

TESIS

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM VENTILASI  
RUANG GAMBAR DENGAN CFD,  
STUDI KASUS: RUANG GAMBAR BASEMEN  
SMK NEGERI 2 WONOSARI**



T U H A R I  
No. Mhs. : 115401642/PS/MTA

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ARSITEKTUR  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
2014**



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
**PROGRAM PASCASARJANA**  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ARSITEKTUR

PERSETUJUAN TESIS

Nama : T U H A R I  
Nomor Mahasiswa : 115401642/PS/MTA  
Konsentrasi : Teknik Digital Arsitektur  
Judul Tesis : Pengembangan Model Sistem Ventilasi Ruang Gambar dengan CFD, Studi Kasus: Ruang Gambar Basemen SMK Negeri 2 Wonosari

Nama Pembimbing Tanggal Tanda tangan

Prof. Ir. Prasasto Satwiko, M.B.Sc., Ph.D. 5 Pebruari 2014

Ir. Soesilo Boedi Leksono, M.T. 5 Pebruari 2014



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ARSITEKTUR

PENGESAHAN TESIS

Nama : T U H A R I  
Nomor Mahasiswa : 115401642/PS/MTA  
Konsentrasi : Teknik Digital Arsitektur  
Judul Tesis : Pengembangan Model Sistem Ventilasi Ruang Gambar dengan CFD, Studi Kasus: Ruang Gambar Basemen SMK Negeri 2 Wonosari

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Prof. Ir. Prasasto Satwiko, M.B.Sc., Ph.D. (Ketua)	5 Pebruari 2014	
Ir. Soesilo Boedi Leksono, M.T. (Sekretaris)	5 Pebruari 2014	
Ir. YP. Suhodo Tjahjono, M.T. (Anggota)	5 Pebruari 2014	



Ketua Program Studi

Dr. Amos Setiadi, S. T., M. T.  
PASCASARJANA

## HALAMAN PERNYATAAN

Bersama ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul: "Pengembangan Model Sistem Ventilasi Ruang Gambar dengan CFD, Studi Kasus: Ruang Gambar Baseman SMK Negeri 2 Wonosari" merupakan hasil karya saya yang belum pernah ditulis oleh penulis lain dan belum pernah dipublikasikan dalam penerbitan manapun. Berbagai rujukan dari hasil karya penulis lain telah saya sebutkan sumbernya sesuai standar tata cara penulisan karya ilmiah.

Yogyakarta, Januari 2014



T u h a r i

## **HALAMAN PERNYATAAN**

Bersama ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul: "Pengembangan Model Sistem Ventilasi Ruang Gambar dengan CFD, Studi Kasus: Ruang Gambar Baseman SMK Negeri 2 Wonosari" merupakan hasil karya saya yang belum pernah ditulis oleh penulis lain dan belum pernah dipublikasikan dalam penerbitan manapun. Berbagai rujukan dari hasil karya penulis lain telah saya sebutkan sumbernya sesuai standar tata cara penulisan karya ilmiah.

Yogyakarta, Januari 2014

**T u h a r i**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ ﴿١﴾

1. Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang.

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ ﴿٢﴾

2. Segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam.

الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ ﴿٣﴾

3. Maha Pemurah lagi Maha Penyayang.

مَلِكِ يَوْمِ الدِّينِ ﴿٤﴾

4. Yang menguasai di Hari Pembalasan.

إِيَّاكَ نَعْبُدُ وَإِيَّاكَ نَسْتَعِينُ ﴿٥﴾

5. Hanya Engkau yang kami sembah, dan hanya kepada Engkau kami meminta pertolongan.

أَهْدِنَا الصِّرَاطَ الْمُسْتَقِيمَ ﴿٦﴾

6. Tunjukilah kami jalan yang lurus,

صِرَاطَ الَّذِينَ أَنْعَمْتَ عَلَيْهِمْ غَيْرِ الْمَغْضُوبِ عَلَيْهِمْ وَلَا الضَّالِّينَ ﴿٧﴾

7. (yaitu) Jalan orang-orang yang telah Engkau beri nikmat kepada mereka; bukan (jalan) mereka yang dimurkai dan bukan (pula jalan) mereka yang sesat.

(Al Qur'an Surat Al Fatihah, ayat: 1 – 7)



## **KATA PENGANTAR**

Bismillahi wal hamdulillah, dengan nama Allah dan segala puji bagi Allah yang melimpahkan segala nikmat: kehidupan, kesehatan, kebahagiaan, keberkahan, keilmuan, kefahaman dan semua nikmat yang telah dan yang akan dianugerahkan kepada penulis sekeluarga, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis ini. Penyusunan tesis dengan judul: "Pengembangan Model Sistem Ventilasi Ruang Gambar dengan CFD, Studi Kasus: Ruang Gambar Baseman SMK Negeri 2 Wonosari", ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan bagi penulis untuk mendapatkan gelar Magister Teknik (M. T.) pada Program Pascasarjana Magister Teknik Arsitektur, Konsentrasi Arsitektur Digital, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Mustahil penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis ini tanpa peran serta dan bantuan dari berbagai pihak kepada penulis. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengungkapkan rasa syukur yang mendalam, kepada:

1. Dr. Amos Setiadi, S. T., M. T., selaku Ketua Program Magister Teknik Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, yang telah memberikan pengarahan dan pedoman dalam penelitian dan penyusunan tesis ini,
2. Prof. Ir. Prasasto Satwiko, M. Bsc. Ph. D., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak memberikan pengarahan, saran dan bimbingan dengan penuh perhatian dalam penelitian dan penyusunan tesis yang penulis lakukan,
3. Ir. Soesilo Boedi Leksono, M. T., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan pengarahan, masukan dan bimbingan dengan penuh kesabaran dalam penelitian dan penyusunan tesis bagi penulis,
4. Ir. YP. Suhodo Tjahjono, M. T., selaku Dosen Penguji proposal dan tesis yang telah banyak memberikan masukan dan saran untuk kelengkapan penelitian dan penyusunan tesis berikut ini,
5. Drs. R. Kadarmanto Baskoro Aji, selaku Kepala Dinas Dikpora Propinsi DIY, yang telah memberikan ijin belajar dan beasiswa kepada penulis untuk menempuh program pendidikan pascasarjana hingga selesai,

6. Drs. Sangkin, M. Pd., selaku kepala SMK Negeri 2 Wonosari yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti jenjang pendidikan strata 2 dengan mengalokasikan anggaran beasiswa dari dinas pendidikan,
7. Bapak dan ibu guru SMK Negeri 2 Wonosari, terutama Jurusan Teknik Bangunan, selaku teman sejawat yang telah banyak merelakan tenaga, waktu dan kesempatan kepada penulis dalam menempuh program S2 hingga selesai,
8. Ny. Minem Parnodimejo, selaku ibu kandung penulis yang mengandung, melahirkan, merawat, mengasuh dan mendidik penulis hingga dewasa dan dapat menjalani kehidupan secara mandiri,
9. Ky. Parnodimejo (alm.), selaku bapak kandung penulis yang telah merawat, mengasuh, menasehati dan membiayai pendidikan penulis hingga ke jenjang pendidikan tinggi, bekerja dan dapat menjalani kehidupan secara mandiri,
10. Itang, Amlan, Awliy dan Inestu, selaku istri dan anak-anak tersayang yang dengan kepercayaan penuh telah mendorong dan memberi kesempatan untuk mengambil dan menyelesaikan jenjang pendidikan strata 2 kepada penulis,
11. Keponakan dan segenap kerabat yang tak sempat disebutkan namanya, yang telah membantu lahir-batin dalam penelitian dan penyusunan tesis penulis.

Akhirnya dalam tesis ini pastilah banyak ditemukan ketidaksempurnaan sebagai wujud ketidakmampuan penulis sebagai insan biasa. Maka tidak berlebihan jika penulis mengharap tegur sapa dan saran penyempurnaan dari para cendekiawan terhadap penyusunan tesis ini. Sebagai penutup teriring doa, “Semoga karya yang sederhana ini penuh rohmat dan barokah bagi penulis, anak istri, kerabat, teman-teman guru, adik-adik mahasiswa, para siswa dan yang membutuhkannya, aamiin”.

Yogyakarta, Januari 2014

**T u h a r i**  
**No.Mhs. 115401642/PS/MDA**



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR RUMUS</b> .....	xivi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>INTISARI</b> .....	xviii
<b>ABSTRACT</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>A. Latar Belakang</b> .....	1
1. <b>Arti Kata dalam Judul</b> .....	1
2. <b>Arti dari Judul Keseluruhan</b> .....	2
<b>B. Alasan Obyek Studi</b> .....	2
<b>C. Tinjauan Ruang Basemen</b> .....	2
<b>D. Rumusan Masalah</b> .....	7
<b>E. Batasan Masalah</b> .....	7
1. <b>Substansial</b> .....	8
2. <b>Spasial</b> .....	8
3. <b>Temporal</b> .....	9
<b>F. Keaslian Penelitian</b> .....	9
<b>G. Tujuan Penelitian</b> .....	9
<b>H. Sasaran Penelitian</b> .....	10
<b>I. Manfaat Penelitian</b> .....	13
<b>J. Sistematika Penulisan</b> .....	13
<b>K. Tahapan Penelitian</b> .....	16

<b>L. Kerangka Pikir Studi</b> .....	17
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	18
<b>A. Studi Pustaka</b> .....	18
1. Kenyamanan Termal .....	18
2. PMV and PPD Index.....	20
3. Faktor-faktor Kenyamanan Termal .....	23
4. Suhu Nyaman Iklim Tropis.....	24
5. Termal Dalam Ruang .....	25
6. Ventilasi Ruang Bangunan.....	26
7. Ventilasi Mekanis .....	27
8. Pergantian Udara .....	28
9. Kecepatan Angin .....	28
10. Kecepatan dan Suhu Udara .....	31
11. Kondisi Udara .....	32
12. Tidak Nyaman (Terlalu Panas atau Dingin) .....	33
13. Radiasi.....	34
14. Panas Lampu CFL dan TL .....	34
15. Panas Tubuh Manusia .....	35
16. Kelembaban Zona Nyaman.....	37
17. Metabolisme Aktivitas Tubuh.....	39
18. Nilai Insulasi Pakaian .....	39
19. Kecepatan Angin Kipas .....	39
20. Wind Catcher .....	40
<b>B. Landasan Teori</b> .....	41
1. Standar Ukuran Ruang .....	41
2. Standar Luas Ventilasi .....	42
3. Standar Kecepatan Angin .....	42
4. Suhu Radian .....	42
5. Suhu Nyaman .....	42
6. Kelembaban Udara Nyaman.....	42
7. Suhu Tubuh Pengguna .....	43

8. Metabolisme Aktivitas Tubuh.....	43
9. Menghitung Insulasi Pakaian .....	43
10. Suhu Panas Lampu CFL dan TL .....	43
11. Kecepatan Kipas .....	43
12. Tingkat Nyaman.....	43
<b>BAB III PERMASALAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>44</b>
<b>A. Permasalahan .....</b>	<b>44</b>
<b>B. Metodologi Penelitian .....</b>	<b>45</b>
1. Pendekatan Penelitian .....	45
2. Metode Penelitian.....	47
3. Sumber Data .....	47
4. Teknik Sampling .....	49
5. Kedudukan Data Penelitian .....	50
6. Konversi Suhu .....	51
7. Teknik Analisa Data .....	53
<b>BAB IV PENGUKURAN PEMODELAN DAN PENGUJIAN .....</b>	<b>54</b>
<b>A. Penelitian Pratesis .....</b>	<b>54</b>
1. Tentang Penelitian Pratesis .....	54
2. Data Penelitian Pratesis .....	54
3. Kesimpulan Penelitian Pratesis .....	56
<b>B. Pemeriksaan Eksisting.....</b>	<b>56</b>
1. Dimensi Ruang Basemen .....	56
2. Dimensi Ventilasi Roster Lingkaran .....	56
3. Dimensi Pintu Utama.....	57
4. Dimensi Ventilasi Outlet Eksisting .....	57
5. Hasil Pemeriksaan Dimensi.....	57
<b>C. Data Hasil Pengukuran .....</b>	<b>58</b>
1. Arah dan Kecepatan Angin.....	58
2. Kecepatan Angin Kipas dan Ventilasi .....	59
3. Titik Pengukuran Suhu Ruang .....	60
4. Suhu Bola Kering dan Bola Basah .....	60

<b>D. Pengolahan Data .....</b>	<b>61</b>
1. Arah dan Kecepatan Angin.....	61
2. Kecepatan Kipas dan Suhu Ruang.....	62
3. Perubahan Suhu Udara .....	62
4. Hasil Kelembaban Udara .....	63
5. Data Input Simulasi CFD .....	63
6. Analisa Data Input Comfort Calculator .....	64
7. Data Input Comfort Calculator .....	65
<b>E. Pengembangan Model Sistem Ventilasi .....</b>	<b>65</b>
1. Cross Ventilastion (MD 01 – 04).....	66
2. Maximum Inlet - Outlet (MD 05 – 08) .....	67
3. Semi Wind Catcher (MD 09 – 13).....	67
4. Wind Catcher Berventuri (MD 14 – 28) .....	68
5. Wind Catcher Non Venturi (MD 29 – 66).....	68
6. Wind Catcher Edge Filleted – Flow Road (MD 67 – 73).....	68
7. Wind Catcher PVC (MD 74 – 85).....	69
<b>F. Struktur Organisasi Pemodelan.....</b>	<b>69</b>
<b>G. Pengujian Model Sistem Ventilasi.....</b>	<b>69</b>
1. Membuka Model pada CFD.....	69
2. Setting dan Konfigurasi Data CFD.....	70
3. Proses Meshing.....	71
4. Proses Running Simulasi .....	72
5. Pembacaan Suhu dan Kecepatan Angin .....	73
<b>H. Daftar Kategori Pengujian Model.....</b>	<b>73</b>
<b>I. Hasil Simulasi Mendekati Standar .....</b>	<b>73</b>
<b>J. Hasil Analisa Comfort Calculator .....</b>	<b>74</b>
<b>K. Proyeksi 3D Model Mendekati Standar.....</b>	<b>74</b>
<b>BAB V PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>75</b>
<b>A. Hasil Pengujian Simulasi CFD .....</b>	<b>75</b>
1. Ketidaktepatan Penelitian.....	75
2. Kelebihan Pengujian CFD.....	75

3. Hasil Simulasi CFD Invisible .....	76
4. Hasil Simulasi CFD Visible .....	76
<b>B. Kelas Hasil Analisa Comfort Calculator .....</b>	<b>77</b>
1. A Class Comfortable .....	77
2. B Class Comfortable .....	77
3. C Class Comfortable .....	78
4. Slightly Cool Comfortable .....	78
<b>C. Asumsi, Keterbatasan, Kesulitan dan Mengatasinya .....</b>	<b>79</b>
1. Asumsi dan Keterbatasan .....	79
2. Kesulitan Penelitian .....	80
3. Mengatasi Keterbatasan dan Kesulitan .....	80
<b>D. Penemuan Mengiringi Penelitian .....</b>	<b>81</b>
1. Konversi Standar Suhu .....	81
2. Kesederhanaan Model .....	82
3. Lubang Tembereng Rangkap .....	83
4. Riwayat Penyempurnaan Model .....	84
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>90</b>
<b>A. Kesimpulan .....</b>	<b>90</b>
1. Pemeriksaan Dimensi .....	90
2. Hasil Pemodelan .....	90
3. Hasil Simulasi CFD .....	91
4. Hasil Analisa Comfort Calculator .....	91
5. Kesimpulan Terhadap Permasalahan.....	92
<b>B. Saran - Saran .....</b>	<b>92</b>
1. Pada Ruang Basemen .....	92
2. Pada Penelitian Selanjutnya .....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>94</b>
<b>DAFTAR STANDAR DAN PERATURAN BERWENANG .....</b>	<b>98</b>
<b>DAFTAR REFERENSI WEB.....</b>	<b>99</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jadwal pemakaian ruang gambar “basemen”.....	7
Tabel 2. Skala kenyamanan termal menurut lembaga dan para ahli.....	21
Table 3. <i>Predicted percentage of dissatisfied based on the predicted mean vote</i> .....	22
Tabel 4. Perbandingan Faktor Penentu Kenyamanan Termal.....	23
Tabel 5. Suhu netral dan batas kenyamanan termal di Indonesia. ....	24
Tabel 6. Standar suhu nyaman dari tata cara perencanaan teknis konservasi energi pada bangunan gedung.....	25
Tabel 7. Pengaruh kenyamanan kecepatan aliran udara bagi manusia. ....	29
Tabel 8. Hasil pembacaan diagram <i>rough wooded country</i> .....	30
Tabel 9. Arah dan kecepatan angin di Yogyakarta dalam satu tahun. ....	31
Tabel 10. Hubungan kecepatan udara dengan suhu udara kering. ....	32
Tabel 11. Kondisi udara di Yogyakarta tahun 2011. ....	33
Tabel 12. Spesifikasi teknik untuk lampu neon balast elektronik.....	34
Tabel 13. Kecepatan angin kipas angin 15” dalam berbagai jarak. ....	40
Tabel 14. Analisa selisih suhu ASHRAE dan Jawa, Indonesia. ....	51
Tabel 15. Analisa untuk mendapatkan rumus konversi. ....	52
Tabel 16. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara.....	55
Tabel 17. Hasil pemeriksaan dimensi ruang basemen terhadap standar.....	58
Tabel 18. Hasil pengukuran kecepatan angin, arah dan suhu. ....	59
Tabel 19. Pengukuran kecepatan angin, kipas dan suhu ruang.....	60
Tabel 20. Hasil rata-rata suhu 12 titik meja dengan kipas hidup.....	62
Tabel 21. Hasil perhitungan rata-rata suhu bola basah bola kering. ....	63
Tabel 22. Data input untuk simulasi CFD.....	63
Tabel 23. Kecepatan angin dan suhu hasil simulasi dan suhu konversi. ....	64
Tabel 24. Data input <i>Comfort Calculator</i> dari simulasi, analisa dan tabel.....	65
Tabel 25. Contoh <i>Mesh Statistic</i> bila <i>Meshing</i> berhasil dengan baik. ....	72
Tabel 26. Hasil PMV dan PPD dan peringkat kenyamanan. ....	74
Tabel 27. Hasil simulasi CFD Invisible.....	76
Tabel 28. Hasil simulasi CFD Visible.....	77
Tabel 29. Rekomendasi aplikasi hasil analisa <i>Comfort Calculator</i> . ....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Situasi ruang gambar “basemen” telah padat bangunan dua lantai.....	3
Gambar 2. Gedung dua lantai sebelah barat laut (kiri), dan gedung sebelah barat daya berjarak 2,55 m (kanan).....	4
Gambar 3. Pintu masuk “basemen”. Depan ventilasi berdiri gedung ruang kelas dua lantai .....	5
Gambar 4. Ventilasi di sisi lain sudut timur dan barat laut .....	5
Gambar 5. Ventilasi utama sisi barat ruang “basemen”.....	5
Gambar 6. Dua Exhaust Fan dipasang di sisi ruang.....	6
Gambar 7. Tahapan penelitian ruang gambar “basemen” SMK Negeri 2 Wonosari. ....	16
Gambar 8. Kerangka pikir studi ruang gambar basemen SMKN 2 Wonosari.....	17
Gambar 9. Keterterimaan termal adaptif menurut ASHRAE 55–2004. ....	20
Gambar 10. <i>Evolution of PPD on the basis of PMV</i> . ....	22
Gambar 11. Faktor kenyamanan ruang, Heinz Frick. ....	26
Gambar 12. Contoh ventilasi mekanis “basemen”.....	27
Gambar 13. Diagram angin menurut Szokolay, 1980. ....	29
Gambar 14. Penataan bangunan yang mengacu gerakan angin, Golany, 1995. ....	30
Gambar 15. <i>Acceptable range of operative temperature and air speeds for the comfort zone</i> , .....	32
Gambar 16. Panas tubuh, menurut Egan, 1975.....	35
Gambar 17. <i>Human thermocontrol</i> .....	36
Gambar 18. <i>Heat and cold adaptation</i> .....	36
Gambar 19. <i>Temperature (muscle, rectal &amp; skin) during exercise</i> .....	37
Gambar 20. <i>Ventilative cooling comfort zone</i> .....	37
Gambar 21. <i>Comfort zone according to the temperature and relative humidity values</i> .....	38
Gambar 22. <i>Wind catchers and basement cooling/passive conditioning</i> .....	40



Gambar 23. (a) <i>Direction of wind path and energy conservation in earth refrigerator</i> .....	41
Gambar 24. Posisi kedudukan data pada proses penelitian. ....	50
Gambar 25. Denah titik-titik pengukuran suhu dan kelembaban.....	53
Gambar 26. Arah angin umum dan lokal hasil survey.....	58
Gambar 27. Diagram arah angin menurut BMG.....	59
Gambar 28. Denah posisi ventilasi dan kipas angin. ....	59
Gambar 29. Denah pengukuran suhu ruang basemen.....	60
Gambar 30. Denah pengukuran suhu bola basah dan bola kering. ....	61
Gambar 31. Penguraian arah dan kecepatan angin berorientasi bangunan.....	62
Gambar 32. Contoh grafik hasil simulasi pada Model 73.....	72
Gambar 33. Proses perubahan bentuk lubang pada badan wind catcher. ....	84
Gambar 34. Lubang kecil-kecil diperluas menjadi persegi panjang. ....	85
Gambar 35. Meja dan kursi dibuang agar ringan disimulasikan.....	85
Gambar 36. Balok dan kolom dibuang agar ringan simulasinya. ....	86
Gambar 37. Daun jendela dibuang dibiarkan lubang saja.....	86
Gambar 38. Perubahan partisi MD 44 ke MD 45 .....	86
Gambar 39. Mulai MD 47 partisinya dibuang secara total .....	87
Gambar 40. Perubahan sudut belokan Model 66 ke Model 67 .....	87
Gambar 41. Perubahan panjang lorong dari 0 m, 1 m, 2 m dan 3 m .....	88
Gambar 42. Perubahan badan wind catcher berbahan PVC .....	89

## DAFTAR RUMUS

Rumus 1. Suhu globe dengan rumus $T_{\text{globe}} = \text{Suhu udara} + 0,3^{\circ}\text{C}$ .....	42
Rumus 2. Suhu radian $T_{\text{mrt}} = T_{\text{globe}} + 0,24\sqrt{0,5} (T_{\text{globe}} - T_{\text{db}})$ .....	42
Rumus 3. Suhu operative $T_{\text{op}} = AT_{\text{db}} + (1-A)T_{\text{mrt}}$ .....	42
Rumus 4. Insulasi pakaian (Clo Pria) = $0,727 \cdot \Sigma(\text{masing-masing clo}) + 0,113$ .....	43
Rumus 5. Insulasi pakaian (Clo wanita) = $0,770 \cdot \Sigma(\text{masing-masing clo}) + 0,050$ .....	43
Rumus 6. Konversi suhu ke ASHRAE $T_{\text{ash}} = 22 + \{0,25[(T_{\text{jaw}} - 22,2)/0,5]\}$ .....	52

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kartu bimbingan tesis.....	100
Lampiran 2. Penelitian kenyamanan termal dari berbagai waktu dan lokasi.....	102
Lampiran 3. Pengukuran suhu ruang 12 tempat meja.....	103
Lampiran 4. Hasil pengukuran suhu bola basah-bola kering.....	104
Lampiran 5. Kelembaban udara dengan selisih suhu bola basah-bola kering.....	105
Lampiran 6. Nilai metabolisme berbagai aktivitas tubuh.....	106
Lampiran 7. Insulasi termal untuk beberapa jenis pakaian.....	107
Lampiran 8. <i>Thermal comfort research for naturally ventilated buildings and air-conditioned buildings in the South East Asia Region.</i> .....	108
Lampiran 9. Suhu tubuh dan daya panas yang ditimbulkan.....	109
Lampiran 10. Organisasi pemodelan dan pengujian model.....	110
Lampiran 11. Hasil simulasi <i>existing</i> pratesis.....	111
Lampiran 12. Gambar pemodelan kondisi <i>existing</i> (MD 00). .....	115
Lampiran 13. Gambar pemodelan ventilasi silang (MD 01 - 03). .....	116
Lampiran 14. Gambar pemodelan inlet modifikasi (MD 04). .....	119
Lampiran 15. Gambar pemodelan <i>maximum inlet</i> (MD 05 – 08). .....	121
Lampiran 16. Gambar pemodelan semi <i>wind catcher</i> (MD 09 – 13). .....	126
Lampiran 17. Gambar pemodelan <i>wind catcher ventury</i> (MD 14 – 28). .....	132
Lampiran 18. Gambar pemodelan <i>wind catcher partial</i> (MD 29 – 34).....	142
Lampiran 19. Gambar pemodelan <i>wind catcher continues inlet</i> (35 – 66).....	145
Lampiran 20. Gambar pemodelan <i>wind catcher edge filleted</i> (MD 67 – 73).....	169
Lampiran 21. Gambar pemodelan <i>wind catcher</i> dari pipa PVC (75 – 85).....	176
Lampiran 22. Daftar kategori hasil pengujian model dengan simulasi CFD.....	188
Lampiran 23. Hasil simulasi mendekati standar.....	206
Lampiran 24. Diagram warna hasil simulasi model mendekati standar.....	208
Lampiran 25. Hasil analisa kenyamanan termal dengan <i>comfort calculator</i> .....	222
Lampiran 26. Proyeksi 3D model yang hasil simulasinya mendekati standar.....	229

## INTISARI

Ruang “basemen” biasanya untuk: tempat parkir, gudang, ruang kontrol atau bak air dalam tanah. Aktivitas padat dalam “basemen” seperti di SMK Negeri 2 Wonosari ini jarang ada. Jumlah pengguna 18 orang terdiri 16 siswa dan dua guru, mempengaruhi kenyamanan termal di dalamnya. Dua kipas pada lubang ventilasi selalu dinyalakan saat ruang dipakai, jadi bukti awal ruang tersebut tidak nyaman. Sistem ventilasi satu dinding, kurang optimal mewujudkan sirkulasi udara di sana. Permasalahan pokoknya yaitu: bagaimana mengoptimalkan kenyamanan termal melalui olah model sistem ventilasi mengacu standar kenyamanan dan energi, simulasi CFD dan analisa *Comfort Calculator*?

Tujuan penelitiannya adalah: menemukan sejumlah model sistem ventilasi yang mengacu standar kenyamanan dan energi; memilih model sistem ventilasi melalui pengujian dengan simulasi CFD; menguji tingkat kenyamanan termal model yang terpilih dalam simulasi CFD dengan software *Comfort Calculator* berupa: *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD).

Metode penelitiannya adalah: observasi obyek kasus dan hasilnya dimodelkan mengacu standar luas ventilasi alami Sujudi; eksperimen, *trial and error* dilakukan simulasi CFD pada model sistem ventilasi; hasil simulasi CFD dipilih model yang mendekati standar kecepatan angin nyaman Heinz Frick dan standar suhu nyaman suku Jawa penelitian Karyono; suhu hasil simulasi dikonversi dengan Rumus (6) menjadi *Air Temperature* dan *Radiant Temperature* dengan Rumus (1), (2) dan (6); *Air Velocity* hasil simulasi dirata-rata; *Relative Humidity* diperoleh dari selisih antara suhu bola kering dan suhu bola basah dan dibaca pada tabel Lampiran 5; *Activity Rate* didapat dari tabel Lampiran 6 sesuai jenis kegiatan siswa; *Clothing Level* dari tabel Lampiran 7 sesuai jenis pakaian siswa; Kenyamanan termal model sistem ventilasi dihitung dengan *Comfort Calculator Online* dengan enam data parameter tersebut.

Penulis telah menguji 85 model sistem ventilasi yang terdiri: empat kategori (*cross ventilation*: 4 model, *maximum inlet*: 4 model, *semi wind catcher*: 5 model dan *wind catcher*: 72 model). Hasil simulasi CFD yang mendekati standar: *cross ventilation* (MD 04), *maximum inlet* (MD 05 dan 08) *wind catcher* (MD 50, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 80). Hasil analisa *Comfort Calculator* yaitu: nyaman *A Class* PMV -0,1 PPD 5,2% (MD 04); nyaman *B Class* PMV -0,4 PPD 8,3% (MD 73); nyaman *C Class* PMV -0,5 PPD 10,2% (MD 05 dan 08) dan (MD 72) PMV -0,6 PPD 12,5%; nyaman *Slightly Cool* PMV -0,7 PPD 15,3% (MD 67, 69, 70, 71, 76, 77, 78, 80) dan PMV -0,9 PPD 22,1% (MD 50).

**Kata kunci:** sistem ventilasi, ruang basemen, CFD.

## ABSTRACT

The "basement" is usually to: parking lots, warehouses, control room or tub of water in the soil. Intensive activity in the "basement" as in SMK Negeri 2 Wonosari rare. Number of users 18 people consisting of 16 students and two teachers, affect thermal comfort in it. Two fans in the ventilation holes are always switched on when the room is used, so the initial evidence of the room uncomfortable. The ventilation system of the wall, realizing less than optimal air circulation there. The problem basically is: how to optimize thermal comfort through ventilation system if the model refers to the standard of comfort and energy, CFD simulation and analysis Comfort Calculator?

The purpose of the research is: find the model number refers to the standard ventilation system comfort and energy; choose a model with a ventilation system through CFD simulation testing; examine the level of thermal comfort models chosen for the CFD simulation software such as Comfort Calculator: Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted percentage of Dissatisfied (PPD).

The research method is observation of cases and the results modeled object reference standard Sujudi extensive natural ventilation; experimentation, trial and error in the CFD simulation model of the ventilation system; Selected CFD simulation results of the model are closer to the standard wind speed Heinz Frick convenient and comfortable temperature standard Javanese research Karyono; Temperature simulation results converted by formula (6) to Air Temperature and Radiant Temperature with formula (1), (2) and (6), Air Velocity averaged simulation results; Relative Humidity is obtained from the difference between the dry bulb temperature and the wet bulb temperature is read at the tables of Appendix 5; Activity Rate obtained from tables of Appendix 6 according to the type of activities students; Clothing Level obtained from tables of Appendix 7 according to the type of clothing students; Thermal comfort ventilation system models calculated with Comfort Calculator Online with six of the parameter data.

The author has tested 85 models of the ventilation system comprising: four categories (cross ventilation: 4 models, maximum inlet: 4 models, spring wind catcher: 5 models and wind catcher: 72 models). CFD simulation results of the standard approach: cross ventilation (MD 04), maximum inlet (MD 05 and 08) wind catcher (MD 50, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 80). Comfort Calculator Results of analysis are: A Class comfortable -0.1 PMV PPD 5.2% (MD 04); B Class comfortable -0.4 PMV PPD 8.3% (MD 73); C Class comfortable -0.5 PMV PPD 10.2% (MD 05 and 08), and (MD 72) -0.6 PMV PPD 12.5%; Slightly Cool comfortable -0.7 PMV PPD 15.3% (MD 67, 69, 70, 71, 76, 77, 78, 80) and -0.9 PMV PPD 22.1% (MD 50).

**Keywords:** ventilation system, basement room, CFD.