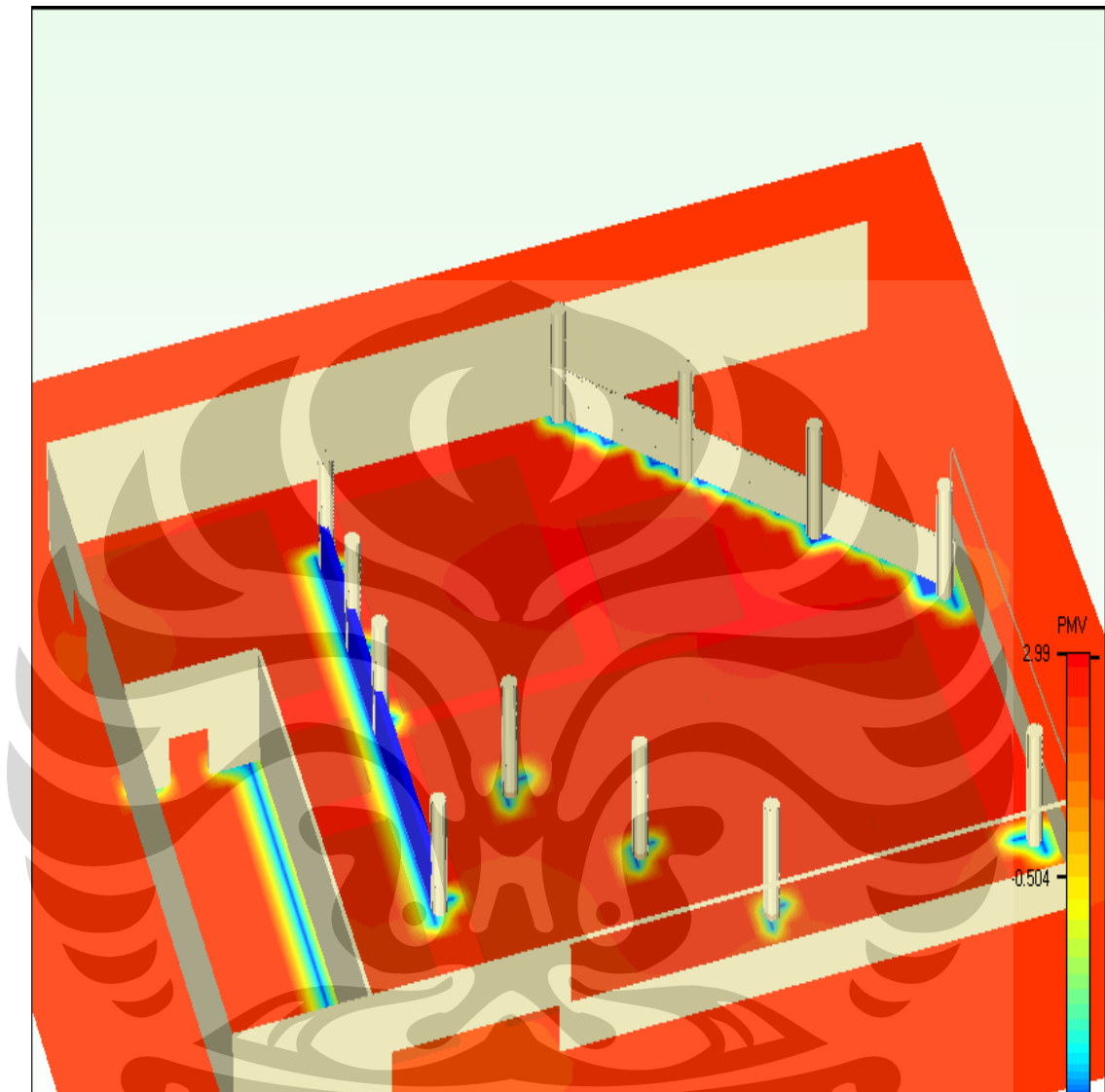
Gambar 4.4 Distribusi aliran udara (bidang X)

Terlihat pada gambar bahwa perbedaan temperature luar dengan temperature dalam tidak terlalu signifikan sehingga aliran udara yang masuk dari bukaan menuju kedalam dan vector udara menuju keatas kemudian membentuk siklus dan sebagian menuju keluar menuju bukaan-bukaan atau ventilasi, hal ini disebabkan karena adanya faktor termal/buoyancy yaitu udara yang masa jenisnya lebih ringan (udara panas) akan diatas sedangkan udara yang masa jenisnya rendah (udara dingin) ada dibawah.



Gambar 4.5 Gambar jalur atau track aliran yang berasal dari ventilasi

Gambar diatas menunjukkan jalur atau track aliran yang berasal dari bukaan-bukaan, terlihat dari bidang dan jalur aliran tersebut ada bagian dari lokasi-lokasi tertentu yang ada diruangan tersebut yang tidak dilalui oleh aliran tersebut, ini disebabkan letaknya yang jauh dari bukaan-bukaan yang ada dan karena terhalang atau ada penghalang yang ada. Aliran ini terjadi karena perbedaan temperatur didalam dan di luar ruangan. Aliran tersebut bergerak secara vertikal dan horizontal serta ada yang laminar dan turbulen dengan kisaran nilai sebesar $\pm 0,34$ m/s – 0,6 m/s.



Gambar 4.6 Gambar PMV pada bidang Y (1,7 m)

Gambar diatas yaitu hasil perhitungan dan simulasi untuk Prediksi Sensasi Termis Rata-rata (Predicted Mean Vote (PMV)). Dari gambar tersebut nilai PMV rata-rata ruangan atau sebagian besar berada pada interval hangat (Slightly warm) +1 sampai dengan agak panas (warm) +2. Ini disebabkan temperature rata-rata ruangan tersebut bekisar 32° C atau diatas acuan kenyamanan thermal dari ASHRAE, karena FLOVENT menghitung index PMV tersebut berdasarkan rumus standar tersebut.

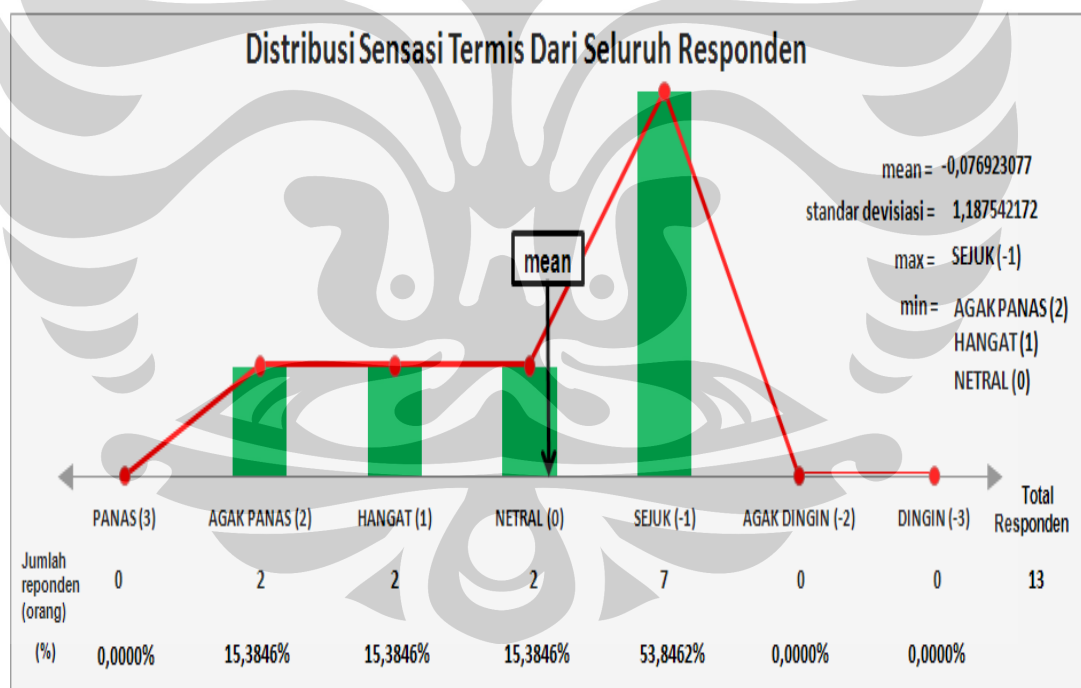


4.1.3 Hasil Kuesioner

Berikut adalah hasil pengolahan data kuesioner yang dilakukan pada ruangan tersebut :

Table 4.4 Kuesioner persepsi kenyamanan termis pada lantai dasar

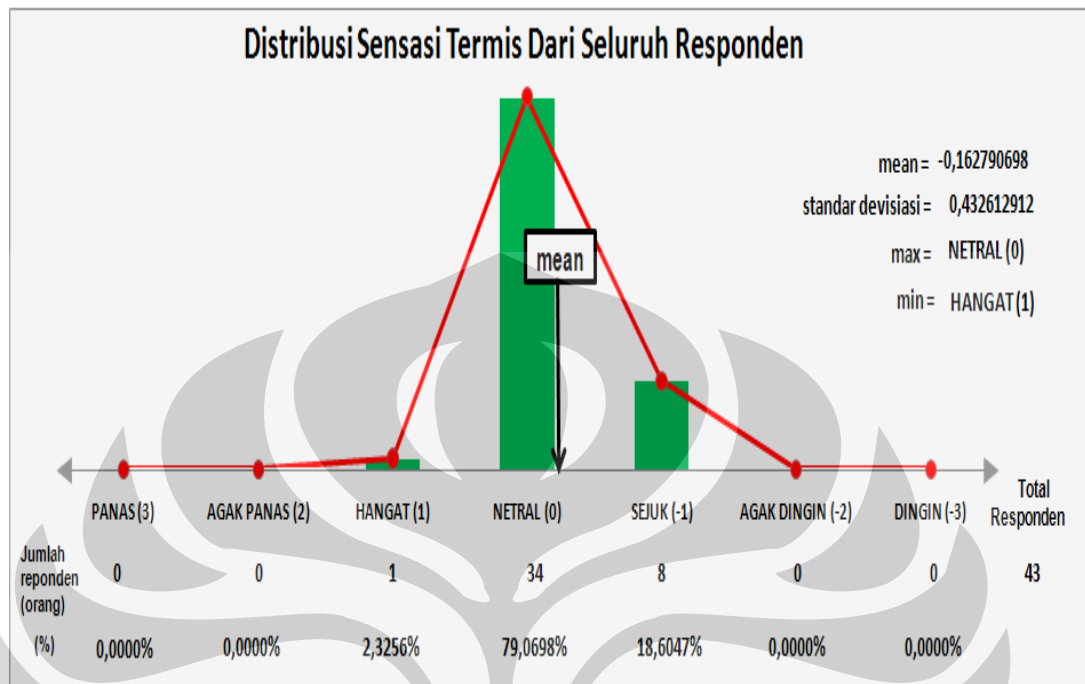
| Sensasi termis yang dirasakan | Umur | | Jumlah reponden | (%) |
|-------------------------------|----------|----------|-----------------|-------|
| | < 40 thn | > 40 thn | | |
| PANAS | | | | 0% |
| AGAK PANAS | 1 | 1 | 2 | 15% |
| HANGAT | 2 | | 2 | 15% |
| NETRAL | 1 | 1 | 2 | 15% |
| SEJUK | 5 | 2 | 7 | 54% |
| AGAK DINGIN | | | | 0% |
| DINGIN | | | | 0% |
| | | Σ | 13 | 100% |



Grafik 4.12 Kuesioner persepsi kenyamanan termis pada lantai dasar pada 22 November 2008, cuaca cerah.

Hasil kuesioner diperoleh rata-rata orang merasakan sensasi sejuk sebesar 54% dari total 13 orang responde dengan nilai max (-1 = sejuk). Dengan rata-rata -0,0769 atau berada di daerah netral dan sejuk sedangkan standar deviasi data tersebut sebesar 1,18754. Pada saat pengambilan data orang yang melakukan

shalat di ruangan tersebut hampir memenuhi dari kapasitas yang ada diruangan tersebut.



Gambar 4.13 Grafik hasil kuesioner pada Jumat, tanggal 19 Desember 2008
Keadaan Cuaca berawan (pagi s.d siang) ; Sore hujan ringan

Dari grafik tersebut maksimum reponden memilih netral (0) sebanyak 34 orang dan sejuk (-1) sebanyak 8 orang dan minimum memilih hangat (1) sebanyak 1 orang dari total reponden berjumlah 43 orang. Dan rata-rata pada hasil kuesioner ini -0,162790698 atau berada di interval netral (0) dengan sejuk (-1), sedangkan standar devisiasi data tersebut sebesar 0.43261. Pada saat pengambilan data belum kipas angin yang dipasang atau dinyalakan sebanyak 3 buah dan orang yang melakukan shalat di ruangan tersebut hampir memenuhi dari kapasitas yang ada diruangan tersebut.

4.2 ANALISA HASIL PENGUKURAN DAN SIMULASI

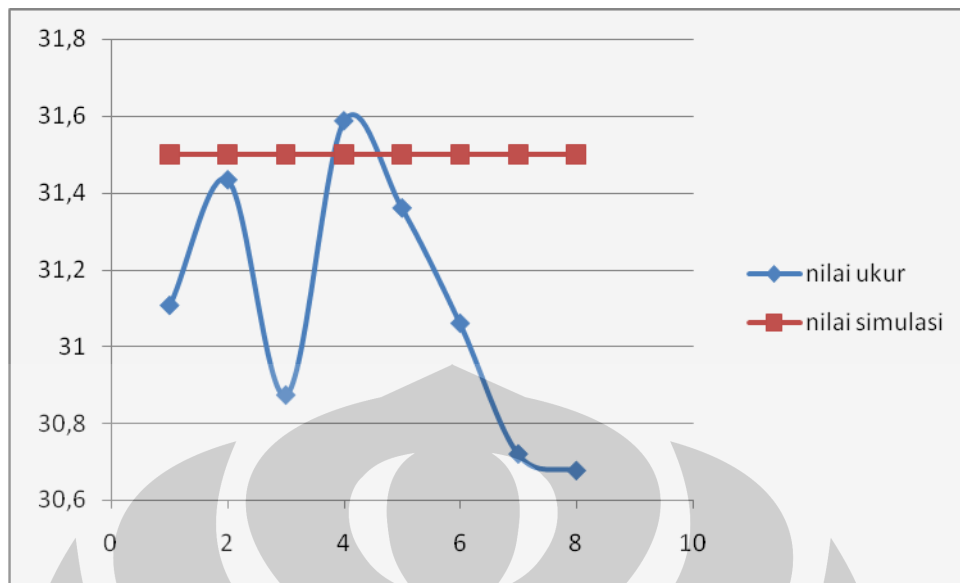
Analisa simulasi ini meliputi menerangkan bahwa apakah hasil simulasi yang telah dibuat telah sesuai (valid) berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada hari sabtu tanggal 22 November 2008 atau sesuai keadaan aktual atau kondisi pada bangunan tersebut dengan simulasi yang dilakukan yaitu pada saat ruang kosong dan tanpa sumber panas yang ada seperti dari orang dan peralatan mekanikalnya serta tanpa diberi masukan input kecepatan udara yang berasal dari luar ruangan dan melakukan variasi simulasi yaitu dengan menambahkan jumlah orang pada ruangan tersebut serta membandingkan hasil simulasi dengan data hasil kuesioner yang dilakukan pada lantai tersebut berdasarkan dua kali hasil pengambilan data kuesioner, apakah keadaannya telah sesuai dengan acuan kenyamanan dari segi termis yang telah disebutkan dalam dasar teori dan bagaimana persepsi/tanggapan orang yang melakukan kegiatan di ruangan tersebut.

Analisis Temperatur Udara

Berdasarkan hasil pengukuran sabtu tanggal 22 November 2008 dengan hasil simulasi yang dibuat didapat sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai ukur dan simulai serta error temperatur udara tanpa ada beban orang

| Posisi | Nilai ukur (°C) | Nilai simulasi (°C) | Error (%) |
|--------|-----------------|---------------------|-----------|
| 1 | 31,10666667 | 31.5 | 1,2644 |
| 2 | 31,43333333 | 31.5 | 0,212089 |
| 3 | 30,87333333 | 31.5 | 2,029799 |
| 4 | 31,58666667 | 31.5 | 0,274377 |
| 5 | 31,36 | 31.5 | 0,446429 |
| 6 | 31,06 | 31.5 | 1,416613 |
| 7 | 30,72 | 31.5 | 2,539063 |
| 8 | 30,67666667 | 31.5 | 2,683907 |



Grafik 4.14 Nilai ukur dan simulai serta error temperature udara

Dari hasil ukur dan simulasi perbedaan (error) yang terjadi bernilai cukup kecil $\pm 2\%$, sedangkan dilihat dari acuan kenyamanan termis yang disyaratkan yaitu $23^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) dan $26,5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Prof.Tri Harso Karyono) suhu udara maka hasil yang diperoleh dari pengukuran dan simulasi lebih besar dari acuan kenyamanan yang disyaratkan.

Dan untuk selanjutnya dapat dilakukan variasi terhadap simulasi tersebut, yaitu memasukan 600 jumlah orang dan lampu 13 buah dengan @36 watt. Berdasarkan simulasi (grafik 4.4 sampai 4.11) maka di dapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6 hasil simulasi distribusi temperatur udara pada setiap titik-titik pengukuran jika ditambahkan orang

| Lokasi | Temperatur (°C) |
|--------|-----------------|
| 1 | 31,5666667 |
| 2 | 31,53333333 |
| 3 | 31,533333 |
| 4 | 31,58666667 |
| 5 | 31,36 |
| 6 | 31,46674 |
| 7 | 32,773 |
| 8 | 32,06 |

Serta berdasarkan hasil pengukuran hari jumat tanggal 19 Desember 2008 didapat bahwa rata-rata temperatur udara sebesar 31,46 °C.

Maka, berdasarkan dari acuan kenyamanan termis yang disyaratkan yaitu $26,5^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ suhu udara menurut Prof. Tri Harso Karyo dan ASHRAE yaitu $23^{\circ} \text{C} - 27^{\circ} \text{C}$, maka hasil yang diperoleh dari pengukuran dan simulasi lebih besar dari acuan kenyamanan yang disyaratkan .

Tetapi berdasarkan dari hasil kuesioner yang diperoleh pada hari jumat 19 Desember 2008 rata-rata orang merasakan berada pada daerah netral dengan total 43 orang responden dan pada hari jumat 5 Desember 2008 rata-rata orang merasakan berada pada daerah netral dan sejuk dengan total 13 orang responden sedangkan Ini terjadi disebabkan karena rata-rata orang tersebut beralasan karena ventilasi yang ada, sudah cukup memadai apalagi dengan dihidupkannya kipas angin sehingga terjadinya aliran dan hembusan udara cukup nyaman yang mengenai tubuh orang tersebut.

Analisis Kecepatan Udara

Berdasarkan data pengukuran table 4.1 pada hari Sabtu tanggal 22 November 2008, dengan rata-rata sebesar 0.242 m/s Dan berdasarkan simulasi gambar 4.5 didapat 0.22 m/s, karena nilainya berada diantara 0,1 m/s dan 1,5 m/s maka memenuhi standar ASHRAE untuk kecepatan ruang yang nyaman karena. Memang dari kedua hasil tersebut besar nilainya kecepatan udaranya masih rendah untuk kulit dapat merasakannya walaupun berada dalm kategori nyaman menurut ASHRAE tersebut, ini disebabkan

pada pengukuran tersebut keadaannya memang tidak begitu banyak angin sedangkan pada simulasi belum dimasukkannya aliran udara yang masuk dan diberi kipas angin.

Analisa Kelembaban Udara

Berdasarkan table 4.2 dan grafik 4.3 didapat rata-rata kelembaban udara 63,567%, dengan maksimum 65,4 % dan minimum 60,8667% dan data pengukuran pada hari Jumat tanggal 19 Desember 2008 didapat rata-rata kelembaban udaranya sebesar 73.9714% dengan maksimum 80% dan minimum 65%, maka berdasarkan kedua data tersebut nilainya diatas kelembaban standar ASHRAE (30% - 60%) untuk ruangan yang nyaman. Ini terjadi karena pengaruh lingkungan dari bangunan tersebut. Untuk membuat nyaman maka diperlukan aliran udara yang dapat menjadi salah satu metode yang paling efisien untuk memperoleh kenyamanan termal pada ruangan tersebut.

4.3 Analisa Hasil Kuesioner

Berdasarkan data sample yang diperoleh tanggal 5 Desember 2008 tersebut, maka untuk menyimpulkan populasi tersebut dilakukan estimasi/penaksiran berdasarkan data parameter-parameter sample yang didapat tersebut. Hasilnya sebagai berikut :

Asumsi distribusi parameter populasi tersebut berdistribusi normal, maka untuk mengestimasi temperatur rata-rata (mean) sesungguhnya ruangan masjid tersebut berdasarkan data sample yang didapat dengan tingkat kepercayaan 95 %, karena jumlah data/ukuran sample berukuran kecil ($n < 30$), maka digunakan distribusi-t dalam perhitungannya.

| | |
|--------------------------------|---------|
| Jumlah sample (n) | 13 |
| Rata-rata sample (mean) | 0,07692 |
| standard deviasi sample (SD) | 1,18754 |

| | |
|---------------------|-------|
| Tingkat kepercayaan | 0.95 |
| α | 0.05 |
| df (v) | 12 |
| $t_{\alpha/2,v}$ | 2.447 |

Interval rata2 populasinya : -0.88288 < rata2 < 0.729032

Dari hasil tersebut bahwa rata-rata populasi dari ruangan tersebut berdasarkan data sample yang didapat rata-ratanya berada diantara netral dan sejuk.

Sedangkan Berdasarkan data sample yang diperoleh tanggal 20 Desember 2008 tersebut, maka untuk menyimpulkan populasi tersebut dilakukan estimasi/penaksiran berdasarkan parameter-parameter sample yang didapat. Hasilnya sebagai berikut :

Asumsi distribusi parameter populasi tersebut berdistribusi normal, maka untuk mengestimasi temperatur rata-rata (mean) sesungguhnya ruangan masjid tersebut berdasarkan data sample yang didapat dengan tingkat kepercayaan 99 %, karena jumlah data/ukuran sample berukuran besar ($n > 30$), maka digunakan distribusi-z dalam perhitungannya.

| | |
|--------------------------------|----------|
| Jumlah populasi (N) | 600 |
| Jumlah Sample (n) | 43 |
| Rata-rata Sample (mean) | -0.16279 |
| Standard Deviasi Sample (SD) | 0.432612 |
| Tingkat kepercayaan | 99% |
| maka skor (z) | 2.575 |

-0.32661 < rata2 < 0.001026

Jadi, dari hasil tersebut bahwa rata-rata populasi dari ruangan tersebut berdasarkan data sample yang didapat rata-ratanya berada di antara sejuk sampai hangat.

Jadi, berdasarkan dari hasil kuesioner yang diperoleh pada hari jumat 5 Desember 2008 rata-rata orang merasakan berada pada daerah netral dan sejuk interval dengan total 13 orang responden sedangkan pada hari jumat 19 Desember 2008 rata-rata orang merasakan juga berada pada daerah hangat sampai sejuk juga dengan total 43 orang responden. Rata-rata orang tersebut beralasan ventilasi yang ada sudah memadai apalagi pada kuesioner yang dilakukan hari Jumat tanggal 19 Desember 2008 dihidupkannya kipas angin sehingga terjadinya aliran dan hembusan udara cukup nyaman yang mengenai tubuh orang tersebut dan luas bukaan-bukaan yang ada sudah cukup memadai. Ini terjadi karena aliran dan hembusan angin yang masuk atau diberikan melalui ventilasi alami maupun ventilasi buatan yaitu bukaan-bukaan dan kipas angin yang ada di ruangan tersebut sudah cukup memadai sehingga dapat menipu atau membuat perasaan kita tentang temperatur udara tersebut agar kita merasakan lebih nyaman dan sejuk, walaupun temperatur udaranya lebih besar (terhadap kondisi acuan temperatur kenyamanan thermal) di dalam ruangan tersebut ataupun dapat menurunkan temperatur udara dalam ruangan tersebut serta jumlah ventilasi baik alami maupun mekanikal dirasa sudah cukup untuk membuat nyaman dan sejuk. Dan temperatur dalam ruangan tersebut dipengaruhi oleh keadaan cuaca atau temperatur di luar ruangan karena di dalam ruangan terjadi kontak langsung dengan diluar ruangan (lingkungan). Dan juga karena lantainya memakai marmer sehingga akan membuat nyaman dan sejuk pada ruangan tersebut.

4.4 Beban Pendinginan Yang Dibutuhkan

Dengan menggunakan software coolpack, kita dapat mengetahui seberapa besar kalor yang ditimbulkan dengan adanya beban.

CoolPack COOLING DEMAND FOR AN AIR-CONDITIONED ROOM

HEAT TRANSFER THROUGH BUILDING PARTS

| | k - value [W/(m ² ·K)] | T [°C] | A _{WIN} [m ²] | q _{WIN} [W/m ²] |
|---------|--------------------------------------|-----------|---------------------------------------|---|
| WALL 1 | 0,25 | 30 | 0 | 50 |
| WALL 2 | 0,25 | 31 | 1,5 | 60 |
| WALL 3 | 0,25 | 31,2 | 2 | 50 |
| WALL 4 | 0,25 | 31 | 0 | 0 |
| FLOOR | 0,25 | 10 | | |
| CEILING | 0,25 | 30 | 0 | 80 |

WALL 2: $\dot{Q}_{TRANS} = -2,17$ [kW]

Room parameters: T_{ROOM} [°C]: 27, RH_{ROOM} [%]: 50, Volume: 4092 [m³]

Room dimensions: Length [m]: 32,3, Width [m]: 25,7, Height [m]: 4,93

AIR CHANGE (Infiltration)

T_{AIR,IN} [°C]: 31,2, RH_{AIR,IN} [%]: 63, Air Change Factor (ACF): 6, $\dot{Q}_{INFILT} = 5,57$ [kW]

ACF: 6 [room vol. per 24 hour], Volume flow: 1023 [m³/h]

AUXILIARY LOADS

No. of persons [-]: 600, Work type: Medium, $\dot{q} = 121$ [W/person] at T_{ROOM}: 27 [°C], $\dot{Q}_{AUX} = 83,48$ [kW]

Fans [kW]: 0,350, Other heat developing equipment [kW]: 10,000

Lighting: 468 [W]

Summary: $\dot{Q}_{TOT} = 86,88$ [kW], SHR: 95 [%]

© 1999 - 2001
Department of
Mechanical Engineering
Technical University
of Denmark
Version 1.46
TOOL A.12

Gambar 4.7 Data Q_{tot} dengan perhitungan pada coolpack

Jumlah Q total pada ruangan dengan menggunakan software coolpack, yang akan dikondisikan $T=27$ °C dengan kelembaban 50%, maka diperoleh data $Q_{tot}= 86,88$ kw atau sama dengan 296.710,8 Btu/hour

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa pada BAB IV didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengukuran yang dilakukan dilapangan setelah divalidasikan dengan simulasi menggunakan Flovent menunjukkan hasil yang serupa, dengan kondisi ruang kosong tanpa beban orang, hal ini membuktikan bahwa pengukuran yang telah dilakukan dianggap benar dan sesuai. Pada kondisi kosong, pengukuran divalidasikan dengan simulasi didapat bahwa kondisi temperatur udara pada ruang ibadah berkisar ± 31 °C.
2. Pada penambahan beban sebanyak 600 orang dan input data pada tanggal 22 November 2008, pada simulasi menunjukan penyebaran temperatur dalam ruangan berkisar ± 33 °C, sedangkan pada kondisi aktual menunjukkan nilai ± 32 °C pada tanggal 19 Desember 2008. Walaupun diatas standar kenyamanan, tetapi menurut data kuesioner dengan jumlah responden sebanyak 43 orang pada tanggal 19 Desember (cerah berawan), mayoritas persepsi pada suhu tersebut menyatakan nyaman. Dan menurut data kuesioner tanggal 5 Desember 2008 (cerah) dengan jumlah responden sebanyak 13 orang, yang menyatakan sejuk sejumlah 7 orang.
3. Kecepatan aliran udara pada simulasi dengan beban orang, berkisar 0,3 m/s – 0,6 m/s. Telah memenuhi standar nyaman ASHRAE yaitu 0,1 m/s – 1,5 m/s. Vektor udara menuju keatas kemudian membentuk siklus dan sebagian menuju keluar bukaan-bukaan atau ventilasi, hal ini disebabkan karena adanya faktor termal/buoyancy yaitu udara yang masa jenisnya lebih ringan (udara panas) akan diatas sedangkan udara yang masa jenisnya rendah (udara dingin) ada dibawah.

4. Dari hasil pengukuran dapat disimpulkan bahwa kondisi kelembaban udara pada ruang ibadah tersebut diatas acuan kenyamanan (30-60%), sedangkan aktualnya rata-rata 63,567% (22 November 2008) dan 73,971% (19 Desember 2008).
5. Diversifikasi distribusi temperatur yang jelas terlihat didaerah tengah (dengan beban orang) didaerah lain tidak terlalu signifikan perbedaannya.

5.2 SARAN

1. Agar temperatur dan aliran udara pada lantai dasar tetap terjaga dengan nyaman, ventilasi yang ada seperti pintu dan bukaan dinding usahakan tetap dalam keadaan terbuka. Agar adanya sirkulasi udara yang kontinyu.
2. Banyaknya pengguna ruangan akan berakibat pada kenyamanan termal didalam ruangan. Apabila pengguna ruangan melebihi kapasitas, pengaturan kipas angin yang ada lebih dioptimalkan.
3. Pada penggunaan kipas angin, sebaiknya saat kipas dinyalakan dalam keadaan berputar agar region aliran udara lebih melebar
4. Untuk perencanaan pengalihfungsian ruang ibadah menjadi ruang serbaguna pada lantai dasar ini, yang dapat digunakan sebagai ruang resepsi perkawinan, seminar, dll. Mungkin akan banyak penambahan beban yang dapat mengeluarkan panas di dalam ruangan seperti: proyektor, lampu sorot, penghangat makanan pada stand catering, dsb. Sebaiknya ditambahkan sejumlah AC, agar tercipta kondisi yang lebih nyaman.
5. Beban total yang didapat pada ruangan (dengan software coolpack) sebesar 86,88 kw= 296.710,8 Btu/hour. Agar tercipta temperature yang nyaman dapat ditambahkan AC sebanyak 8 buah @ 4 PK atau sebanyak 6 buah @ 5 PK.
6. Agar distribusi aliran udara lebih merata, sebaiknya sekat saf wanita hanya setinggi orang dewasa pada umumnya.

7. Karena bukaan yang terdapat termasuk ventilasi alami yang dipengaruhi oleh cuaca, maka bagi pengguna ruang ibadah lantai dasar, usahakan mengenakan pakaian berbahan tipis dan tidak terlalu tebal pada saat cuaca panas.



DAFTAR PUSTAKA

Adrianto, Dimas. 2007. Skripsi. *Investigasi Pola Aliran Udara Pada Sistem Ruang Bersih Farmasi*. Depok. DTM FTUI.

ASHRAE 2001 - HVAC Fundamentals Handbook. *Chapter 8 : Thermal Comfort*. March 28, 2008.

[http://rapidshare.de/files/22842749/ASHRAE 2001 HVAC Fundamentals hand book 4AH.rar](http://rapidshare.de/files/22842749/ASHRAE_2001_HVAC_Fundamentals_handbook_4AH.rar)

FLOVENT V6.1 Introductory Training Course. Tutorial Book.

Harinaldi. 2005. *Prinsip-prinsip Statistika Untuk Teknik dan Sains*. Jakarta : Erlangga.

<http://flomerics.com>

http://www.lumasense.dk/Comfort-Theory.thermal_comfort.0.html

Karyono, Tri Harso. 1998. *Teori dan Acuan Kenyamanan Termis dalam Arsitektur*. Jakarta : PT Catur Libra Optima.

Rendra, Septa. 1998. *Kualitas Udara Dalam Ruang*. DIKTI.

Satwiko, Prasasto. 2004. *Fisika Bangunan 1*. Edisi 1. Yogyakarta : ANDI.

Sudjana. 2002. *Metoda Statistika*. Bandung : Tarsito.

Sugini. Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. *The Effectiveness Of The PMV Model In Predicting The Quality Of Thermal Comfort In Learning Environments In a Warm Humid Tropical Zone*. October 18, 2008.

<http://www.fab.utm.my/download/ConferenceSemiar/SENVAR52004SPS105.pdf>

Soegijanto, FX Nugroho Soelami and Tata Yohana. Department of Engineering Physics ITB. *Study on Thermal Comfort in Istiqlal Mosque*. October 18, 2008.

<http://www.fab.utm.my/download/ConferenceSemiar/SENVAR52004SPS104.pdf>

Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi Pada Bangunan Gedung. SK SNI T-14-1993-03. Bandung : Yayasan LPMP.

Tata Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Gedung.
October 18, 2008

<http://www.pu.go.id/balitbang/sni/buat%20web/RSNI%20CD/ABSTRAKS/Cipta%20Karya/Keselamatan/TATA%20CARA/SNI%2003-6572-2001.pdf>

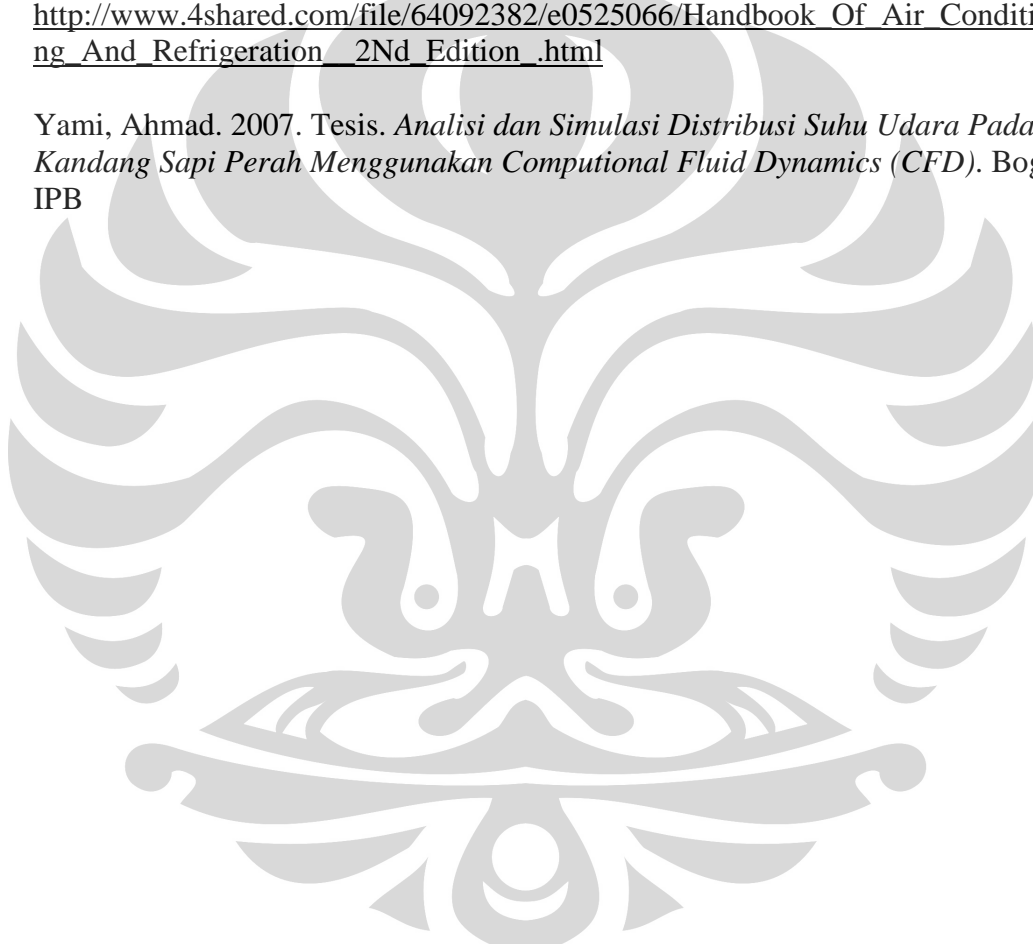
Universitas Indonesia. 2008. *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa*.
December 21, 2008.

http://www.eng.ui.ac.id/download/SK_REKTOR_TENTANG_PEDOMAN_PENULISAN_AKHIR.pdf

Wang, Shan K. 2000. *Handbook Of Air Conditioning And Refrigeration (2Nd Edition)*. New York : McGraw-Hill. October 18, 2008.

http://www.4shared.com/file/64092382/e0525066/Handbook_Of_Air_Conditioning_And_Refrigeration_2Nd_Edition_.html

Yami, Ahmad. 2007. Tesis. *Analisi dan Simulasi Distribusi Suhu Udara Pada Kandang Sapi Perah Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Bogor : IPB



LAMPIRAN

A. PROCESSING

Memulai membangun geometri

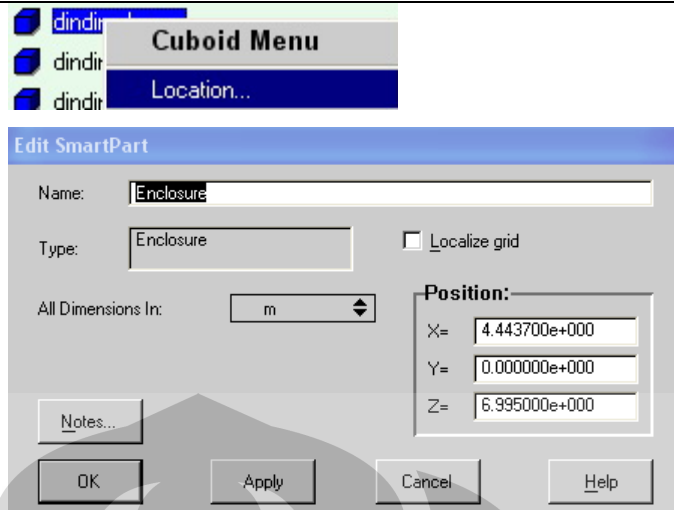
1. Pilih enclosure untuk membuat rangka luar, Pada enclosure klik kanan dan pilih construction

Masukkan data berikut

The screenshot shows the 'Enclosure' dialog box with the following details:

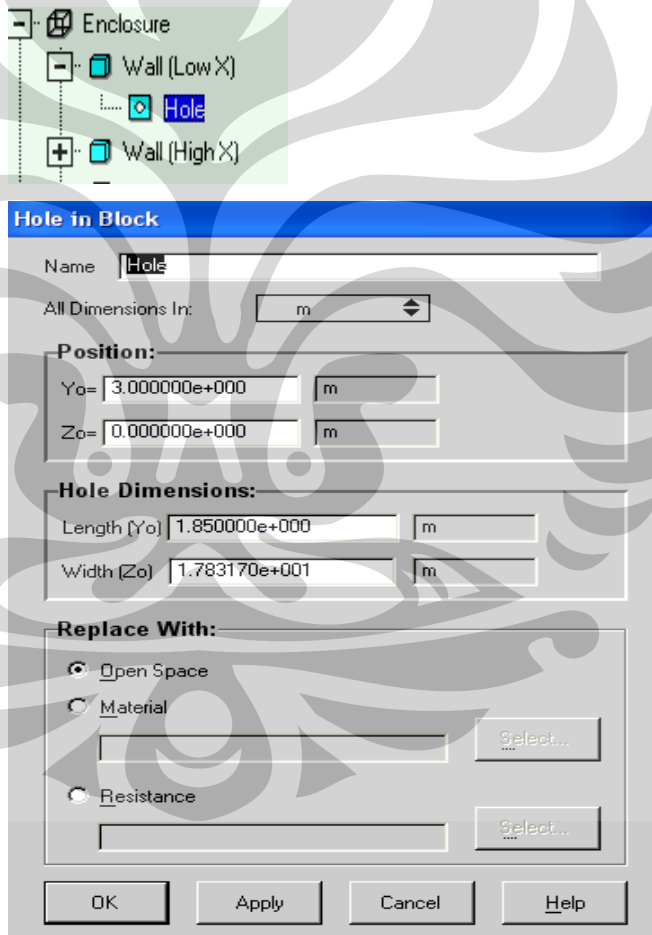
- Name: Enclosure
- All Size Dimensions In: m
- Size: External
- Xo: 3.237910e+001 m
- Yo: 5.020000e+000 m
- Zo: 2.577270e+001 m
- Modeling Level: Thin
- Thickness: 1.500000e-001 m
- Side Details For: Xo-Low
- Buttons: OK, Apply, Cancel, Help, Define...

2. Kemudian tentukan lokasi dari enclosure



3. Pilih hole untuk membuat detail ventilasi pada sisi ruangan. Pilih sisi low-X untuk membuat hole

masukkan data berikut



4. Ulangi langkah 3 untuk membuat detail ventilasi pada sisi ruangan selanjutnya, pilih sisi wall (high X) masukkan data berikut

Enclosure

Wall (Low X)

Hole

Wall (High X)

Hole

Hole in Block

Name:

All Dimensions In:

Position:

Yo= m

Zo= m

Hole Dimensions:

Length (Yo) m

Width (Zo) m

Replace With:

Open Space

Material

Resistance

5. Ulangi langkah 3 untuk membuat detail ventilasi pada sisi ruangan selanjutnya, pilih sisi wall (low Z) masukkan data berikut

The screenshot shows the 'Hole in Block' dialog box with the following settings:

- Name: Hole:C
- All Dimensions In: m
- Position: Y_o = 0.000000e+000 m, Z_o = 3.000000e+000 m
- Hole Dimensions: Length (Y_o) = 1.956120e+001 m, Width (Z_o) = 1.850000e+000 m
- Replace With: Open Space, Material, Resistance

The screenshot shows the 'Hole in Block' dialog box with the following settings:

- Name: Pintu depan
- All Dimensions In: m
- Position: X_o = 2.000000e+001 m, Y_o = 0.000000e+000 m
- Hole Dimensions: Length (X_o) = 6.389000e+000 m, Width (Y_o) = 3.000000e+000 m
- Replace With: Open Space, Material, Resistance

6. Ulangi

langkah 3
untuk
membuat
detail pintu
depan pada
sisi ruangan
wall (low Z)
masukkan
data berikut

Wall (High Z)
Hole

Hole in Block

Name: Hole

All Dimensions In: m

Position:
Xo= 0.000000e+000 m
Yo= 3.000000e+000 m

Hole Dimensions:
Length (Xo) 8.496700e+000 m
Width (Yo) 1.850000e+000 m

Replace With:
 Open Space
 Material
 Resistance

Buttons: OK, Apply, Cancel, Help

7. Ulangi
langkah 3
untuk
membuat
detail
ventilasi pada
sisi ruangan
wall (high Z)
masukkan
data berikut.

8. Kemudian

membuat 12 tiang dinding memancang, berbentuk silinder.

Dengan cara memilih cylinder. Dan memilih jenis material concrete block untuk keseluruhan tiang dinding.

Masukkan data sebagai berikut.

Cylinder

Name:

All Dimensions In:

Size:

Radius (Yo) m

Length (Zo) m

Modeling Options:

Modeling Level

OK Apply Cancel Help

Edit SmartPart

Name:

Type: Localize grid

All Dimensions In:

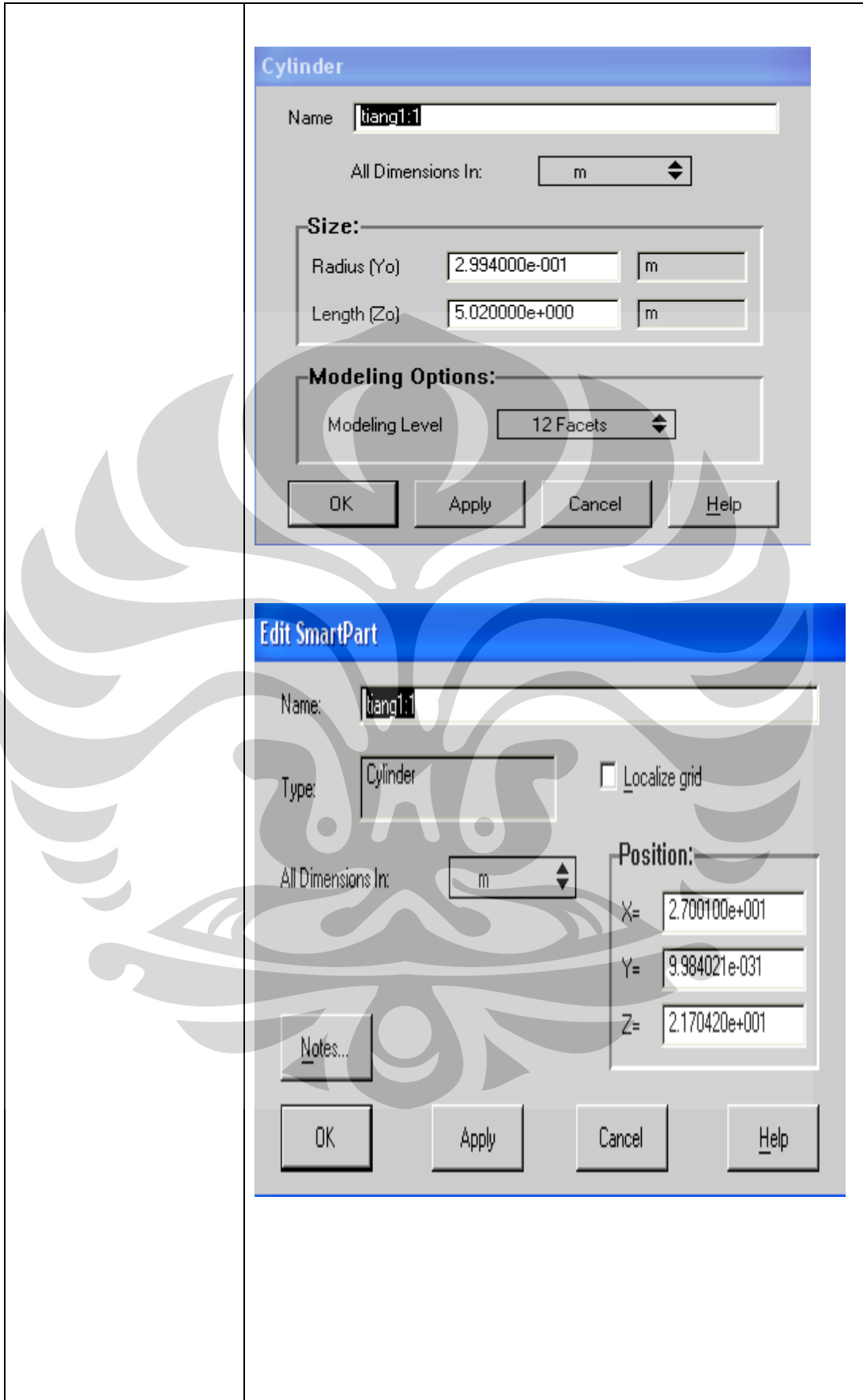
Position:

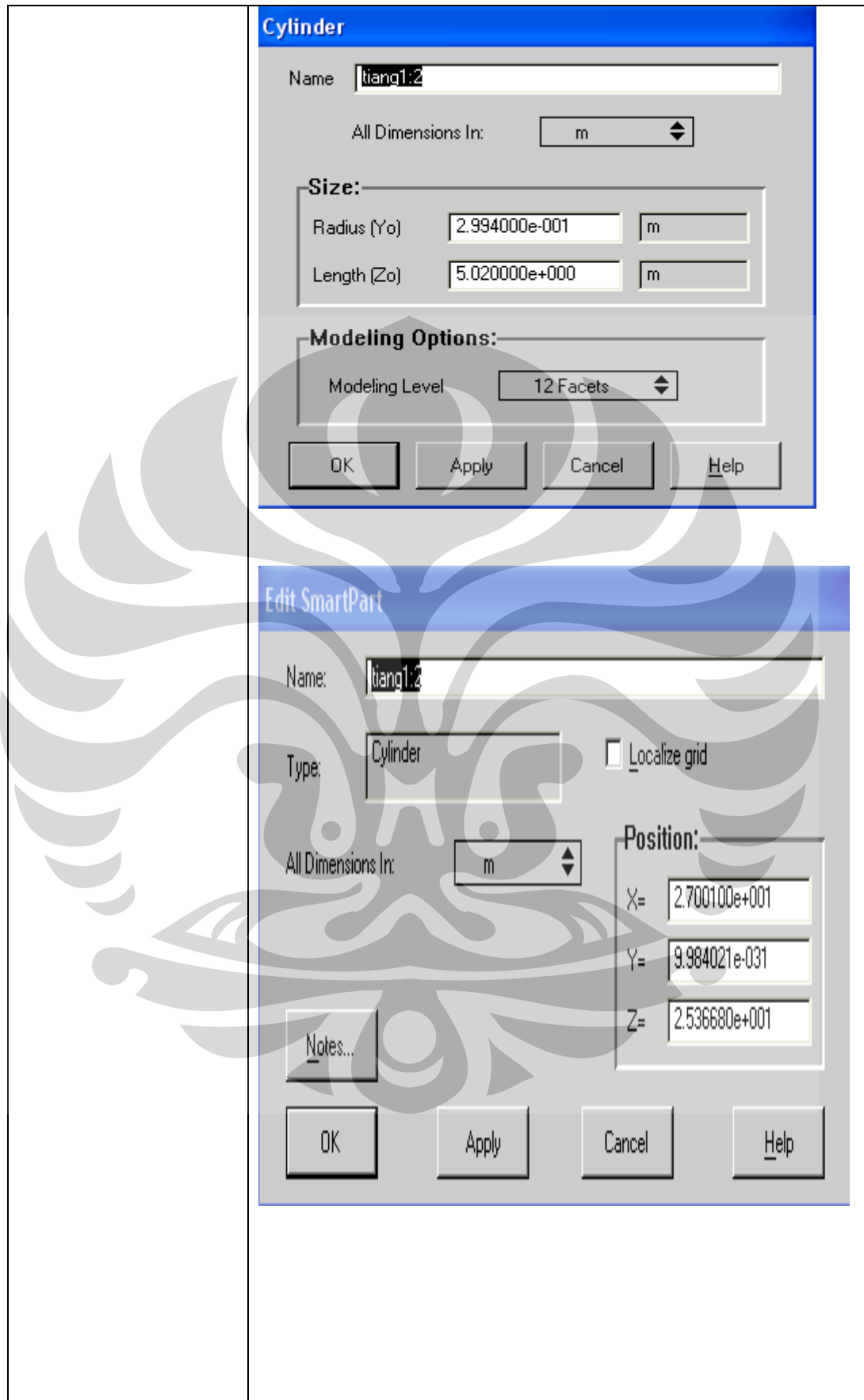
X=

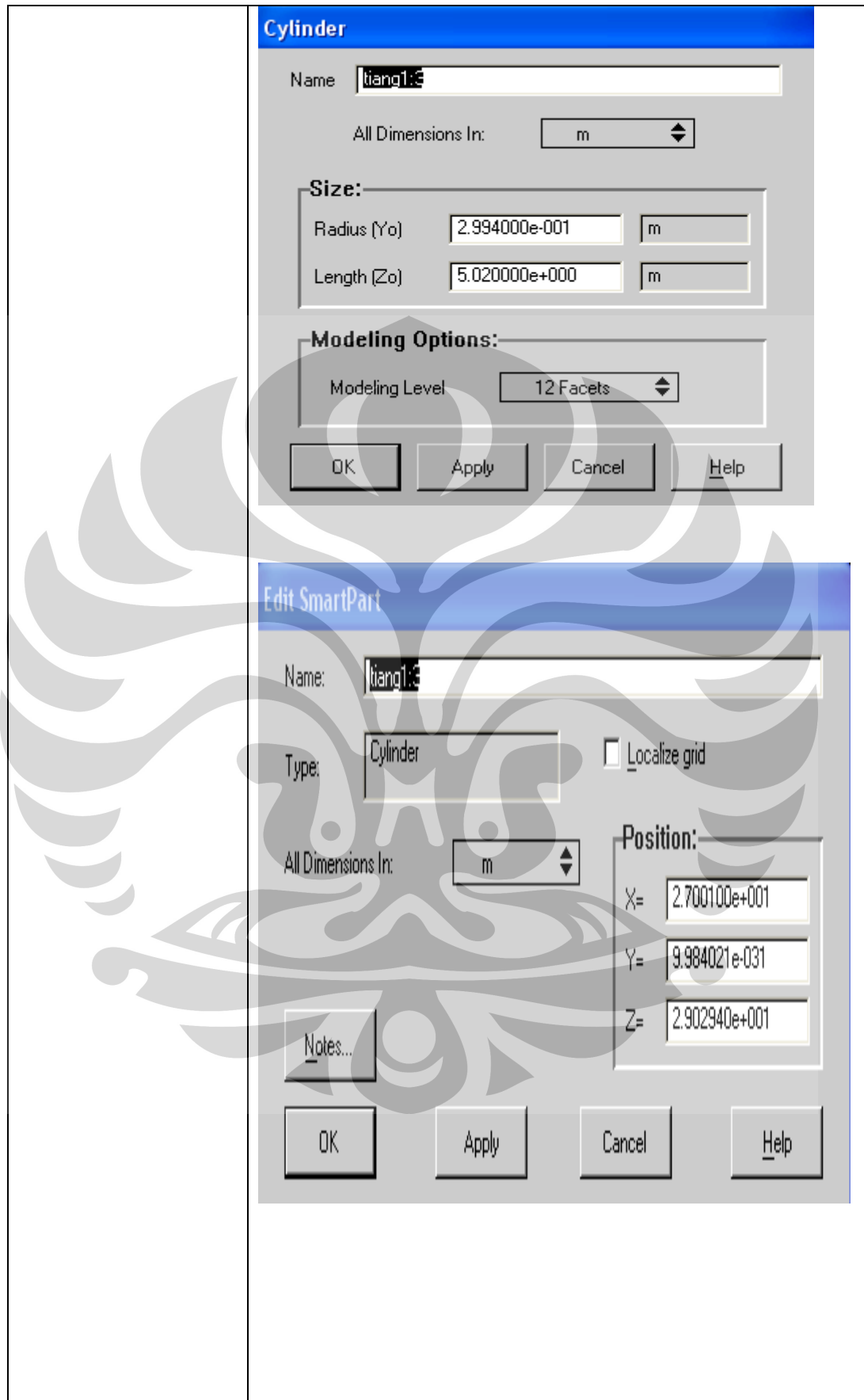
Y=

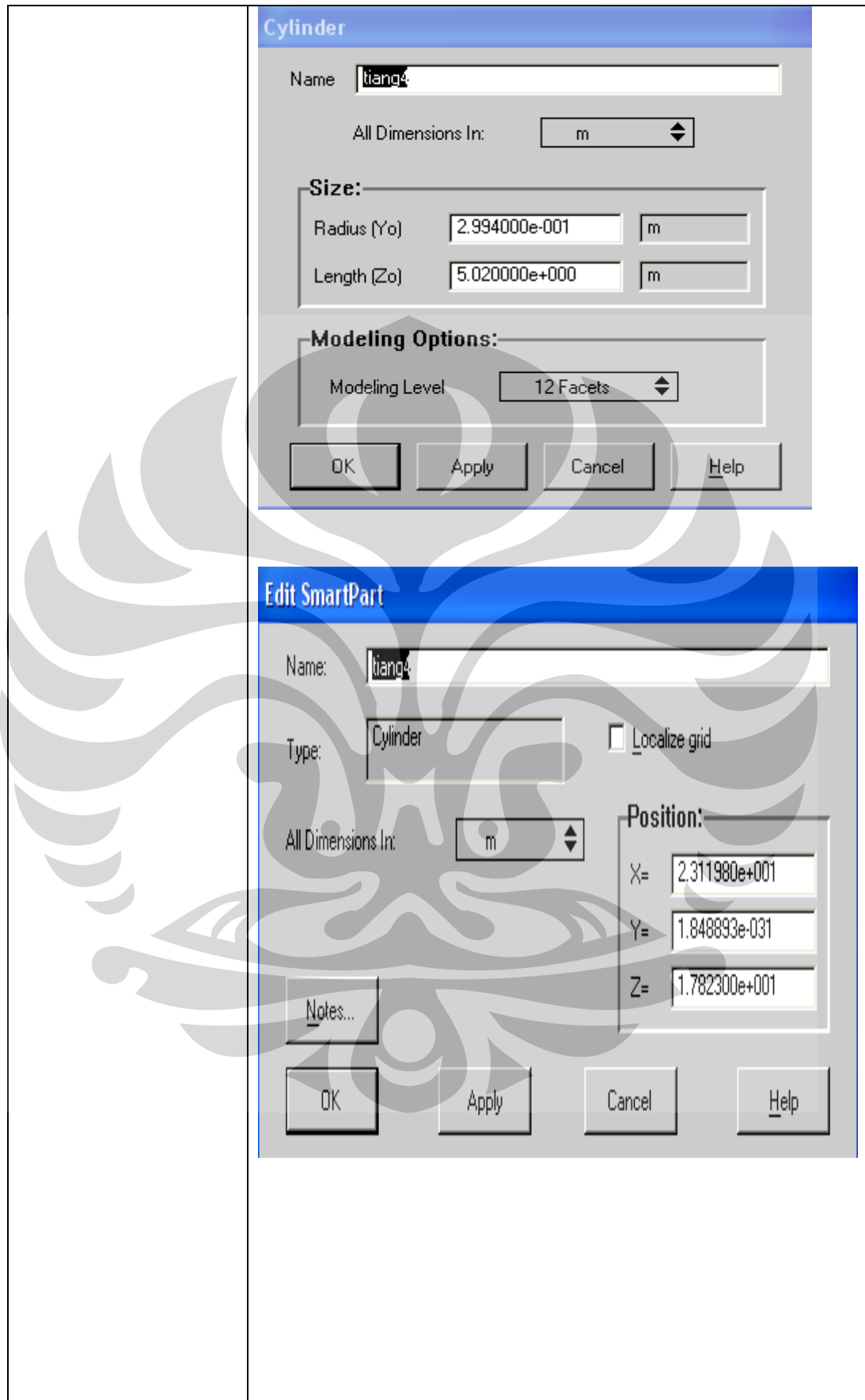
Z=

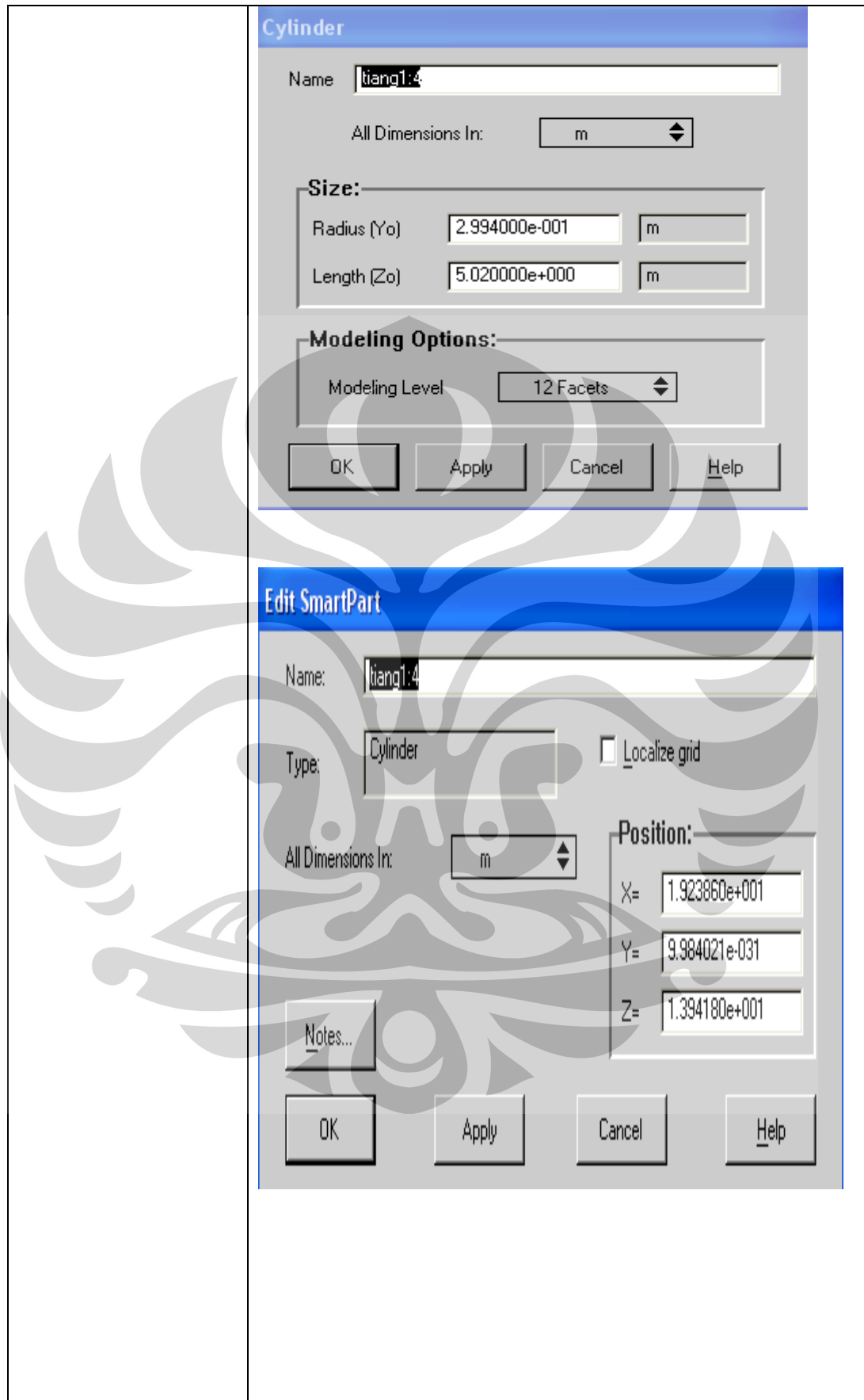
Notes... OK Apply Cancel Help

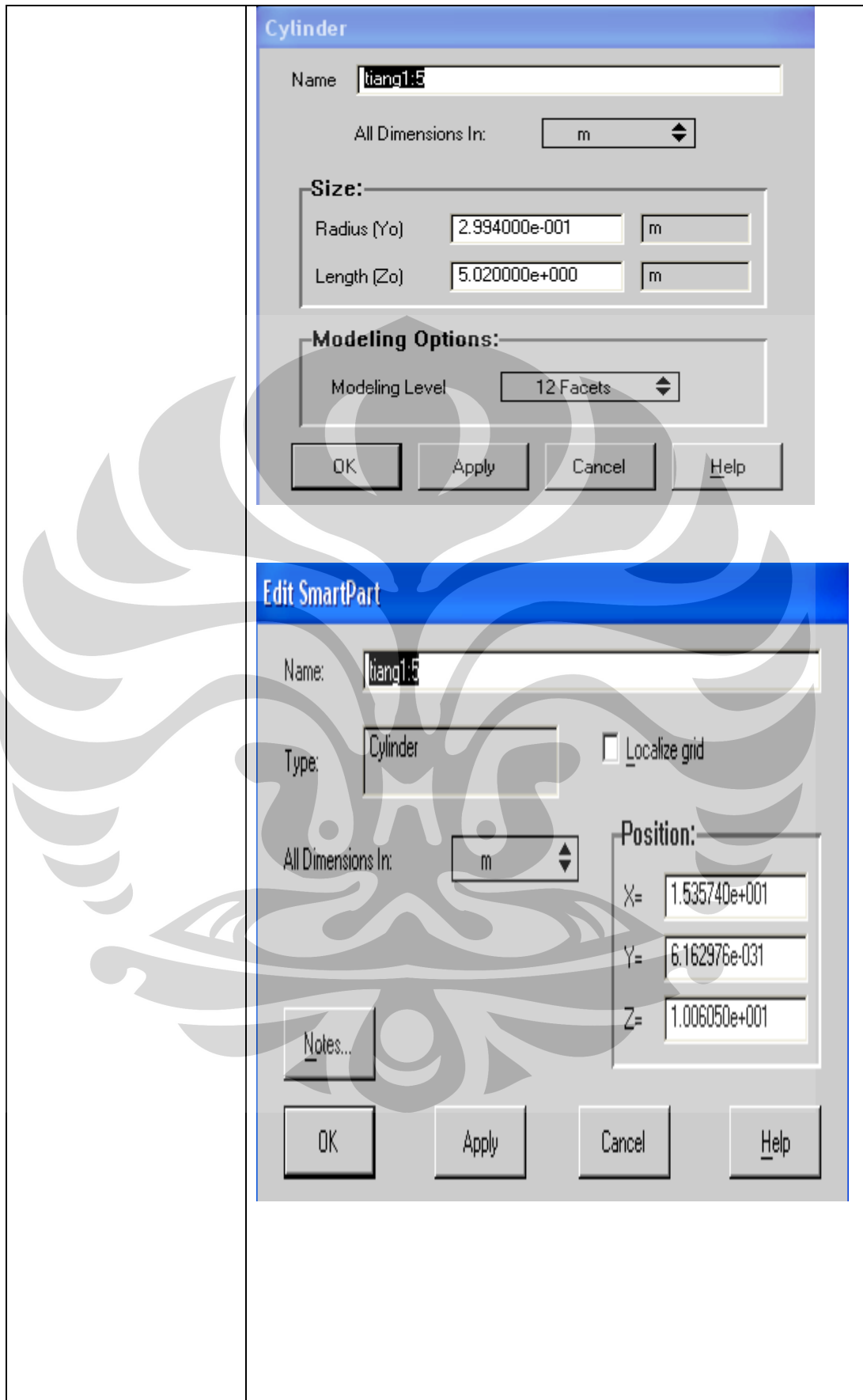


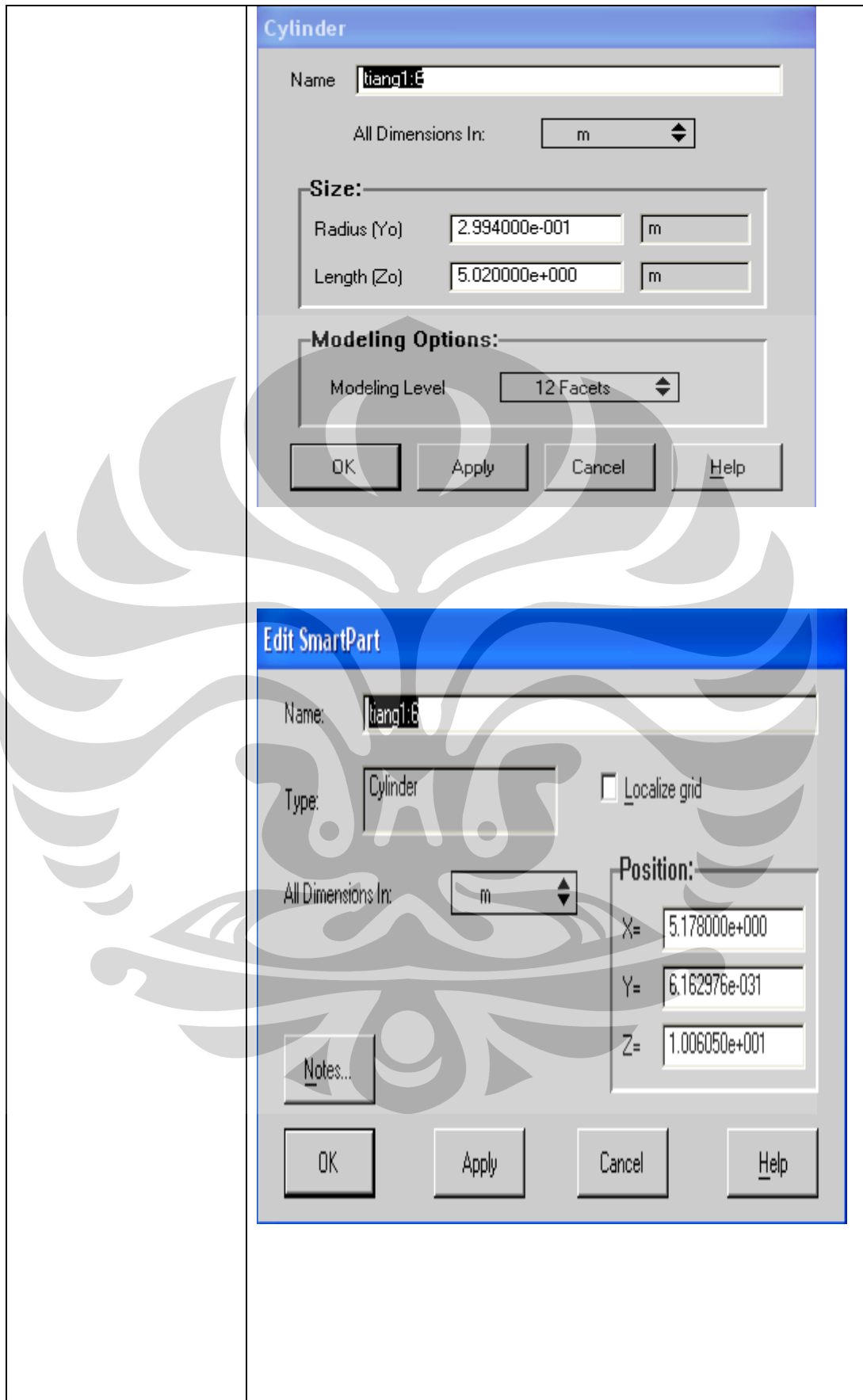


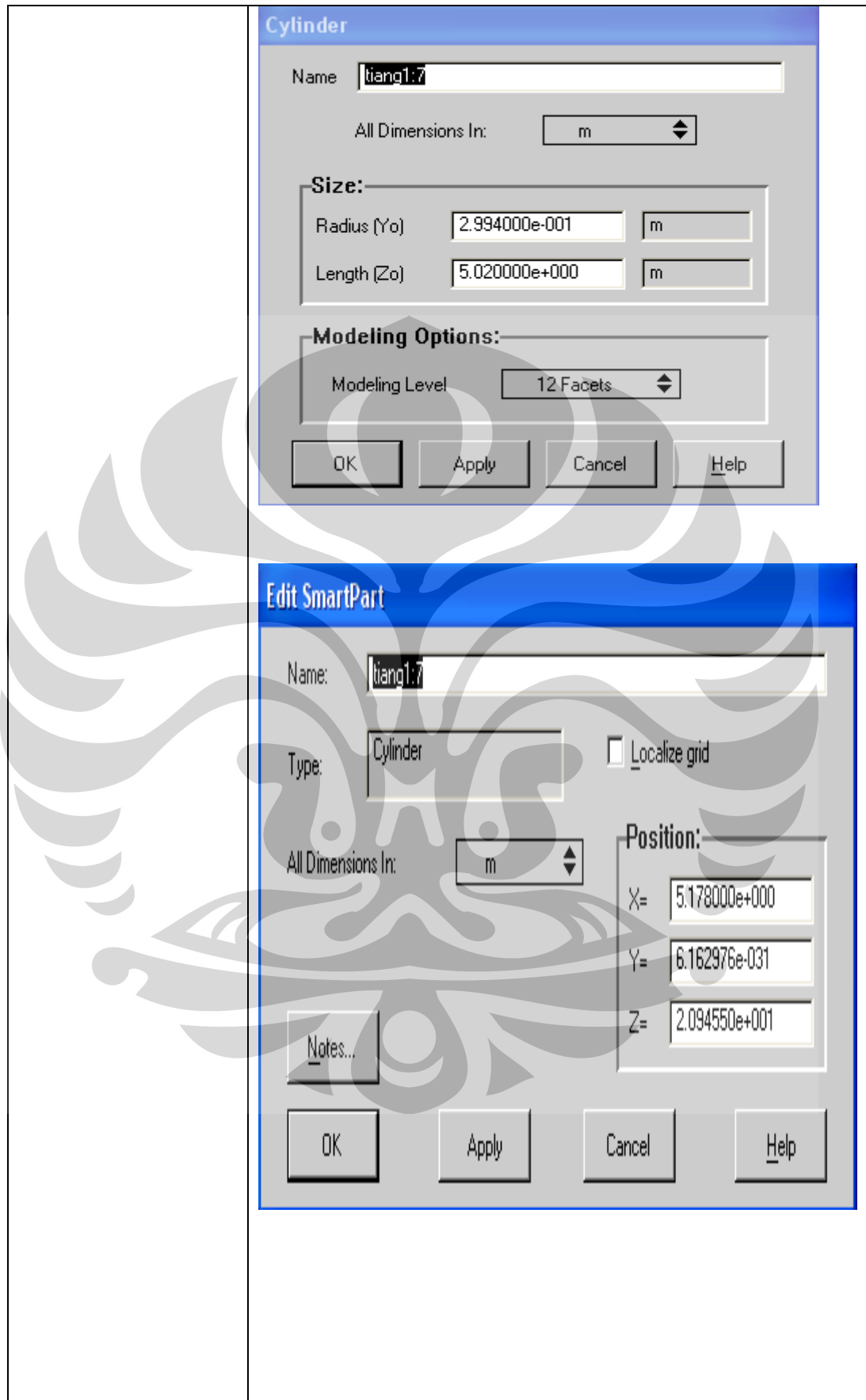


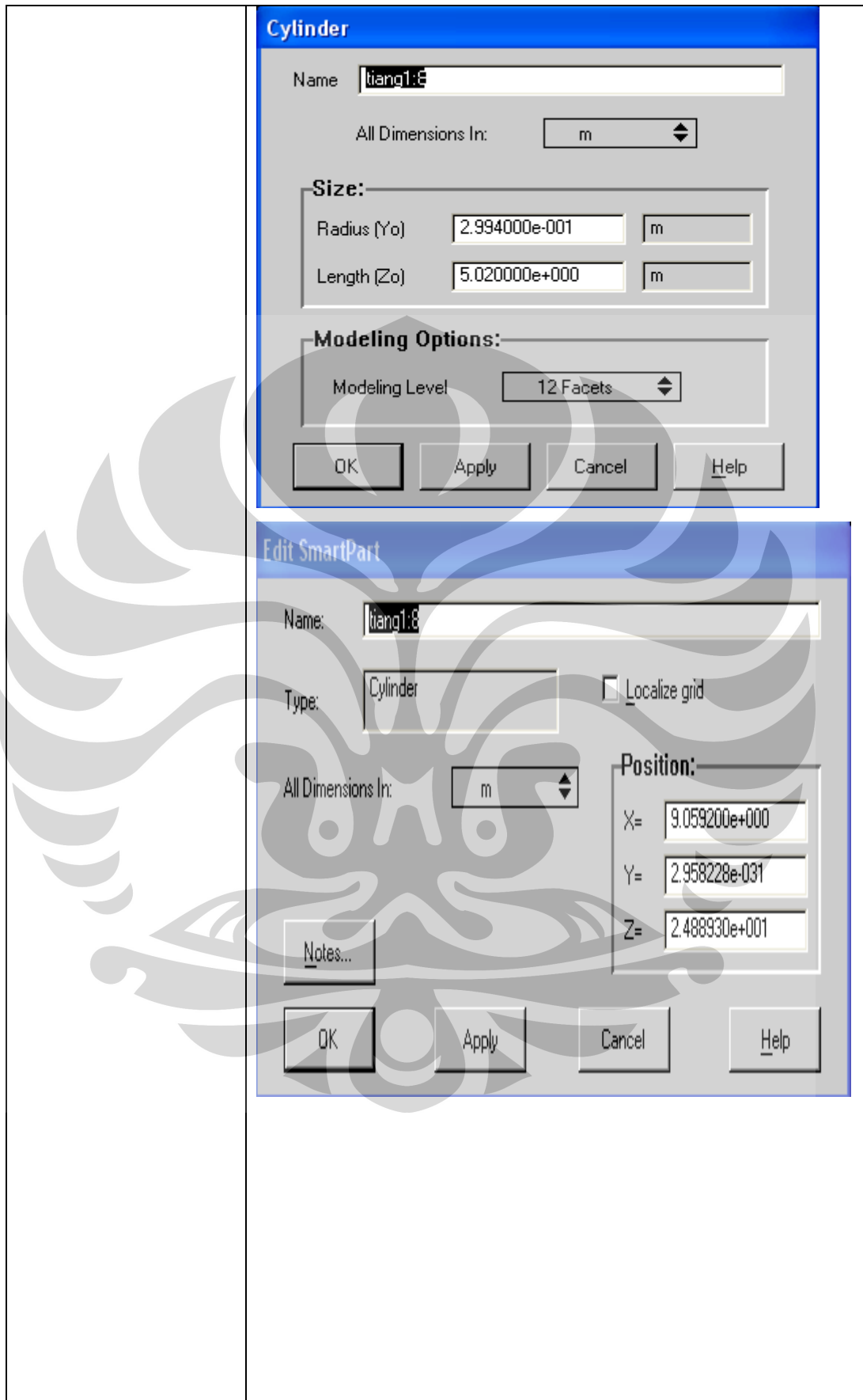


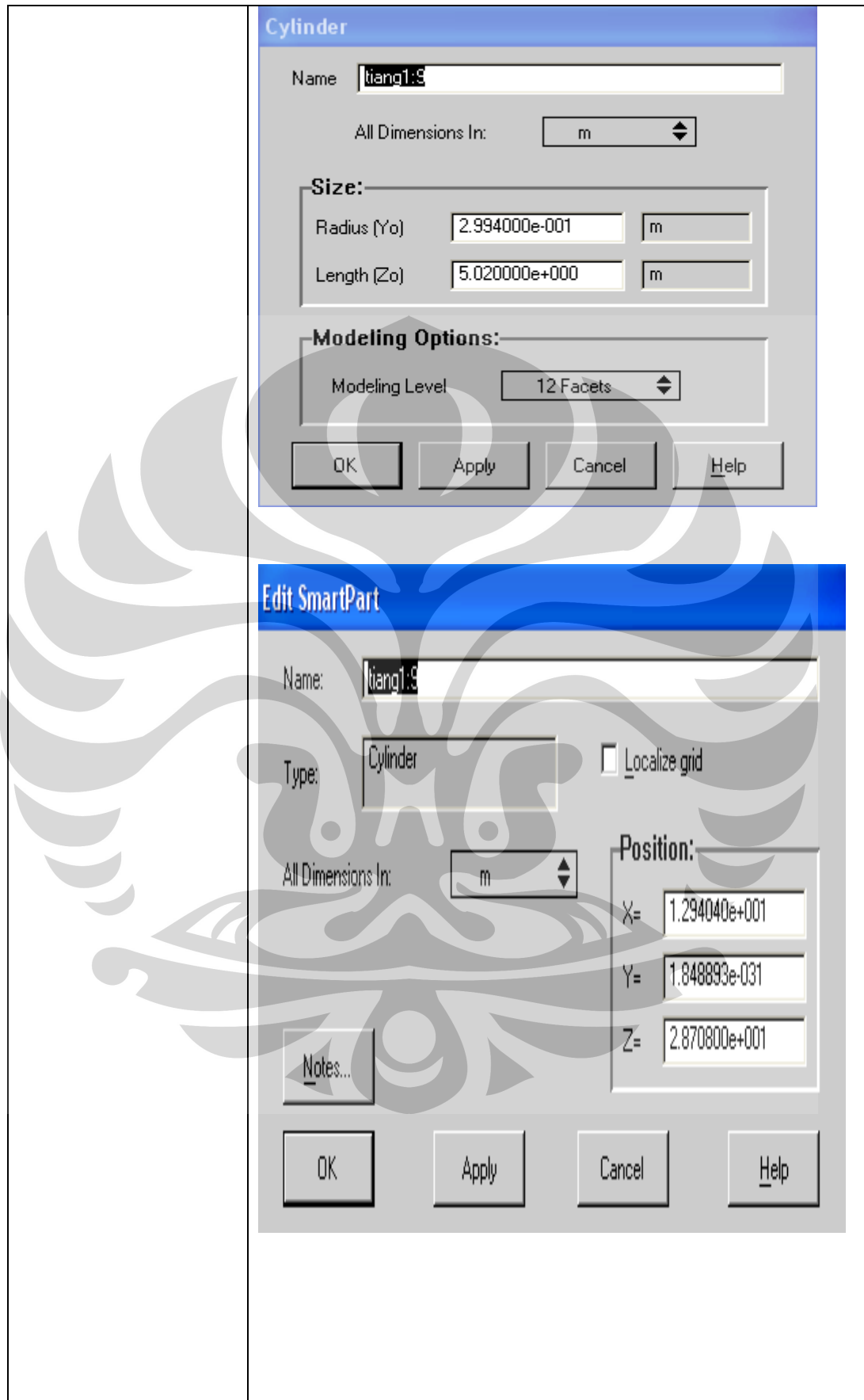












9. Pilih cuboid untuk

The image shows two overlapping dialog boxes from a CAD application. The top dialog is titled "Cylinder" and contains the following fields: Name: "tiang1:10", All Dimensions In: "m", Size: Radius (Yo) = "2.994000e-001" m, Length (Zo) = "5.020000e+000" m, Modeling Options: Modeling Level = "12 Facets". The bottom dialog is titled "Edit SmartPart" and contains: Name: "tiang1:10", Type: "Cylinder", All Dimensions In: "m", Position: X = "1.682170e+001", Y = "1.109336e-031", Z = "3.258920e+001". Both dialogs have "OK", "Apply", "Cancel", and "Help" buttons.

Cylinder

Name:

All Dimensions In:

Size:

Radius (Yo): m

Length (Zo): m

Modeling Options:

Modeling Level:

OK Apply Cancel Help

Edit SmartPart

Name:

Type: Localize grid

All Dimensions In:

Position:

X=

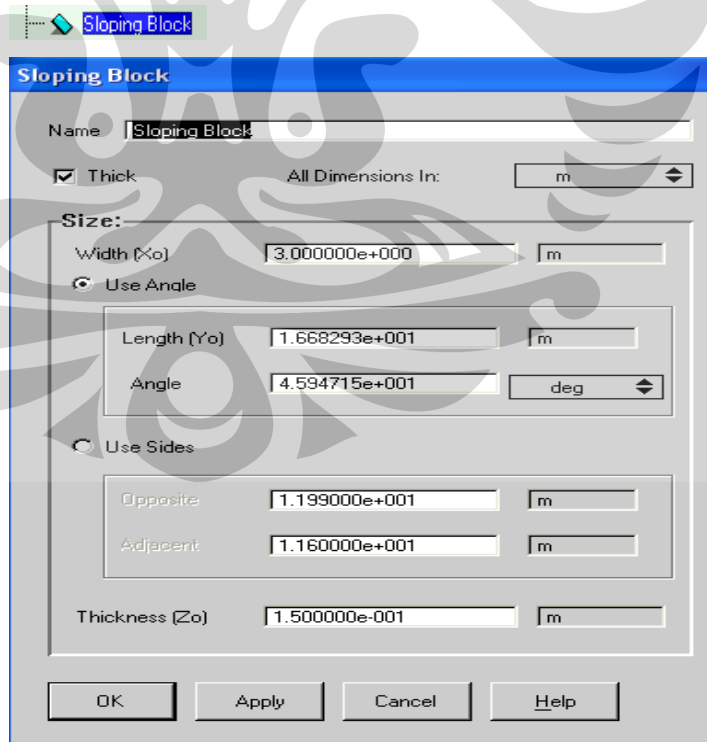
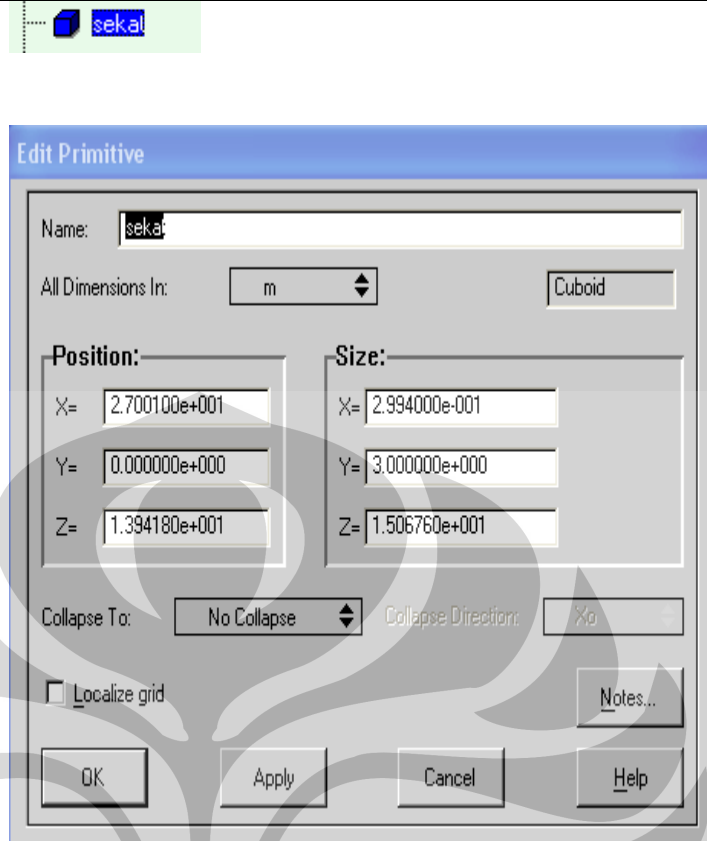
Y=

Z=

Notes...

OK Apply Cancel Help

membuat sekat pembatas wanita dan pria yang terdapat dalam ruangan masukkan data-data berikut.



10. Kemudian pilih slop,

untuk membuat dinding miring pada posisi dan size sebagai berikut.

Edit SmartPart

Name:

Type: Localize grid

All Dimensions In:

Position:

X=

Y=

Z=

11. Pilih cuboid untuk membuat dinding pembatas pada ruangan sekretariat dalam ruang ibadah. Masukkan data sebagai berikut.

Edit Primitive

Name:

All Dimensions In:

Position:

X=

Y=

Z=

Size:

X=

Y=

Z=

Collapse To: Collapse Direction:

Localize grid

12. Pilih cuboid untuk membuat dinding pembatas pada ruangan sekretariat dalam ruang ibadah. Masukkan data sebagai berikut.

Edit SmartPart

Name:

Type: Localize grid

All Dimensions In:

Position:

X=

Y=

Z=

Block With Holes

All Dimensions In:

Size:

Xo

Yo

Zo

Hole Direction:

Collapse To:

13. Kemudian beri lubang pada sekat ruang sekretariat. Dengan memilih hole, dan masukkan data.

Hole in Block

Name:

All Dimensions In:

Position:

Xo= m

Yo= m

Hole Dimensions:

Length (Xo) m

Width (Yo) m

Replace With:

Open Space

Material

Resistance

Edit SmartPart

Name:

Type: Localize grid

All Dimensions In:

Position:

X=

Y=

Z=

14. Membuat 13 buah lampu dengan pemberian sebesar @36 watt. Dengan cara memilih souce, dan masukkan data sebagai berikut.



Edit Primitive

Name:

All Dimensions In:

| | |
|---|---|
| Position: | Size: |
| X= <input type="text" value="8.400000e+000"/> | X= <input type="text" value="5.000000e-002"/> |
| Y= <input type="text" value="4.870000e+000"/> | Y= <input type="text" value="5.000000e-002"/> |
| Z= <input type="text" value="1.818000e+001"/> | Z= <input type="text" value="6.000000e-001"/> |

Collapse To: Collapse Direction:

Localize grid

Edit Primitive

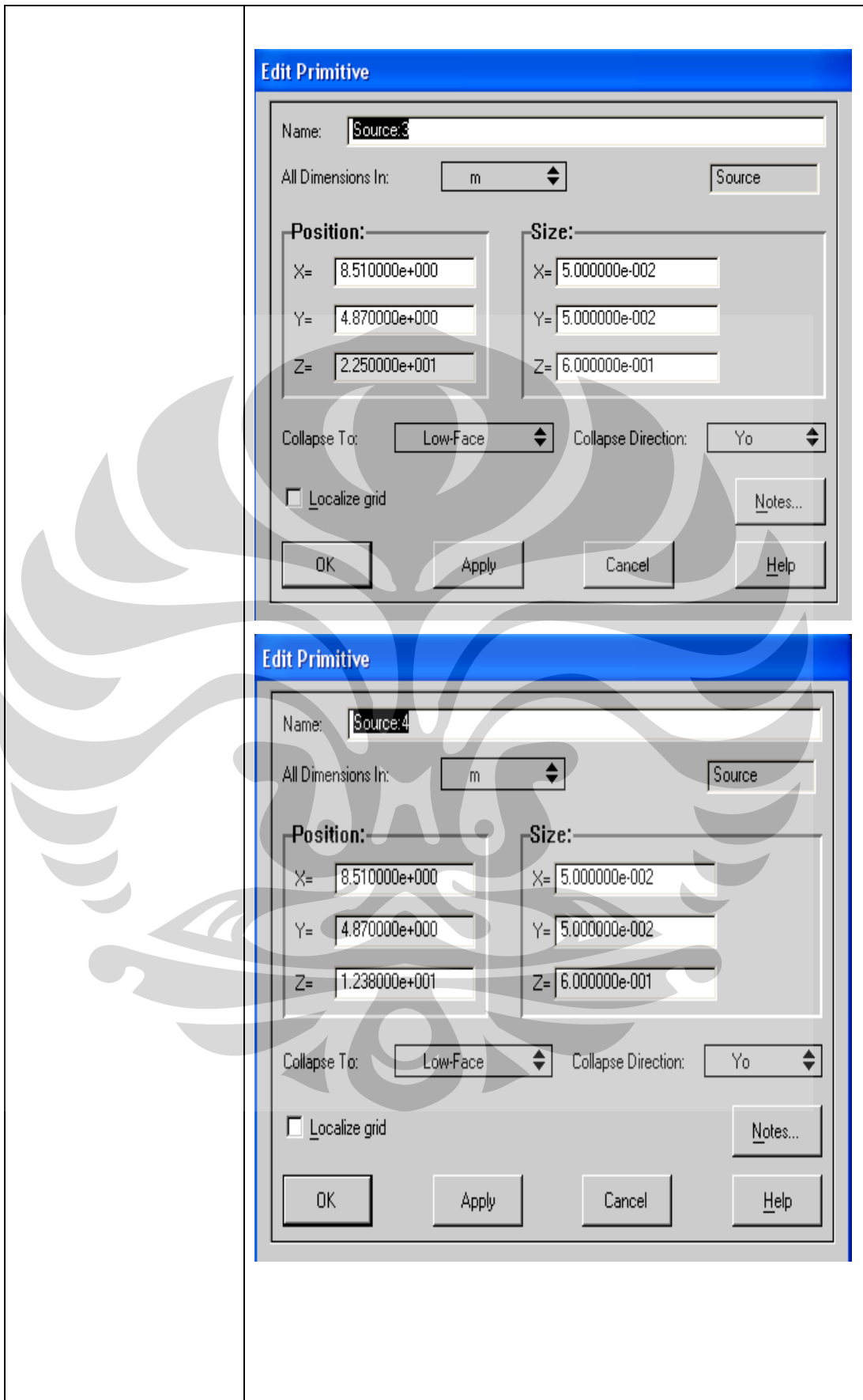
Name:

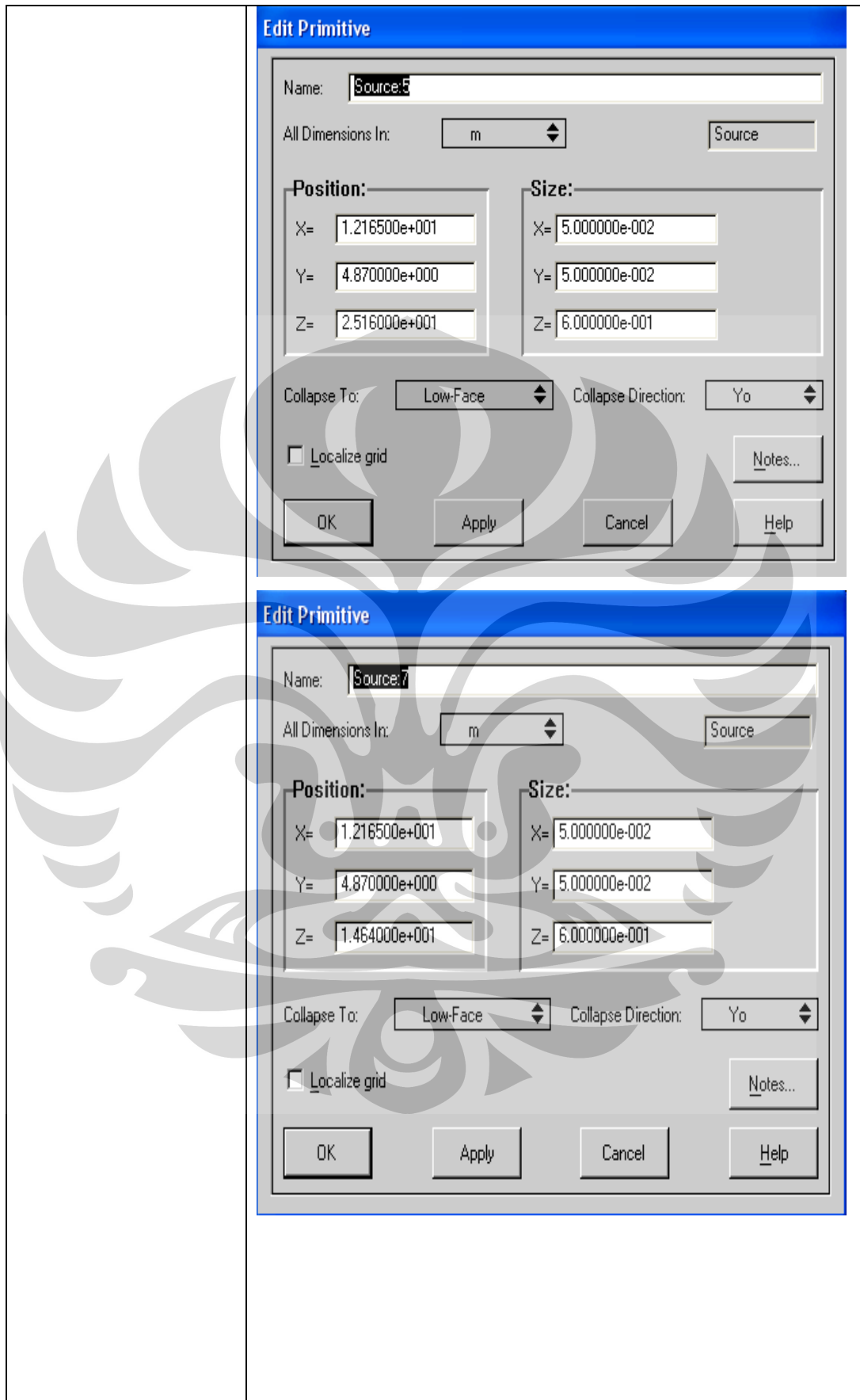
All Dimensions In:

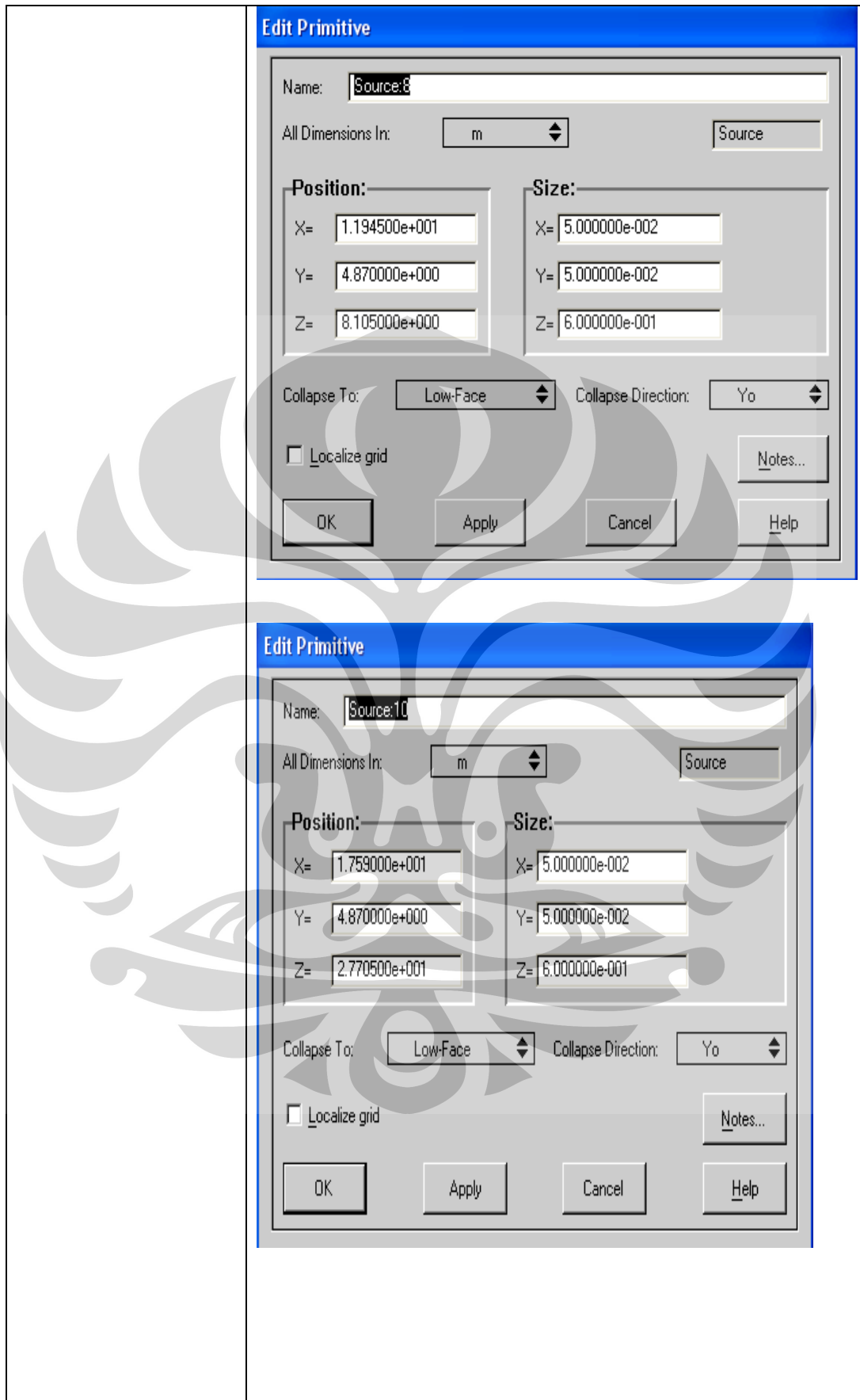
| | |
|---|---|
| Position: | Size: |
| X= <input type="text" value="8.400000e+000"/> | X= <input type="text" value="5.000000e-002"/> |
| Y= <input type="text" value="4.870000e+000"/> | Y= <input type="text" value="5.000000e-002"/> |
| Z= <input type="text" value="8.395000e+000"/> | Z= <input type="text" value="6.000000e-001"/> |

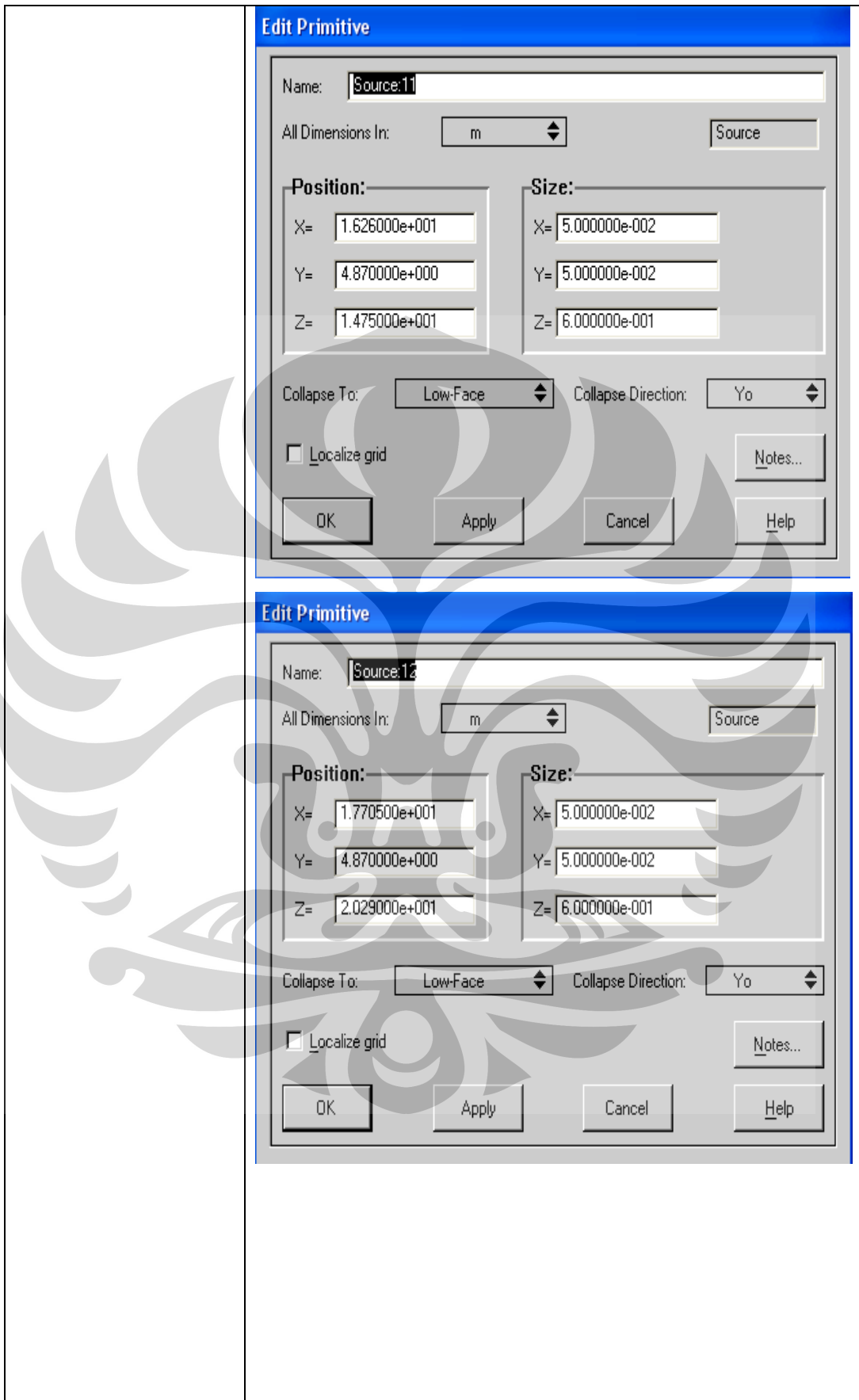
Collapse To: Collapse Direction:

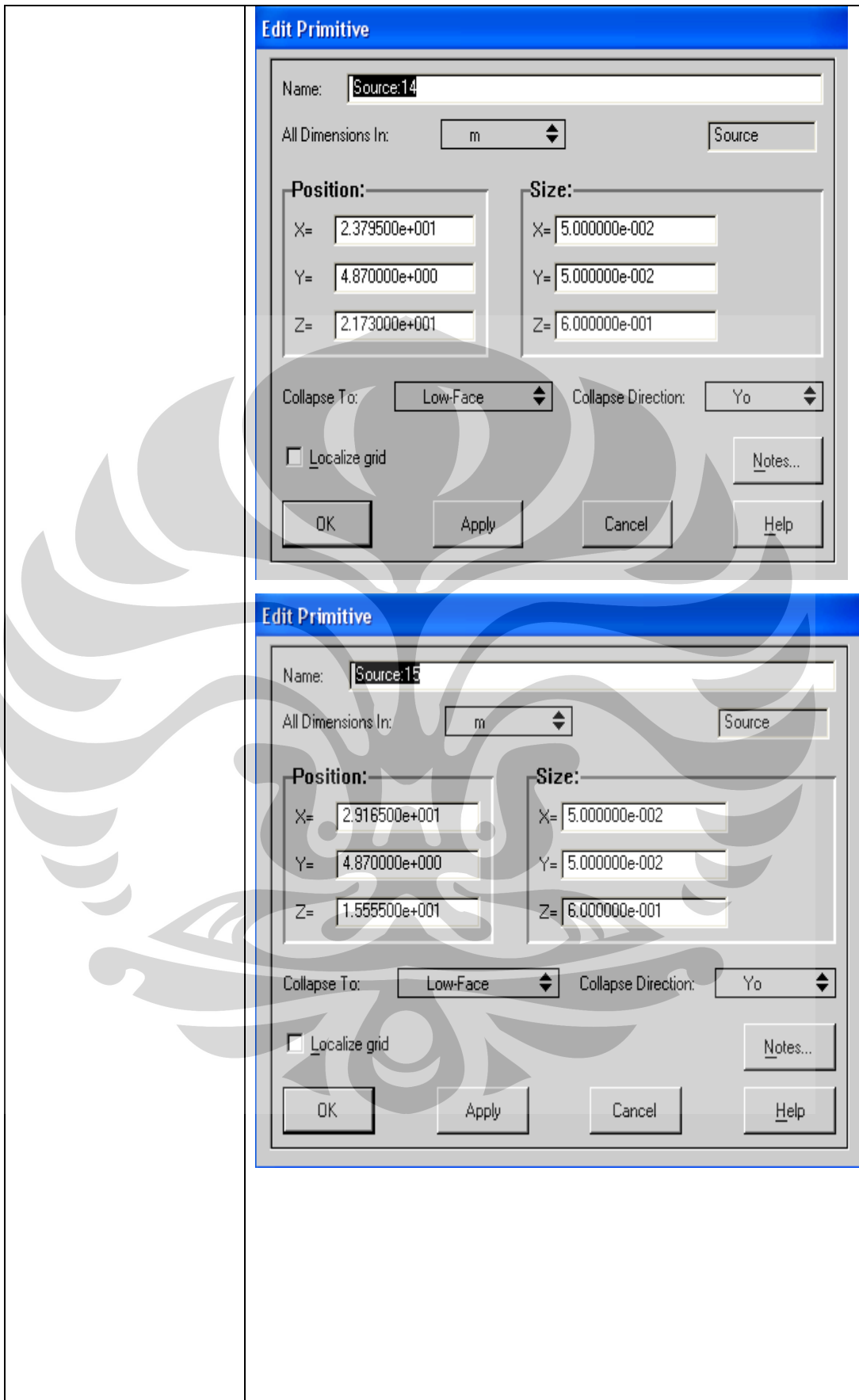
Localize grid











15. Masukkan jumlah maksimum orang yang menempati ruangan. Dengan memilih source dan pemberian level activity = medium, dengan jumlah manusia keseluruhan sebanyak 600 orang,

Edit Primitive

Name:

All Dimensions In:

Position:

X=

Y=

Z=

Size:

X=

Y=

Z=

Collapse To: Collapse Direction:

Localize grid

Edit Primitive

Name:

All Dimensions In:

Position:

X=

Y=

Z=

Size:

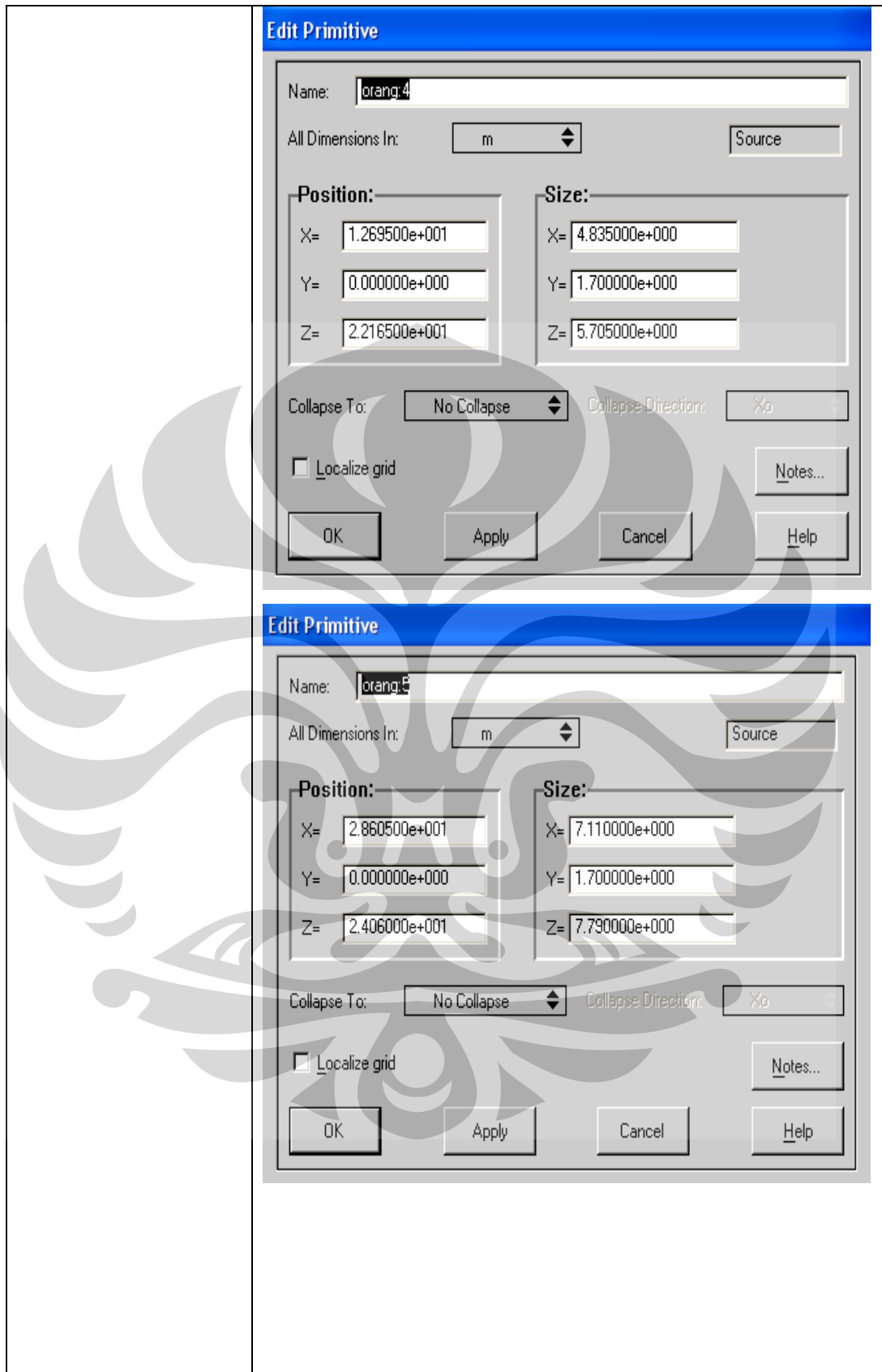
X=

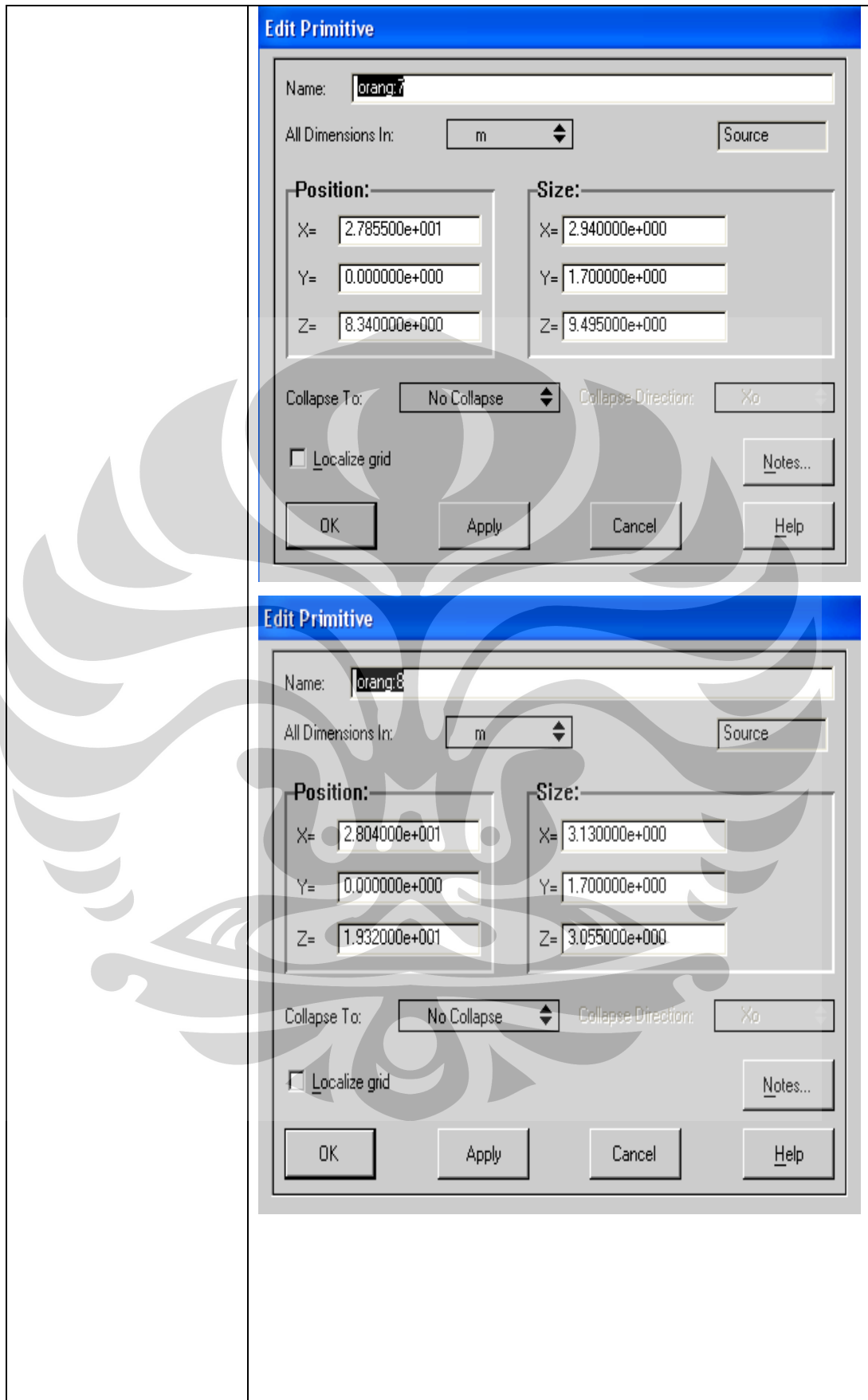
Y=

Z=

Collapse To: Collapse Direction:

Localize grid





LAMPIRAN

B. POST PROCESSING

Pilih launch visual editor untuk melihat hasil simulasi

Pada plots, klik kanan pilih create plane

Selanjutnya setting hasil pada property

Tampilan hasil simulasi

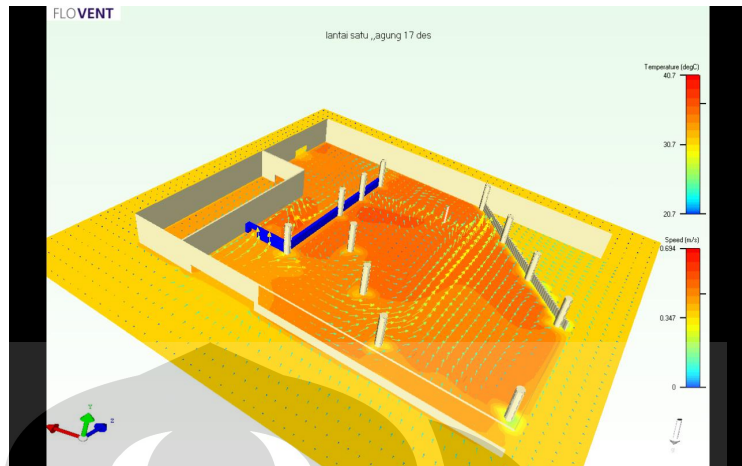
1. Distribusi dan temperature (bidang X) pada lokasi

| Property | Value |
|--------------------|-------------------------------------|
| Name | plane2 |
| On | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Axis | X |
| Location | <input type="text" value="115"/> cm |
| Show Scalar | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Scalar Field | Temperature |
| Show Vector | <input type="checkbox"/> |
| Vector Field | Velocity |
| Show Grid | <input type="checkbox"/> |
| Show Min. and Max. | <input type="checkbox"/> |
| Plot Min. Value | 23 degC |
| Plot Min. Location | (1.1502,0.024,345) |
| Plot Max. Value | 30.1 degC |
| Plot Max. Location | (1.1502,1.1808,2.9819) |
| Show Tooltip Cell | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fill Type | Interpolated |
| Number of Contours | 50 (Range: 1 -> 500) |
| Use Lighting | <input type="checkbox"/> |
| Transparency | 0 (Range: 0 -> 1) |
| Show Manipulator | <input checked="" type="checkbox"/> |

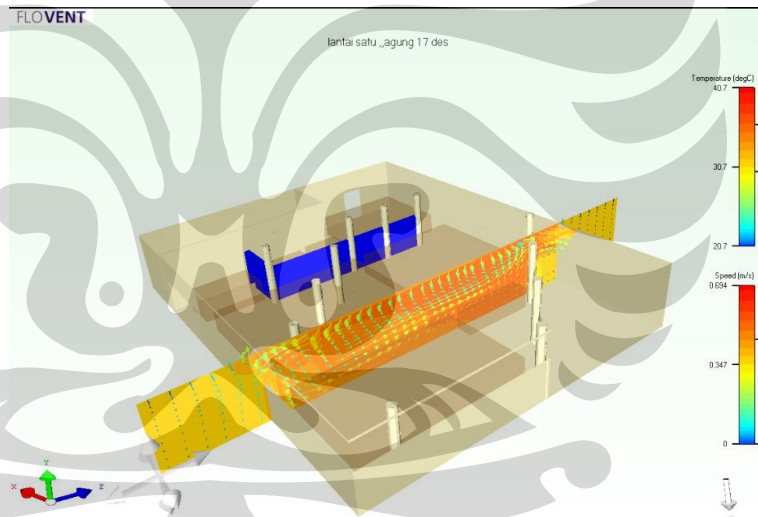
Temperature (degC)

Speed (m/s)

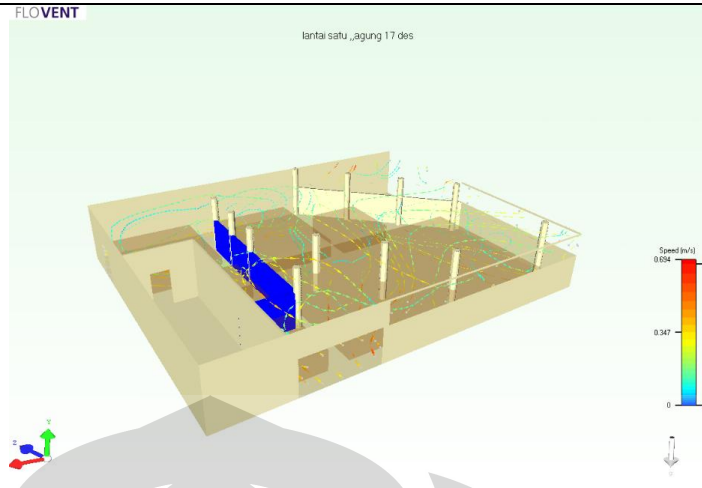
2. Distribusi aliran udara dan temperature (bidang Y)



3. Distribusi aliran udara (bidang X)



4. Gambar jalur atau track aliran yang berasal dari ventilasi



5. Gambar PMV pada bidang Y

