

**REKAYASA VENTILASI ALAMI PADA GEDUNG
ISLAMIC CENTER PAMEKASAN**

SKRIPSI
PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
TAFIF PRANATA AKBAR
NIM. 135060501111046

JURUSAN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018



*Skripsi ini saya persembahkan kepada
Ayah dan ibu tercinta atas segala dukungannya*

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat pada karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi. Dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulsi atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Juli 2018

Mahasiswa



Tafif Pranata Akbar

NIM. 135060501111046



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 658 /UN10. F07.15/TU/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

TAFIF PRANATA AKBAR

Dengan Judul Skripsi :

REKAYASA VENTILASI ALAMI PADA GEDUNG ISLAMIC CENTER PAMEKASAN

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **20 Juli 2018**

Ketua Jurusan Arsitektur

Dr. Eng. Herry Santosa, ST., MT
NIP. 19730525 200003 1 004

Ketua Program Studi S1 Arsitektur

Ir. Heru Sufianto, M.Arch, St., Ph.D
NIP. 19650218 199002 1 001



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ARSITEKTUR

Jl. Mayjend Haryono No. 167 MALANG 65145 Indonesia
Telp. : +62-341-567486 ; Fax : +62-341-567486
<http://arsitektur.ub.ac.id> E-mail : arsftub@ub.ac.id

**LEMBAR HASIL
DETEKSI PLAGIASI SKRIPSI**

Nama : Tafif Pranata Akbar
NIM : 135060501111046
Judul Skripsi : Rekayasa Ventilasi Alami Pada Gedung Islamic Center Pamekasan
Dosen Pembimbing : Wasiska Iyati, ST., MT.
Periode Skripsi : Semester Genap 2017-2018
Alamat Email : thavivp@gmail.com

Tanggal	Deteksi Plagiasi ke-	Plagiasi yang terdeteksi (%)	Ttd Petugas Plagiasi
20 Juli 2018	1	22	
20 Juli 2018	2	13	
	3		

Malang, 23 Juli 2018

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

Wasiska Iyati, ST.,MT.
NIP. 201304 870504 2 001

Kepala Laboratorium
Dokumentasi Dan Tugas Akhir

Ir. Chairil Budiarto Amiuza, MSA
NIP.19531231 198403 1 009

Keterangan:

1. Batas maksimal plagiasi yang terdeteksi adalah sebesar 20%
2. Hasil lembar deteksi plagiasi skripsi dilampirkan bagian belakang setelah surat Pernyataan Orisinalitas dan Sertifikat Bebas Plagiasi

RINGKASAN

Taff Pranata Akbar, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Rekayasa Ventilasi Alami Pada Gedung Islamic Center Pamekasan*. Dosen Pembimbing: Wasiska Iyati.

Islamic Center Pamekasan merupakan gedung serbaguna yang mewadahi segala macam aktivitas yang membutuhkan kenyamanan termal dengan baik. Pada kondisi eksisting temperatur ruang dalam lebih tinggi dari ruang luar. Dalam upaya meningkatkan kenyamanan termal, perlu memperhatikan dua faktor yaitu temperatur ruang luar dan ruang dalam. Kondisi termal ruang dalam salah satunya dipengaruhi oleh desain bukaan ventilasi. Tidak adanya ventilasi atap dan akibat bangunan yang tebal menyebabkan aliran udara tidak dapat keluar sehingga temperatur ruang dalam menjadi tinggi (28°C - 33°C). Bukaan ventilasi berperan penting dalam mengalirkan udara, dengan kombinasi ventilasi atap dan ventilasi dinding pada sudut kemiringan tertentu dapat menurunkan temperatur panas dalam ruang melalui *stack effect*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif-evaluatif dan simulasi eksperimental dengan menggunakan *software Ecotect Analysis 2011*. SNI 03-6572-2001 menjadi acuan dalam menentukan rekomendasi desain yang memiliki kemampuan dalam menurunkan temperatur udara. Hasil penelitian ini berupa rekomendasi desain ventilasi dinding dengan sudut kemiringan bukaan 90° serta bukaan dinding dengan sudut kemiringan 45° dapat menurunkan temperatur sebesar $3,1^{\circ}\text{C}$ dari $29,8^{\circ}\text{C}$ menjadi $26,7^{\circ}\text{C}$.

Kata kunci: *Islamic Center, ventilasi alami, kenyamanan termal*

SUMMARY

Tafif Pranata Akbar. *Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Juli 2018, The Engineering of Natural Ventilation at Pamekasan Islamic Center*
Academic Supervisor: Wasiska Iyati.

Pamekasan Islamic Center is a multipurpose building which accommodates various activities that need thermal comfort well. The indoor existing temperature is higher than the outdoor. In attempt to increase the thermal comfort, it takes two factors, namely: the outdoor and indoor temperature. The indoor thermal condition is one of the conditions affected by the opening ventilation design. The absence of rooftop ventilation and the effect of thick building causes the air flow cannot go out so that the indoor temperature becomes hot (28°C-33°C). The opening ventilation plays important role to flow the air, with rooftop ventilated combination and wall ventilation on certain declivity angle can decrease the warm temperature in the room through Stack Effect.

Method used in this research is descriptive-evaluative method and experimental simulation by using Software Ecotect Analisis 2011. The chosen recommendation design is based on the capability of decreasing the air temperature that ponder away to achieve SNI 03-6572-2001. The results of this research are wall design ventilation and a recommendation of wall ventilation design with the 90° opening and with 45° declivity angle can decrease the temperature of 3,1°C from 29,8°C to 26,7°C.

Key words: Islamic Center, natural ventilation, thermal comfort.

PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmatnya saya diberi kesempatan untuk menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Rekayasa Ventilasi Alami Pada Gedung *Islamic Center* Pamekasan” yang menjadi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.

Proses penyelesaian ini tidak lepas dari dukungan beberapa pihak sehingga penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Slamet dan Ibu Badrun Ainanik atas semangat, do'a dan dukungannya sehingga terselesainya skripsi ini
2. Wasiska Iyati, ST.,MT. selaku dosen Pembimbing skripsi atas motivasi, saran dan arahan selama proses penyelesaian skripsi ini
3. Ir. Thojib, MSA, dan Andika Citraningrum, ST., M.Sc. selaku dosen penguji atas saran dan arahan selama proses penyelesaian skripsi ini
4. Bapak/ibu Dosen Jurusan Arsitektur atas ilmu pengetahuan yang telah diajarkan selama penulis berkuliah di perguruan tinggi ini
5. Pengurus Islamic Center Pamekasanyang telah mengizinkan saya untuk dapat melakukan penelitian dan berjalannya penelitian
6. Teman seperjuangan C. Luna yang telah membantu, menyemangati dan mendoakan kelancaran skripsi ini
7. Teman-teman di Pamekasan, Dayat, Ojan, Rani, Renzy, Arin, Ria, yang telah menyemangati, dan mendoakan kelancaran skripsi ini
8. Rekan Studio Ataputih, Fajar, Adrian, Sebastian, Yafie, yang telah menyemangati dan mendoakan selancaran skripsi ini
9. Teman-teman Arsitektur 2013 yang telah menyemangati dan berbagi informasi selama studi di Arsitektur

Terima Kasih kepada pihak-pihak yang telah disebutkan danyang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Malang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
1.7 Sistematika Pembahasan	4
1.8 Kerangka Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Islamic Center</i>	7
2.2 Sistem Ventilasi	7
2.2.1 Pergerakan Angin	9
2.3 Bukaan Ventilasi Alami	10
2.3.1 Single-Side Ventilation	14
2.3.2 Ventilasi Silang	14
2.4 Kenyamanan Termal	14
2.4.1 Kenyamanan Termal Manusia	17
2.4.2 Faktor Kenyamanan Dalam Ruang	19
2.4.3 Lingkungan Kenyamanan Termal	20
2.5 Vegetasi.....	22
2.6 Rekayasa Ventilasi Alami.....	26
2.6.1 Kondisi Site	26
2.6.2 Orientasi Jendela dan Aliran Udara langsung	26
2.6.3 Pengaruh Peletakan Jendela	27
2.6.4 Bukaan Ventilasi Horizontal dan Aliran Udara	28
2.6.5 Jenis Bukaan Ventilasi	29
2.6.6 Ukuran Inlet, Outlet dan Peletakan	29
2.6.7 Ventilasi Atap.....	30
2.7 Penelitian Terdahulu	32
2.8 Kerangka Teori	34
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Lokasi Studi dan Waktu Penelitian.....	36
3.2.1 Lokasi Studi.....	36
3.2.2 Waktu Penelitian	39
3.3 Variabel Penelitian	39
3.4 Pengumpulan Data	40
3.4.1 Data Primer	40
3.4.2 Data Sekunder	42
3.5 Analisis Data.....	43
3.6 Sintesis Data.....	44

3.7	Kerangka Metode Penelitian	46
	46
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1	Tinjauan Umum Gedung <i>Islamic Center</i>	47
4.2	Evaluasi Sistem Ventilasi Alami Eksisting.....	49
4.3	Pengukuran Lapangan Kondisi Termal eksisting	56
4.3.1	Pengukuran Aliran Angin Eksisting.....	57
4.3.2	Pengukuran Kelembapan Relatif Eksisting.....	60
4.3.3	Pengukuran Temperatur Udara Eksisting	62
4.3.4	Simulasi Kondisi Termal.....	65
4.3.5	Perbandingan Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi Kondisi Termal Eksisting	70
4.4	Analisis Alternatif Rekomendasi Desain Rekayasa Desain Ventilasi Alami	74
4.4.1	Vegetasi	82
4.5	Analisis Hasil Simulasi Rekomendasi Desain	84
4.5.1	Skenario 1	84
4.5.2	Skenario 2.....	91
4.5.3	Skenario 3.....	98
4.5.4	Skenario 4.....	106
4.5.5	Tabulasi Hasil Rekomendasi Desain.....	115
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	117
5.1	Kesimpulan	117
5.2	Saran	119
	DAFTAR PUSTAKA.....	121
	LAMPIRAN	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Stack Effect Ventilation</i>	9
Gambar 2.2 Konfigurasi Tekanan (+) (-) Aliran Udara.....	11
Gambar 2.3 Desain Buka-an Ventilasi.....	11
Gambar 2.4 Pembelokan Pergerakan Udara.....	12
Gambar 2.5 Satu Sisi Buka-an & Ventilasi Silang.....	14
Gambar 2.6 Kalor Manusia.....	17
Gambar 2.7 Alira Udara.....	22
Gambar 2.8 Reduksi Kecepatan Angin.....	23
Gambar 2.9 Pohon Angsana.....	23
Gambar 2.10 Jambu Bol.....	24
Gambar 2.11 Pohon Nangka.....	24
Gambar 2.12 Kelapa Sawit.....	25
Gambar 2.13 Pucuk merah.....	25
Gambar 2.14 Pohon Tanjung.....	26
Gambar 2.15 Orientasi dan Pergerakan Udara Langsung.....	27
Gambar 2.16 Pngaruh Peletakan Jendela.....	28
Gambar 2.17 Ventilasi Horizontal.....	28
Gambar 2.18 Ukuran Inlet dan Outlet.....	29
Gambar 2.19 <i>Stack Ventilation</i>	31
Gambar 2.20 Proyeksi Aliran Angin Ventilasi Atap.....	31
Gambar 2.21 Grafik penyimpanan komsumsi energi.....	32
Gambar 3.1 Peta Lokasi <i>Islamic Center</i> Pamekasan.....	36
Gambar 3.2 Gedung <i>Islamic Center</i> Pamekasan.....	37
Gambar 3.3 Lantai 1.....	38
Gambar 3.4 Lantai 2.....	39
Gambar 3.5 Lantai 3.....	39
Gambar 0.1 Tekanan Udara.....	43
Gambar 4.1 Lokasi <i>Islamic Center</i>	48
Gambar 4.2 Sirkulasi udara.....	49
Gambar 4.3 Buka-an ventilasi.....	51
Gambar 4.4 Detail Jendela Dinding Eksisting.....	51
Gambar 4.5 Detail Jendela Atap Eksisting.....	52
Gambar 4.6 Ruang <i>Hall Islamic Center</i>	54
Gambar 4.7 Kondisi Termal Eksisting.....	55
Gambar 4.8 Pengukuran Temperatur Luar Ruangan.....	56
Gambar 4.9 Pengukuran Temperatur Dalam Ruangan.....	57
Gambar 4.10 Sisi Barat <i>Islamic Center</i>	58
Gambar 4.11 Sisi Utara Islami Center.....	58
Gambar 4.12 Sisi Timur <i>Islamic Center</i>	59
Gambar 4.13 Sisi Selatan <i>Islamic Center</i>	59
Gambar 4.14 Grafik Pengukuran Angin.....	60
Gambar 4.15 Grafik Pengukuran Kelembapan Relatif.....	61

Gambar 4.16 Grafik Pengukuran Temperatur Udara.....	62
Gambar 4.17 3D Modeling Simulasi Kondisi Termal.....	66
Gambar 4.18 Hasil Simulasi Kondisi Eksisting.....	67
Gambar 4.19 Grafik Kondisi eksisting	68
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Temperatur Ruang Luar dan Dalam	70
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran dan Simulasi Temperatur Udara 71	
Gambar 4.22 Area Bukaannya.....	75
Gambar 4.23 Penerapan <i>Stack Effect</i> Pada Bangunan.....	81
Gambar 4.24 Kelapa Sawit	82
Gambar 4.25 Ketapang Kencana	82
Gambar 4.26 Tanaman Perdu	83
Gambar 4.27 Rekomendasi Desain Peletakan Vegetasi	83
Gambar 4.28 Kondisi Eksisting Vegetasi	84
Gambar 4.29 Perspektif Peletakan Vegetasi	84
Gambar 4.30 Grafik skenario 1A.....	85
Gambar 4.31 Grafik skenario 2B.....	87
Gambar 4.32 Grafik skenario 1C.....	88
Gambar 4.33 Grafik skenario 1D.....	90
Gambar 4.34 Grafik hasil simulasi skenario 1.....	91
Gambar 4.35 Grafik skenario 2A.....	92
Gambar 4.36 Grafik skenario 2B.....	94
Gambar 4.37 Grafik skenario 2C.....	95
Gambar 4.38 Grafik skenario 2D.....	97
Gambar 4.39 Grafik hasil simulasi skenario 2.....	98
Gambar 4.40 Grafik skenario 3A.....	99
Gambar 4.41 Grafik skenario 3B.....	101
Gambar 4.42 Grafik skenario 3C.....	103
Gambar 4.43 Grafik skenario 3D.....	104
Gambar 4.44 Grafik hasil simulasi skenario 3.....	106
Gambar 4.45 Grafik skenario 4A.....	107
Gambar 4.46 Grafik Skenario 4B	109
Gambar 4.47 Grafik skenario 4C.....	110
Gambar 4.48 Grafik skenario 4D.....	112
Gambar 4.49 Grafik hasil simulasi skenario 4.....	114
Gambar 4.50 Grafik perbandingan kondisi eksisting dan hasil simulasi.....	116
Gambar 5.1 Diagram perbandingan temperatur udara.....	118

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 jenis ventilasi berdasarkan bukaan	13
Tabel 2.2 Standar Temperatur Nyaman SNI 03-6572-2001	17
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	32
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	40
Tabel 0.1 Data Sekunder.....	42
Tabel 4.1 Aktivitas Pengguna Bangunan.....	48
Tabel 4.2 Keterangan Kondisi Ventilasi Eksisting.....	52
Tabel 4.3 Perbandingan Ventilasi Eksisting dengan SNI.....	53
Tabel 4.4 Pengukuran Kecepatan Angin	57
Tabel 4.5 Pengukuran Kelembapan Relatif	61
Tabel 4.6 Pengukuran Temperatur Udara.....	62
Tabel 4.7 Zoning Temperatur Hasil Pengukuran.....	63
Tabel 4.8 Hasil Simulasi	68
Tabel 4.9 Tabel Hasil Simulasi Eksisting.....	69
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Kondisi Lapangan dan Simulasi.....	71
Tabel 4.11 Rekomendasi Desain Bukaan	77
Tabel 4.12 Perbandingan Kondisi eksisting dan Rekomendasi desain.....	81
Tabel 4.13 Skenario 1A	85
Tabel 4.14 Hasil Simulasi Skenario 1A.....	86
Tabel 4.15 Skenario 1B	86
Tabel 4.16 Hasil Simulasi Skenario 1B	87
Tabel 4.17 Skenario 1C	88
Tabel 4.18 Hasil Simulasi Skenario 1C	89
Tabel 4.19 Skenario 1D	89
Tabel 4.20 Hasil simulasi skenario 1D	90
Tabel 4.21 Skenario 2A	92
Tabel 4.22 Hasil simulasi skenario 2A	93
Tabel 4.23 Skenario 2B	93
Tabel 4.24 Hasil Simulasi Skenario 2B	94
Tabel 4.25 Skenario 2C	95
Tabel 4.26 Hasil simulasi skenario 2C	96
Tabel 4.27 Skenario 2D	96
Tabel 4.28 Hasil simulasi skenario 2D	97
Tabel 4.29 Skenario 3A	99
Tabel 4.30 Hasil simulasi skenario 3A	100
Tabel 4.31 Skenario 3B	101
Tabel 4.32 Hasil simulasi skenario 3B	102
Tabel 4.33 Skenario 3C	102
Tabel 4.34 Skenario 3C	103
Tabel 4.35 Skenario 3D	104
Tabel 4.36 Hasil simulasi skenario 3D	105
Tabel 4.37 Skenario 4A	107

Tabel 4.38 Hasil simulasi skenario 4A	107
Tabel 4.39 Skenario 4B	108
Tabel 4.40 Hasil simulasi skenario 4B	109
Tabel 4.41 Skenario 4C	110
Tabel 4.42 Hasil simulasi skenario 4C	111
Tabel 4.43 Skenario 4D	112
Tabel 4.44 Hasil simulasi skenario 4D	113
Tabel 4.45 Perbandingan temperatur sebelum dan sesudah rekomendasi.....	115



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1..... 120



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Islamic Center secara umum merupakan lembaga keagamaan yang fungsinya sebagai pusat pembinaan, pengembangan agama Islam dan sarana publik. Seiring berkembangnya zaman fungsi dari *Islamic Center* mempunyai fungsi yang berbeda-beda tergantung dari kebutuhan fungsi ruang yang digunakan dalam suatu daerah. Suatu kegiatan dalam gedung di dukung dengan fasilitas-fasilitas yang mampu memberikan kenyamanan terhadap pengguna ruang. Jika bangunan tersebut tidak mempunyai tingkat kenyamanan yang baik, maka kegiatan yang berlangsung akan terganggu.

Islamic Center Pamekasan merupakan salah satu bangunan publik yang mewadahi seluruh kegiatan ke-Islaman di Kota Pamekasan. Keberadaan gedung *Islamic Center* yang terletak di jalan raya Panglegur, Kecamatan Tlanakan, Pamekasan dibangun sejak tahun 2008-2010. Fungsi utama dari bangunan tersebut adalah sebagai sarana fasilitas bersama masyarakat sekitar Pamekasan. Terdiri dari tiga lantai untuk lantai satu difungsikan sebagai kantor pengelola, kantor sewa dan ruang seminar. Untuk lantai dua di fungsikan sebagai *hall* yang merupakan fungsi utama bangunan. Untuk lantai 3 difungsikan sebagai kantor sewa dan kantor rapat. Fungsi dari setiap lantai tersebut dihubungkan oleh tangga yang berada di setiap sudut bangunan.

Kondisi eksisting bukaan ventilasi yang ada di setiap sisi bangunan menyebabkan terjadinya tekanan aliran udara di luar dan di dalam bangunan. Kondisi bangunan yang tebal dan luas menjadikan tekanan aliran udara di dalam tidak dapat mencapai ke tengah bangunan, sehingga temperatur udara di area tengah bangunan menjadi naik. Melihat dari ketinggian langit-langit bangunan dan tidak adanya lubang ventilasi pada langi-langit bangunan menyebabkan tidak terjadinya ventilasi silang, panas yang timbul di tengah ruang tidak dapat dikeluarkan dari bangunan.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif-evaluatif dengan simulasi eksperimental menggunakan *Ecotect Analisis 2011*. Pengukuran di lakukan secara kuantitatif berdasarkan kondisi eksisting lingkungan luar dan dalam bangunan, data diperoleh berdasarkan hasil pengukuran kecepatan angin, temperatur dan kelembapan udara.

Hasil dari penelitian ini berupa evaluasi kondisi eksisting lingkungan udara dan bukaan ventilasi *Islamic Center* Pamekasan. Permasalahan yang ditemui pada proses penelitian kemudian diberikan solusi penyelesaian yang tepat agar penerapan ventilasi alami dapat memberikan kenyamanan bagi pengguna ruang. Evaluasi ventilasi alami dalam gedung *Islamic Center* ini diharapkan mampu menjadi bahan pertimbangan dalam pengoptimalan kenyamanan termal dalam ruang dan rekayasa ventilasi alami yang akan diterapkan di langit-langit bangunan. Dan selanjutnya hasil dari evaluasi kemudian di simulasikan menggunakan *Ecotect Analisis 2011* sebagai bahan pertimbangan untuk mengetahui berhasil tidaknya proses perancangan yang telah diteliti.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang di paparkan di atas dapat di identifikasikan masalah yang akan di bahas adalah sebagai berikut:

1. Tingginya temperatur pada objek studi menyebabkan temperatur udara ruang dalam *Islamic Center* tinggi
2. Kondisi eksisting bukaan ventilasi alami pada atap dan dinding, pada gedung *Islamic Center* yang kurang optimal dalam menyediakan kenyamanan termal dalam ruang
3. Kondisi bangunan yang tebal menyebabkan tidak dapat terjadinya proses ventilasi silang.

1.3 Rumusan Masalah

Keberadaan gedung *Islamic Center* di Pamekasan dalam hal ini sistem ventilasi alami dan kenyamanan pengguna dalam ruang *hall* menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Udara yang masuk melalui bukaan ventilasi di setiap sisi bangunan menyebabkan aliran udara tidak bisa bergerak dan tidak dapat menciptakan ventilasi silang dalam ruang bangunan, melihat bangunan gedung yang tebal. Hal ini menyebabkan terganggunya pelaku aktifitas yang ada pada gedung *Islamic Center*.

1. Bagaimana kinerja bukaan kondisi eksisting ventilasi alami pada bangunan *Islamic Center* Pamekasan?
2. Bagaimana rekayasa ventilasi alami pada gedung *Islamic Center* untuk menurunkan temperatur udara dalam bangunan?

1.4 Batasan Masalah

Pada kondisi eksisting bangunan, permasalahan utama berasal dari temperatur udara di dalam ruang yang tinggi yang diakibatkan oleh sirkulasi udara tidak mencapai ke bagian tengah ruang, melihat ruang objek studi yang tebal dan luas. Aliran udara dalam ruang tidak menciptakan tekanan aliran udara sehingga suhu dalam ruang naik, dipengaruhi oleh ketinggian langit-langit dan tidak adanya lubang udara pada langit-langit gedung.

1. Kasus objek studi yaitu *Islamic Center* difokuskan pada tekanan sirkulasi udara dari luar dan dalam, kenyamanan termal dalam ruang, dan rekayasa ventilasi alami.
2. Ruang yang diteliti berfokuskan pada ruang *hall* yang merupakan fungsi utama dari gedung tersebut.
3. Metode yang digunakan yaitu deskriptif evaluatif, data kondisi eksisting lapangan, serta mengumpulkan data primer dan sekunder, mengevaluasi hasil lapangan yang telah di kumpulkan dan selanjutnya ada rekayasa desain ventilasi alami menggunakan simulasi eksperimental dengan *Ecotect Analisis 2011 Echotect*.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi eksisting bukaan ventilasi alami dalam mempengaruhi kenyamanan termal udara dalam ruang.
2. Mengetahui rekayasa ventilasi alami yang akan diterapkan pada langit-langit bangunan dan selanjutnya akan di simulasikan menggunakan *software*.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang telah dituliskan di atas, diharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Akademik

Mengetahui ragam teknik rekayasa desain ventilasi alami sebagai penghawaan alami pada gedung *Islamic Center* dan memberikan dampak positif terhadap pengguna maupun gedung *Islamic Center*.

2. Bagi Praktisi

Diharapkan kajian hasil penelitian ini mampu dapat di implementasikan ke gedung *Islamic Center* lainnya dengan topik masalah yang sama, atau bangunan yang memiliki fasilitas publik.

3. Bagi Pengguna Bangunan

Dengan rekayasa desain ventilasi yang telah disajikan mampu dapat menurunkan temperatur udara dalam ruang dan menciptakan ventilasi silang yang baik sehingga terjadi peningkatan kenyamanan termal.

1.7 Sistematika Pembahasan

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, identifikasi masalah, tahapan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, sistematika pembahasan dan kerangka pemikiran

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi pembahasan mengenai deskripsi detail mengenai deskripsi detail acuan pustaka yang akan digunakan yang berhubungan dengan bidang kajian. Pustaka berasal dari jurnal, literatur dan studi lapangan.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang metode penelitian yang digunakan dalam penyelesaian masalah. Pemaparan permasalahan objek studi ditinjau dari beberapa aspek sehingga muncul penyelesaian masalah. Hasil akhir berupa rekomendasi desain yang sudah dianalisis sebelumnya.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

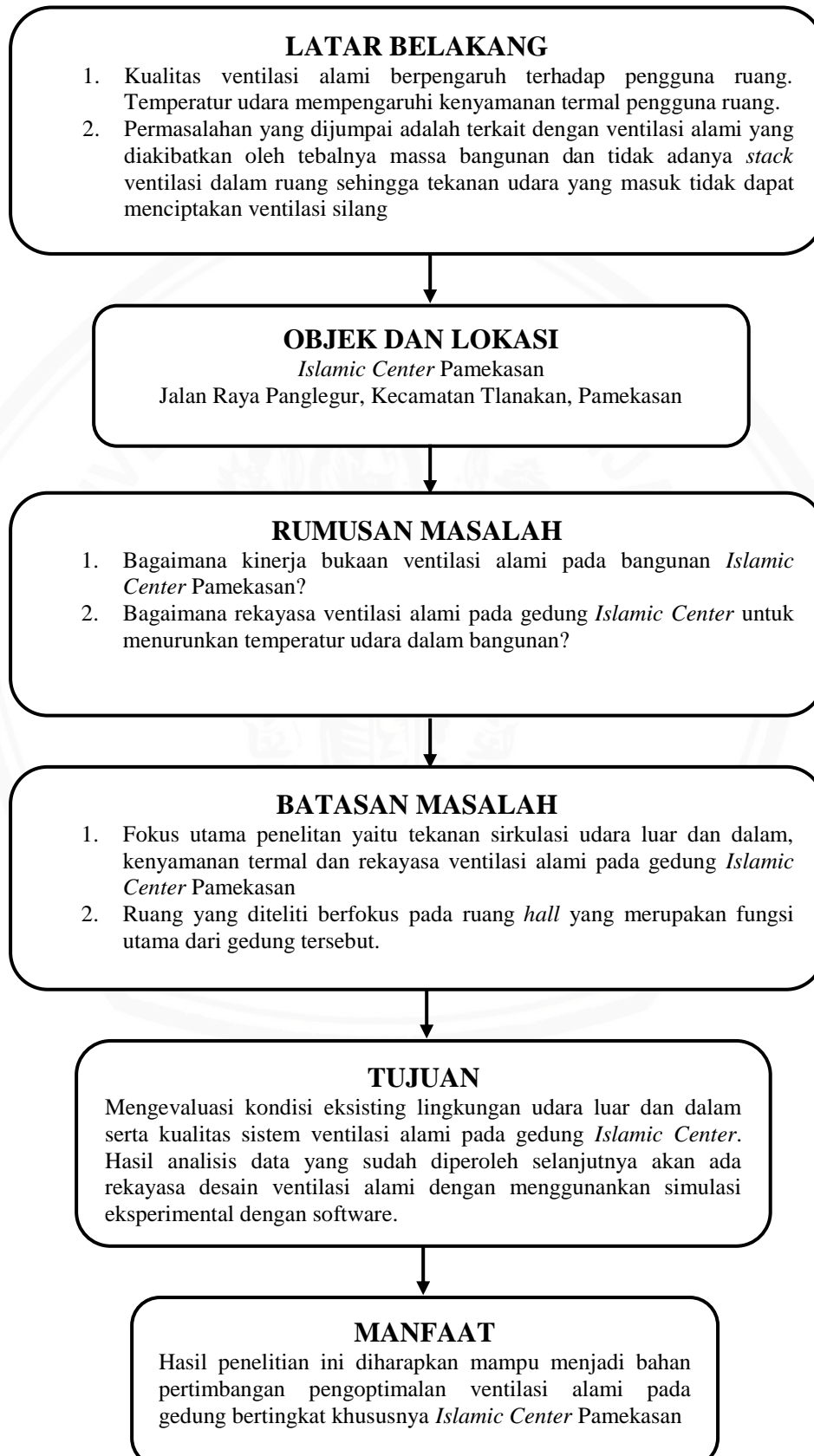
Berisi tinjauan terkait Kota Pamekasan secara umum baik geofrafis maupun administratif, serta data *Islamic Center* itu sendiri.

5. BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan terkait Analisa data, batasan terkait lingkup bangunan *Islamic Center*, dan anggapan untuk memudahkan dan memperjelas penerapan ventilasi tanggap kebisingan di gedung *Islamic Center* Pamekasan. Serta

memberikan saran untuk keilmuan dibidang arsitektur. Pada bab ini juga disertakan saran mengenai kelemahan/kekurangan dalam penulisan penelitian ini dan masukan untuk penelitian mendatang.

1.8 Kerangka Penelitian



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Islamic Center*

Kata *Islamic Center* sendiri memiliki pengertian yang luas, diambil dari beberapa pendapat ahli dan pakar agama, muncul beberapa definisi sebagai berikut:

Drs. Sidi Gazalba, beliau mengatakan “*Islamic Center* adalah wadah bagi aktifitas-aktivitas kemasyarakatan yang berdasarkan Islam. Islam dalam pengertiannya sebagai agama, maupun dalam pengertian yang lebih luas sebagai pengangan hidup (*way of live*). Dengan demikian aktifitas-aktifitas di dalamnya mencakup nilai-nilai peribadatan yang sekaligus nilai-nilai kemasyarakatan” (Gazalba, 2006)

Sedangkan dalam Buku Pelaksanaan Proyek *Islamic Center* di seluruh Indonesia oleh Direktorat Jenderal Bimbingan Masyarakat Islam Departemen Agama R.I, adalah sebagai berikut “*Islamic Center* adalah merupakan lembaga keagamaan yang dalam fungsinya sebagai pusat pembinaan dan pengembangan Agama Islam yang berperan sebagai mimbar Pelaksanaan Da’wah dalam Era Pembangunan”. Adapun pendapat lain menurut Prof. Syafi’i Karim, yaitu “*Islamic Center* merupakan istilah yang berasal dari negara-negara barat yang dimana minoritas masyarakatnya beragama Islam. Jadi untuk memenuhi segala kegiatan-kegiatan Islam mereka kesulitan untuk mencari tempat. Untuk itu aktifitas-aktifitas Islam tersebut dipusatkan dalam suatu wadah yang disebut *Islamic Center*” (DEPAG, 1975)

2.2 **Sistem Ventilasi**

Ventilasi bangunan dapat berupa ventilasi alami dan ventilasi buatan (melibatkan mesin pengondisi udara yang akan menurunkan suhu dan kelembapan udara, AC) dan ventilasi semi-buatan (ventilasi alami dibantu oleh kipas angin untuk menggerakkan udara tetapi tidak melibatkan penurunan suhu). Ventilasi dibutuhkan agar udara di dalam ruangan tetap sehat dan nyaman. Baik aktivitas manusia maupun benda-benda di dalam ruang dapat menghasilkan gas-gas yang berbahaya bagi kesehatan bila tetap terkonsentrasi di dalam jumlah yang melebihi batas toleransi manusia. Udara yang kotor harus diganti dengan udara yang lebih bersih (Satwiko, 2009).

Ventilasi alami adalah pergantian udara secara alami (tidak melibatkan peralatan mekanis, seperti mesin penyejuk udara yang dikenal sebagai *air conditioner* atau AC). Ventilasi alami menawarkan ventilasi yang sehat, nyaman, tanpa memerlukan energi tambahan. 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 derajat Celcius).
3. Tidak banyak bangunan disekitar yang akan menghalangi aliran udara horizontal sehingga angin dapat berhembus lancar, dan
4. Lingkungan tidak bising, jika syarat awal tidak dipenuhi sebaiknya tidak dipaksakan untuk memakai ventilasi alami karena justru akan merugikan. (Satwiko, 2009).

Dengan demikian ventiasi alami sebenarnya hanya cocok untuk daerah yang beriklim nyaman (*mild atau moderate*) dan tidak ekstrem (Liddament, 1996). Jika prasyarat diatas dasar di atas terpenuhi maka ventilasi alami memiliki beberapa nilai positif, yaitu:

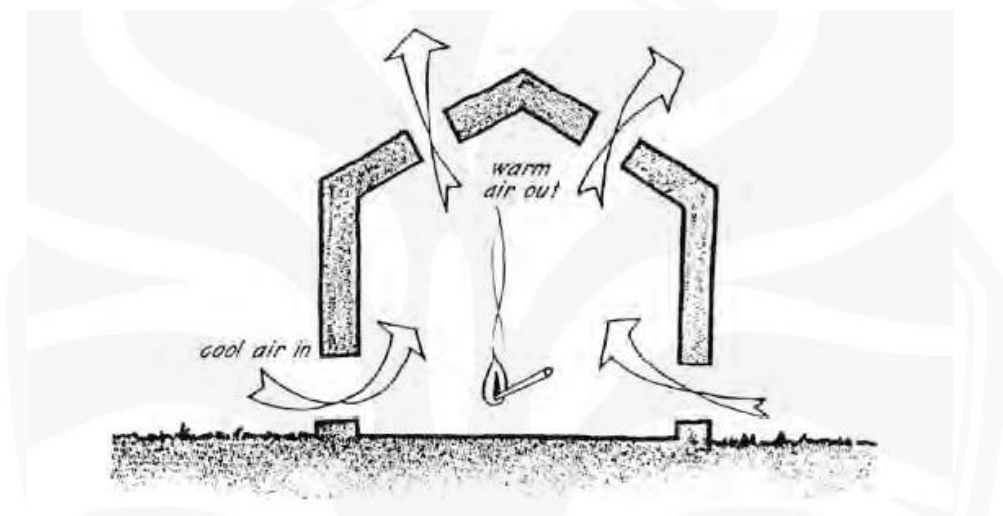
1. Hemat energi
2. Menghubungkan iklim di dalam ruang dengan luar ruang yang menciptakan suasana alami.
3. Biaya pembuatan dan perawatan relative murah disbanding ventilasi buatan, dan
4. Tidak memerlukan ruang mesin (Satwiko, 2009).

Beberapa nilai negatif ventilasi adalah:

1. Suhu tidak mudah diatur.
2. Kecepatan angin tidak mudah diatur
3. Kelembapan tidak mudah diatur
4. Kualitas udara tidak mudah diatur
5. Gangguan lingkungan (kebisingan dan lain-lain) sulit dicegah
6. Bukaannya mungkin akan berisiko pada keamanan, dan
7. Untuk bangunan bermassa gemuk maka ventilasi alami sulit menjangkau bagian tengah (Satwiko, 2009).

2.2.1 Pergerakan Angin

Angin bergerak karena terjadi perbedaan tekanan udara. Udara selalu bergerak dari daerah bertekanan udara tinggi ke yang rendah (Moore, 1993). Perbedaan suhu juga dapat menyebabkan Bergeraknya udara. Hal ini dikarenakan udara yang bersuhu lebih tinggi memiliki tekanan udara yang lebih rendah dari pada udara bersuhu rendah. Contohnya, jika udara dalam bangunan lebih panas dari pada di luar, maka udara akan keluar menuju bukaan yang tinggi. Udara panas cenderung bergerak ke atas. Udara luar (yang lebih dingin) akan masuk ke dalam bangunan menggantikan tempat yang udara panas. Teknik ini biasa disebut *stack effect ventilation* (Moore, 1993).



Gambar 2.1 *Stack Effect Ventilation*
Sumber: F. Moore, 1993

Telah diketahui bahwa selayaknya bangunan dapat memberi ruang beraktivitas yang nyaman kepada manusia sebagai penggunaanya agar terlindung dari iklim luar yang tidak menguntungkan, sehingga aktivitas dalam bangunan dapat berjalan dengan optimal (Sugini, 2004).

Upaya mencapai kenyamanan pada bangunan di Indonesia yang beriklim tropis lembab dengan karakteristik curah hujan yang tinggi, kelembapan udara yang tinggi dapat mencapai angka lebih dari 90%, suhu udara relatif tinggi hingga mencapai 38 derajat Celcius, aliran udara sedikit, serta radiasi matahari yang menyengat dan mengganggu, dapat diatasi melalui strategi pendinginan bangunan dengan cara mengatasi pengaruh negatif iklim dan memanfaatkan semaksimal mungkin pengaruh yang menguntungkan (Talarosha, 2005).

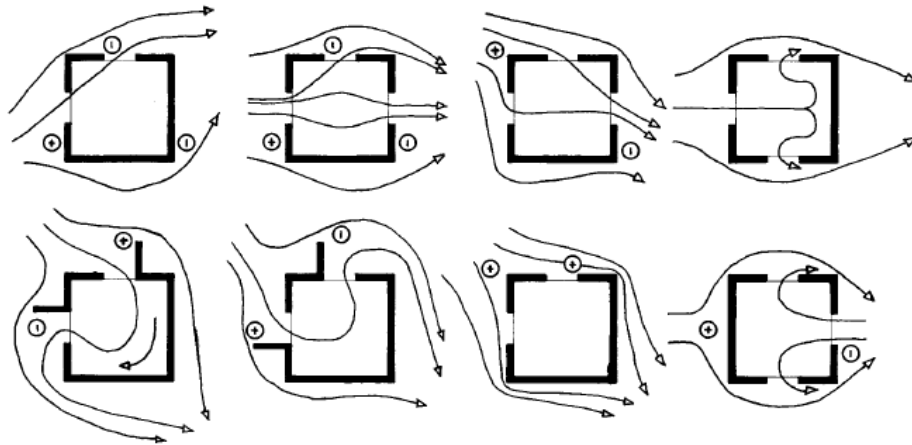
Ventilasi mempengaruhi pergerakan udara di dalam maupun di luar bangunan. Pengaturan suatu ventilasi menjadikan salah satu konsentrasi yang penting dalam mendesain suatu bangunan, bagaimana cara membuat aliran udara dalam bangunan mengalir dengan baik dan pengguna bangunan merasa nyaman berada di dalam bangunan. Dari beberapa hal yang terjadi, suatu hal yang mudah yaitu menggunakan kipas angin, tetapi penggunaannya menjadi lebih bising dan mahal. Udara bergerak secara fleksibel dan selalu mengalir dari tekanan tinggi ke rendah. Tekanan positif dari udara berada diatas bangunan, dimana udara menekan dengan sangat kuat pada bangunan, dan untuk tekanan udara negatif terjadi ketika angin mengalir rendah ke bangunan. Terdapat beberapa cara untuk membuat gradasi tekanan udara ke dalam bangunan, melalui dua tahap, yaitu:

1. Menggunakan tekanan berbeda yang mengelilingi area luar bangunan.
2. Menggunakan perbedaan tekanan yang disebabkan oleh variasi tekanan di dalam rumah. Udara yang hangat adalah sedikit lebih padat dari pada udara dingin, maka dari itu, variasi tekanan yang menyebabkan tubuh udara yang hangat naik juga menyebabkan tubuh udara yang dingin turun. Kejadian ini disebut *stack effect* dan bisa dipakai ventilasi ruangan. Ia juga merupakan perlawanan terhadap hembusan angin yang datang melalui ventilasi (Roaf & Thomas, 2003).

Menggunakan tekanan udara pada ventilasi sangat umum dilakukan. Terutama jika objek bangunan berada pada kawasan yang berangin kencang. Terdapat beberapa tantangan cara mendesain ventilasi dengan tepat meliputi beberapa macam pergerakan angin (Roaf & Thomas, 2003).

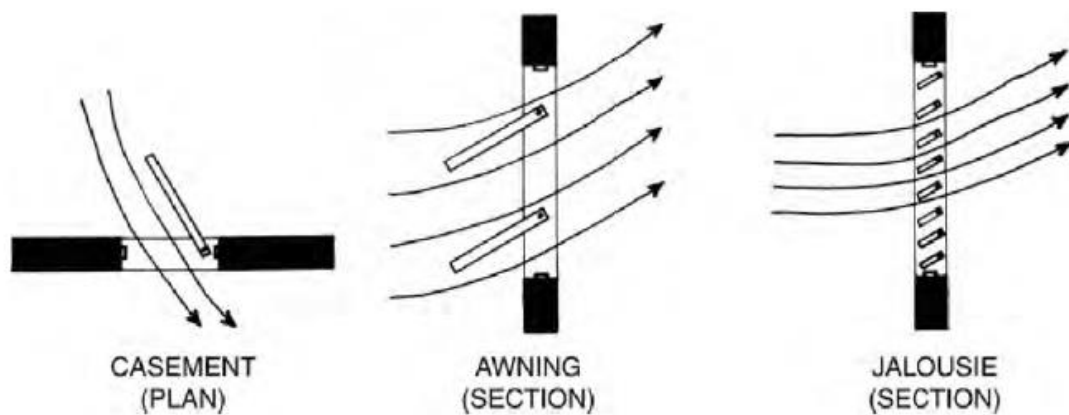
2.3 Buka-an Ventilasi Alami

Ventilasi merupakan aliran udara di dalam bangunan, antar bangunan, dan antara bagian dalam bangunan (*indoor*) dengan luar bangunan (*outdoor*) (Roaf, Fuentes, & Thomas, 2003). Pendinginan dengan memanfaatkan ventilasi merupakan cara lama yang sudah dilakukan dan paling umum digunakan di daerah iklim tropis lembab. Sebelum dapat memanfaatkan pergerakan udara tersebut dalam bangunan perlu diketahui prinsipnya.



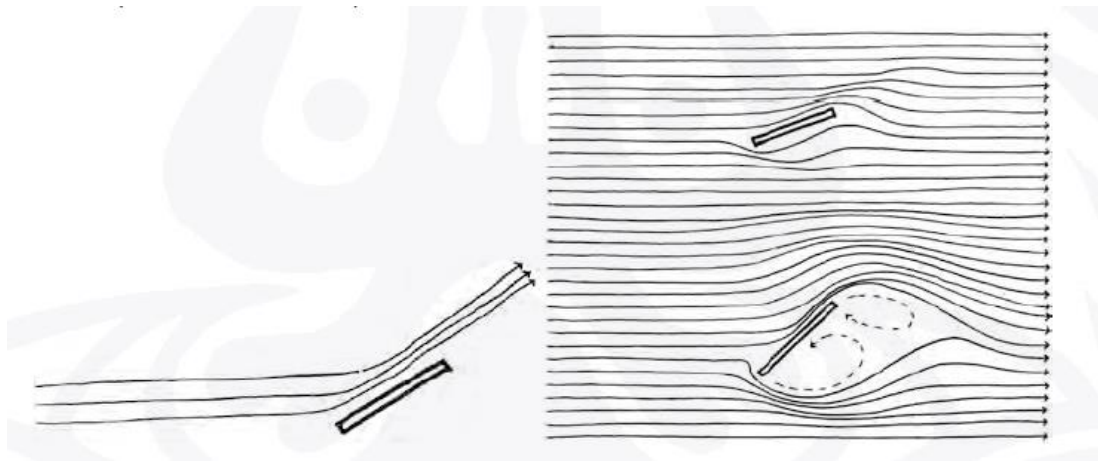
Gambar 2.2 Konfigurasi Tekanan (+) (-) Aliran Udara
 Sumber: (Roaf & Thomas, 2003)

Terdapat beberapa desain bukaan jendela yang memberikan keduanya dampak besar kualitas dan sirkulasi udara langsung. Meskipun *double hung*, *single hung*, dan *sliding windows* tidak dapat merubah aliran udara langsung, dari jenis bukaan tersebut dapat meyangga paling sedikit 50% dari aliran udara. *Casement windows*, di samping itu, dari semua bukaan ventilasi dapat mengalirkan aliran udara kedalam bangunan, tetapi dari semua desain bukaan ventilasi tersebut aliran udara yang datang dapat dibelokkan (Lechner, 2014)



Gambar 2.3 Desain Bukaan Ventilasi
 Sumber: (Lechner, 2014)

Walaupun dapat dibelokkan udara akan kembali kearah pergerakan semula jika mendapat pengaruh yang sangat besar dari pergerakan udara dalam tapak. Pembelokan pergerakan udara yang lebih besar akan mengakibatkan turbulensi (Moore, 1993).

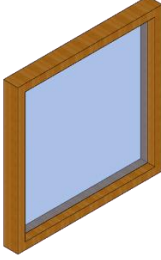
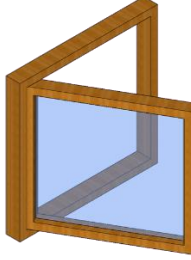
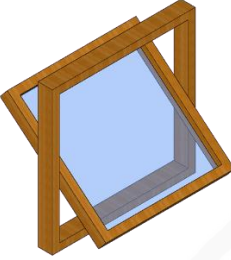
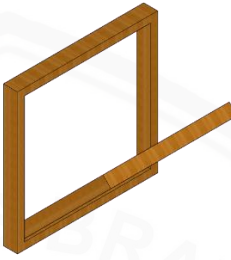
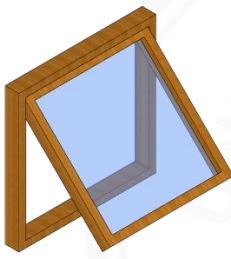

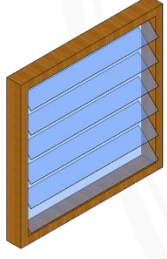
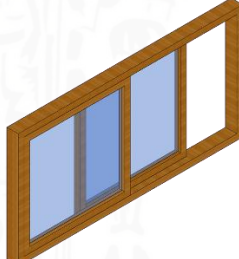


Gambar 2.4 Pembelokan Pergerakan Udara
Sumber: (Moore, 1993)

Keberadaan angin berpengaruh pada jenis bukaan yang terdapat pada muka bangunan. Bukaan tersebut dapat berupa penggunaan lubang ventilasi ataupun penggunaan aktif sebagai fungsi penghawaan bangunan. Penerapan penghawaan ruangan bangunan disesuaikan dengan prinsip kenyamanan termal. Prinsip ini diterapkan melalui presentase daerah jendela aktif sebesar $\pm 20\%$ dari area lantai. Presentase tersebut disesuaikan dengan bukaan yang berada di dinding (Lechner, 2014).

Berikut adalah beberapa jenis jendela yang dapat dijadikan acuan bukaan menurut (Frick & Pujo, 2002). Dengan presentase hembusan angin menurut (Backet, 1974).

Tabel 2.1 jenis ventilasi berdasarkan bukaan

Bentuk Ventilasi	Jenis Ventilasi	Bentuk Jendela	Jenis Ventilasi
	Jendela mati (<i>fixed</i>) 0%		Jendela hidup (<i>casement side-hung</i>) 90%
	Jendela hidup putar (<i>horizontal pivoted</i>) 75%		Jendela jatuh (<i>hopper</i>) 45%
	Jendela gantung (<i>awning</i>) 75%		Jendela geser vertikal (<i>single hung</i>) 45%
	Jendela nako (<i>jalousie</i>) 90%		Jendela geser horizontal (<i>sliding</i>) 40%

Pada jendela mati (*fixed*) tidak mengalirkan udara sama sekali ke dalam ruangan. Jendela hidup (*casement side-hung*) mengalirkan udara paling banyak aliran udara ke dalam bangunan yaitu 90% dari total hembusan angin. Jendela hidup putar (*horizontal pivoted*) mengalirkan udara sebanyak 75%. Jendela jatuh (*hopper*) mengalirkan udara sebanyak 45%. Jendela gantung (*awning*) mengalirkan udara sebanyak 75%. Jendela geser vertikal (*single-hung*) mengalirkan udara 45%. Jendela nako (*jalousie*) mengalirkan udara 90%. Jendela geser horizontal mengalirkan udara 40% (Becket & Godfrey, 1974).

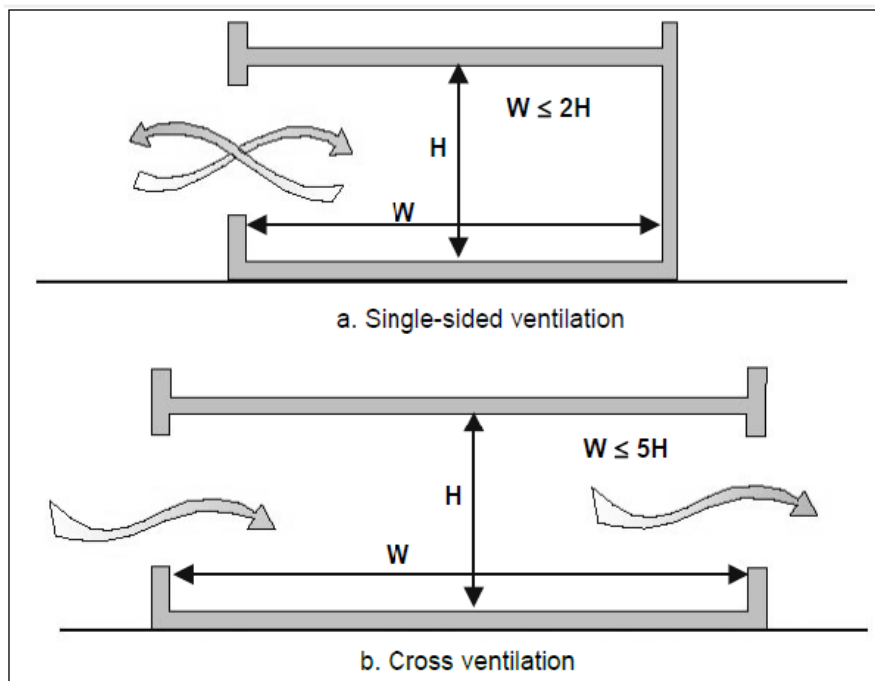
2.3.1 Single-Side Ventilation

Ventilasi dengan satu sisi bukaan yang di ilustrasikan pada gambar, dengan kinerja sistem bukaan hanya terdapat pada salah satu sisi bangunan. Kinerja ventilasi tersebut dapat bekerja dengan optimal jika ruang suatu bangunan tinggi (CIBSE, 1997).

2.3.2 Ventilasi Silang

Kinerja ventilasi silang sangat efektif dari pada *single-side ventilation*. Kinerja ventilasi tersebut membuat jalur pergerakan udara antara bukaan *inlet* dan *outlet*, yang mana dapat melewati ketinggian dari suatu bangunan. Ventilasi silang sangat efektif untuk memperoleh hasil yang maksimum dalam menurunkan temperatur udara dalam ruang (Smith, 2001).

Luas maksimum suatu ventilasi berkisar antara 10% dari luar area lantai bangunan, dengan menggunakan luas minimum ventilasi dapat menurunkan temperatur udara dengan ambang batas aman (CIBSE, 1997).



Gambar 2.5 Satu Sisi Bukaan & Ventilasi Silang
Sumber: (CIBSE, 1997)

2.4 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal menurut (Szokolay, 2004) merupakan proses yang melibatkan kondisi fisik fisiologis dan psikologis. Kenyamanan termal adalah hasil pemikiran seseorang yang mengekspresikan mengenai kepuasan dirinya terhadap

lingkungan termalnya. ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer*) mendefinisikan kenyamanan termal sebagai suatu kondisi dimana ada kepuasan terhadap kenyamanan termal di sekitarnya. Sedangkan menurut (Snyder, 1989) merupakan keadaan lingkungan atau alam yang dapat mempengaruhi manusia. Dari pernyataan tersebut dapat dinyatakan bahwa kenyamanan termal merupakan rumusan empirik yang merupakan sebuah pengalaman terhadap rasa dimana kondisi yang dirasakan dapat berbeda antara satu orang dengan yang lainnya.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yang dikatakan (ASHRAE, 2005), yaitu:

Temperatur udara merupakan temperatur sekeliling ruangan pengguna. Temperatur termasuk pada salah satu faktor utama yang memengaruhi kenyamanan termal.

Temperatur *radiant* adalah panas yang beradiasi dari suatu objek. Temperatur radiant lebih banyak memberikan pengaruh dibandingkan dengan temperatur udara pada saat melepas atau menerima panas lingkungan.

1. Kecepatan angin

Kecepatan angin termasuk kedalam faktor penting dalam pembahasan kenyamanan termal. Jika pada suatu ruangan memiliki udara yang tidak bergerak, pengguna ruangan dapat merasakan kaku atau berkeringat.

2. Kelembapan

Kelembapan radiatif adalah perbandingan uap air pada udara yang ditampung saat itu dengan uap air pada udara maksimum yang ditampung pada saat temperatur yang sama. Lingkungan yang memiliki kelembapan yang tinggi dapat mencegah penguapan keringat dari dalam tubuh. Semakin sedikit keringat menguap maka semakin tinggi kelembapan, sehingga individu merasa kegerahan.

3. Insulasi pakaian

Kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh insulasi pakaian yang dikarenakan oleh pengguna ruang. Pakaian mengurangi pelepasan panas dalam tubuh, batas nyaman untuk pakaian adalah $n \leq 0,5 \text{ Clo}$.

4. Tingkat metabolisme

Metabolisme adalah panas hasil dari dalam tubuh ketika beraktivitas. Semakin banyak melakukan aktifitas fisik, semakin banyak panas yang dihasilkan, dan semakin banyak pula panas yang dikeluarkan agar tubuh

tidak mengalami *overheat*. Metabolisme tubuh diukur dalam satuan MET (1 MET = $58\text{W}/\text{m}^2$ permukaan tubuh). Manusia dewasa yang normal memiliki permukaan kulit $1,7\text{ m}^2$. Individu dengan keadaan nyaman pada termal dengan tingkat aktifitas 1 MET akan memiliki *heat loss* kurang lebih 100 W.

Ada faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan termal terhadap pengguna yang dikatakan oleh (SNI, 2001) 03-6572-2001 adalah kelembapan udara relatif, radiasi permukaan panas, aktifitas pengguna, dan pakaian yang dikenakan. Ketentuan kelembapan udara relatif dikemukakan oleh SNI 03-6572-2001 adalah kelembapan relatif untuk daerah tropis dianjurkan berkisar antara 40%-50%. Tetapi jika ruangan tersebut digunakan oleh pengguna yang cukup padat seperti ruangan pertemuan, kelembapan relatif dapat berkisar antara 55%-60%. Pada radiasi permukaan panas menurut SNI-03-6572-2001 dikatakan bahwa, apabila dalam suatu ruangan dengan dinding sekitarnya panas, akan mempengaruhi kenyamanan seseorang didalam ruangan tersebut, meskipun temperatur udara sekitarnya sesuai dengan tingkat kenyamanannya (misalnya ruangan yang berada di dekat dapur dan oven). Usahakan temperatur radiasi rata-rata lebih tinggi dari temperatur udara kering pada ruangan, maka temperatur udara ruangan dibuat lebih rendah dari pada temperatur udara luar.

(Lippsmeier, 1994) menyatakan bahwa batas kenyamanan untuk wilayah khatulistiwa berkisar antara 19°C TE- 26°C TE dengan pembagian temperatur sebagai berikut:

1. Temperatur 26°C TE: penghuni sudah mulai berkeringat
2. Temperatur 26°C TE – 30°C TE daya tahan dan kemampuan bekerja mulai menurun
3. Temperatur $35,5^{\circ}\text{C}$ TE - $35,5^{\circ}\text{C}$ TE: kondisi mulai sukar
4. Temperatur 35°C TE – 36°C TE: kondisi lingkungan tidak memungkinkan lagi.

Adapun temperatur ruangan sehat menurut MENKES NO.261/MENKES/SK/II /1998 adalah temperatur ruangan yang berkisar antara 18°C – 26°C tetapi bergantung pada luasan daerah. Berdasarkan standar yang diterapkan oleh SNI 03-6572-2001 mengetakan bahwa, terdapat tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia terbagi atas 3(tiga) bagian:

Tabel 2.2 Standar Temperatur Nyaman SNI 03-6572-2001

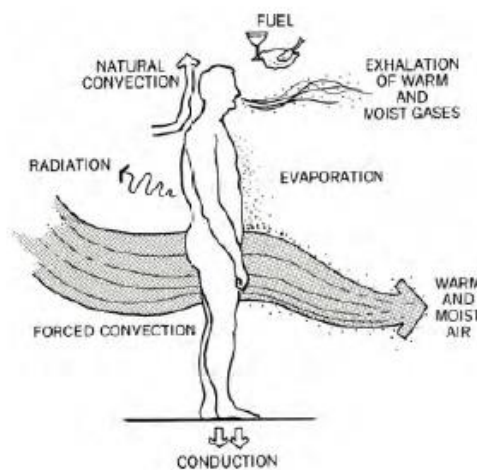
	Temperatur Efektif	Kelembapan / RH
Sejuk nyaman	20,5°C TE – 22°C TE	50%
Ambang atas	24 C TE	80%
Nyaman optimal	22,8°C TE – 25,8°C TE	70%
Ambang atas	28 C	
Hangat nyaman	25,8°C TE – 27,1°C TE	60%
Ambang atas	31°C TE	

(Sumber: SNI 03-6572-2001)

2.4.1 Kenyamanan Termal Manusia

Penilaian terhadap kualitas ventilasi diukur dengan standar kenyamanan termal. Terdiri dari enam faktor kenyamanan termal diantaranya (4 faktor lingkungan dan 2 faktor manusia) adalah:

1. Suhu Udara, T (Temperatur), °C
2. Kecepatan angin, V (Velocity). m/dtk
3. Kelembapan udara, RH (*Relative Humadity*), %
4. Rata-rata suhu permukaan ruang, MRT (*Mean Surface Radiant Temperatur*), C dan
5. Aktivitas manusia, met (Merabolism), W/m^2 . (1 met = $58,15 W/m^2$ sering dibulatkan $58 W/m^2$).
6. Pakaian, clo (*Clothing*), $m^2 degC/W$ (1 clo = $0,155 m^2 degC/W$).



Gambar 2.6 Kalor Manusia
Sumber: (Satwiko, 2009)

A. Penyejukan Evaporatif

Adalah penyejukan dengan memanfaatkan mekanisme pengurangan panas akibat penguapan air atau zat lain. Untuk menguap, air membutuhkan panas, yang akan diambil dari lingkungan sekitarnya. Dengan demikian suhu lingkungan akan turun. Air dalam bentuk kabut (*spray*) lebih mudah menangkap panas dari udara lingkungan sekitar. Namun, apabila lingkungan lembab seperti di Indonesia, udara tidak lagi 'haus' uap air sehingga penguapan tidak berlangsung dengan cepat. Keringat kita, misalnya, cenderung menempel di kulit dan menyebabkan perasaan lengket yang tidak nyaman. Sebaliknya, di iklim kering, penyejukan evaporatif akan sukses karena udara kering yang masih 'haus' uap air. Jadi musuh utama kenyamanan termal di iklim tropis lembab adalah kelembapan yang tinggi (Satwiko, 2009).

B. Penyejukan Radiatif

Adalah penyejukan dengan memanfaatkan mekanisme radiasi. Pada daerah beriklim kering langit jernih (jarang berawan) maka pada malam hari permukaan bumi yang hangat dapat melepaskan panasnya secara radiasi ke langit yang dingin. Sedangkan di daerah iklim tropis lembab, langit selalu berawan, sehingga benda-benda hangat sulit melepaskan panasnya. (Satwiko, 2009).

C. Penyejukan Fisiologis

Adalah sensasi sejuk yang dirasakan manusia karena hembusan angin yang mengenai kulitnya, tubuh membuang kelebihan panasnya melalui kontak dengan benda lain yang lebih dingin, uap nafas, dan penguapan keringat. Keringat dipermukaan kulit akan cepat menguap apabila dihembus oleh angin. Sambil membawa panas dari kulit, dan memberi tempat bagi keringat selanjutnya. Semakin cepat proses tadi maka semakin cepat panas dibuang sehingga tubuh menjadi sejuk. Kipas tangan dan kipas angin listrik yang digunakan untuk memperlancar proses penguapan keringat sehingga menimbulkan sensasi sejuk.

D. Penyejukan Konvektif

Adalah penyejukan dengan memanfaatkan aliran angin. Bila benda hangat dilewati angin yang lebih sejuk maka akan terjadi perpindahan panas dari benda tersebut ke udara. Bila proses ini terus menerus maka akan menyebabkan benda

tersebut menjadi sejuk karena panasnya kalor diangkut oleh angin. Hal ini menjelaskan mengapa kita meniup bubur panas agar panasnya berkurang.

E. Perpindahan Panas

Adalah proses perpindahan kalor dari benda yang lebih panas ke benda lain yang kurang panas. Ada tiga perpindahan panas, yaitu:

1. Perpindahan Panas Konduktif

Perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui kontak (sentuhan).

2. Perpindahan Panas Konvektif

Perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui aliran angin.

3. Perpindahan Panas Radiatif

Perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas dengan cara pancaran.

2.4.2 Faktor Kenyamanan Dalam Ruang

Kondisi kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh faktor iklim dan faktor individu. Faktor iklim yang mempengaruhi kondisi termal terdiri dari: kecepatan angin, kelembapan udara, dan temperatur udara. Sedangkan faktor individu yang menentukan keadaan suhu nyaman adalah jenis aktivitas serta jenis pakaian yang digunakan (Fanger, 1972).

1. Kecepatan Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang disebabkan adanya gaya yang diakibatkan perbedaan tekanan dan perbedaan suhu (Satwiko, 2009). Kecepatan angin pada daerah beriklim tropis lembab cenderung sangat minim. Kecepatan angin umumnya terjadi pada siang hari atau pada musim pergantian. Peranan udara yang bergerak ini sangat membantu mempercepat pelepasan kalor pada permukaan kulit. Angin membantu mengangkat uap-uap air yang menghambat pelepasan kalor. Akan tetapi jika angin terlalu kencang maka kalor yang dilepaskan tubuh menjadi berlebih sehingga akan timbul kondisi kedinginan yang mengurangi kenyamanan termal.

2. Kelembapan

Kelembapan udara adalah kandungan uap air yang ada di udara. Kelembapan udara menjadi faktor penting dalam kenyamanan termal pada saat suhu udara mendekati atau melampaui ambang batas kenyamanan dan kelembapan udara lebih dari 70% serta kurang dari 40%. Pada kondisi dalam ruang, kelembapan udara ini mempengaruhi pelepasan kalor dari tubuh manusia. Kelembapan udara yang tinggi akan menyebabkan kalor dalam tubuh manusia sedikit dikeluarkan, sehingga kondisi ini akan menciptakan rasa yang kurang nyaman. Untuk menyeimbangkan kelembapan yang tinggi membutuhkan kecepatan angin yang cukup di dalam ruang, sedangkan kelembapan relatif adalah rasio antara jumlah uap air di udara dengan jumlah maksimum uap air dapat ditampung di udara pada temperatur tertentu.

3. Temperatur Udara

Temperatur udara antara suatu daerah dengan daerah lainnya sangat berbeda. Perbedaan ini disebabkan adanya beberapa faktor, seperti orientasi matahari, arah pergerakan angin, ketinggian suatu tempat, dan lamanya penyinaran. Adapun batas ambang kenyamanan temperatur udara untuk daerah khatulistiwa adalah 19°C TE (batas bawah) – 26°C TE umumnya manusia sudah mulai berkeringat. Pada temperatur 26°C TE – 30°C TE daya tahan dan kemampuan kerja manusia mulai menurun. Temperatur lingkungan mulai cukup sulit diterima dirasakan pada suhu 35°C – 36°C kondisi lingkungan tidak dapat ditolerir lagi. Kondisi udara yang tidak nyaman cenderung akan menurunkan tingkat aktivitas dan daya kunjung. Sedangkan produktivitas kerja manusia dapat meningkat pada kondisi suhu termis yang nyaman (Talarosha, 2005).

2.4.3 Lingkungan Kenyamanan Termal

Untuk menciptakan kenyamanan termal, harus mengerti bagaimana mekanisme hilangnya panas dari tubuh manusia tetapi juga mengetahui empat kondisi lingkungan yang mempengaruhi hilangnya panas:

1. *Air temperatur ($^{\circ}\text{F}$) ($^{\circ}\text{C}$)*
2. *Relative humidity*
3. *Air movement(m/s)*
4. *Mean radiant temperatur (MRT)*

Dari semua kondisi tersebut mempengaruhi seluruh bagian tubuh manusia. Dan berikut beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi termal tubuh manusia:

1. Temperatur Udara

Temperatur udara akan menentukan rata-rata dari panas yang hilang melalui udara dan sering disebut proses konveksi. Diatas suhu (37°C), aliran panas dan panas tubuh manusia akan menaikkan panas dari udara. kenyamanan rata-rata dari kebanyakan manusia sebanyak 80% memberikan (20°C) pada musim dingin dan (25°C) pada musim panas.

2. Kelembapan

Kelembapan adalah perbandingan antara kandungan uap air pada suatu saat dengan kandungan uap air pada titik jenuh dalam suhu saat itu (Satwiko, 2009). Penguapan dari kulit yang lembab sering terjadi pada tubuh manusia. Udara yang kering dapat mengabsorpsi uap dari kulit, dan hasil dari penguapan sangat cepat sehingga tubuh menjadi dingin. Di samping itu, ketika kelembapan mencapai 100%, udara menekan semua uap air dan dapat menghentikan proses evaporasi. Disisi kenyamanan, kelembapan dapat diatas 20%. Dibawahnya 60% pada saat musim panas, dan dibawah 80% pada saat musim dingin. dari Batasan-batasan tersebut hanya perkiraan, karena dari banyak variable yang sulit. Namun, pada saat kelembapan rendah akan menyebabkan kering pada organ tubuh manusia, seperti halnya hidung, mulut, mata dan kulit dan dapat menyebabkan sakit pada pernafasan (Lechner, 2014).

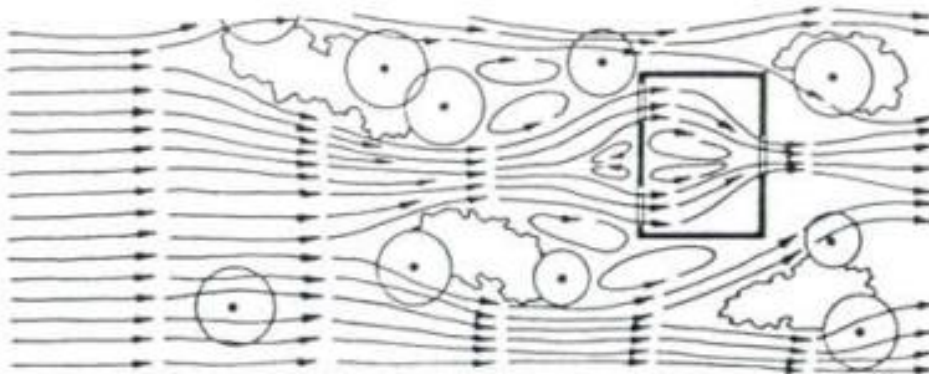
3. Air Movement

Pergerakan angin mempengaruhi hilangnya panas dari kedua faktor yaitu konveksi dan evaporasi. Akibatnya, kecepatan angin dapat menghilangkan panas. Di musim panas, dengan suhu yang tinggi. jarak kenyamanan termal adalah sekitar 20 sampai 60 feet/menit (fpm) (0,1 sampai 0,3 m/s). dari sekitar 60 sampai 200 fpm (0,3 sampai 1 m/s), pergerakan angin yang jelas dapat diterima tergantung dari aktifitas yang dilakukan. Diatas 200 fpm (2mph; 3,2 kph), pergerakan udara agak dapat kurang baik dan mengganggu. Sirkulasi udara pada tubuh manusia setempat yang tidak di inginkan oleh pergerakan udara, dan itu termasuk dalam masalah pada kenyamanan termal.

2.5 Vegetasi

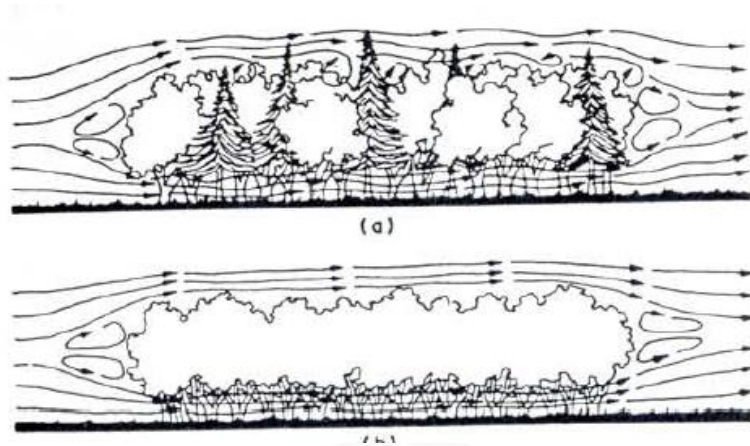
Vegetasi dalam suatu lanskap memberikan dampak positif bagi keseimbangan ekosistem dalam skala yang lebih luas. Memanfaatkan vegetasi sebagai penyejukan pasif pada bangunan dan mengendalikan pergerakan udara. Fungsi lanskap dalam suatu perancangan harus selaras dengan estetika. Memanfaatkan tanaman perdu berpengaruh terhadap aliran udara dalam suatu lingkungan (Boutet, 1987)

Pohon dan semak dapat meningkatkan estetika suatu bangunan dibandingkan dengan pagar. Aliran udara dapat dikontrol melalui pemilihan vegetasi dan peletakkannya. Penyerangan udara pemantulan dan udara yang terhalangi tetap tersedia. Bahkan vegetasi dapat mereduksi pergerakan udara yang ada di sekeliling bangunan dan dapat meningkatkan atau menurunkan struktur energi jika diperlukan. Keektifitasan dari vegetasi dalam mengontrol pergerakan aliran udara tergantung pada massa jenis, rigid, dan karakteristik vegetasi lainnya berbeda dengan kecepatan aliran udara, pola, dan kualitas udara (Boutet, 1987).



Gambar 2.7 Alira Udara
Sumber: (Boutet, 1987)

Aliran udara dapat dibelokkan dan di saring melalui adanya vegetasi. Perpindahan aliran udara melewati area hijau dapat secara langsung bergerak ke atas dan area bawah dari aliran udara dapat memberikan filterisasi terhadap vegetasi itu sendiri. Jika vegetasi semak kurang, udara yang lebih akan teralirkan dibawah vegetasi pohon. Pola pergerakan udara yang mengelilingi area hijau menentukan panjang, luas aliran udara (Boutet, 1987)



Gambar 2.8 Reduksi Kecepatan Angin
Sumber: (Boutet,1987)

Jenis vegetasi berkaitan dengan ketebalan dan kelenturan daun dalam aliran udara yang mempunyai kriteria kerapatan daun yang tinggi. Kerapatan vegetasi berkaitan dengan massa daun yang padat pada vegetas berbentuk pohon atau perdu. Tanaman jika cukup tinggi, lebar dan padat dapat meningkatkan penyejukan di dalam bangunan, efektifitasnya tergantung pada kerapatan vegetas dan daun (Priamita, 2012). Vegetasi seperti Angsana, Jambu Bol, Nangka, Kelapa Sawit, Pucuk Merah, Kaetapang Kencana, dan Tanjung memiliki tingkat kerapatan daun yang tinggi, mampu dapat menyaring udara sebelum masuk kedalam bangunan dan dapat menyejukan ruangan secara pasif dengan baik.



Gambar 2.9 Pohon Angsana

Sumber: <http://tipspetani.blogspot.co.id/2012/08/pohon-angsana-banyak-manfaatnya-banyak.html>



Gambar 2.10 Jambu Bol

Sumber: <http://tanamankampung.blogspot.co.id/2013/02/jambu-bol.html>



Gambar 2.11 Pohon Nangka

Sumber: <http://novi-biologi.blogspot.co.id/2011/06/nangka.html>



Gambar 2.12 Kelapa Sawit

Sumber: <http://agronomykelapasawit.blogspot.co.id/2016/08/fisiologi-kelapa-sawit.html>



Gambar 2.13 Pucuk merah

Sumber: <http://bibitbunga.com/blog/cara-stek-pucuk-merah/>



Gambar 2.14 Pohon Tanjung

Sumber: <https://deslisumatran.wordpress.com/2016/11/17/tanjung-mimusops-elengi/>

2.6 Rekayasa Ventilasi Alami

Dari beberapa faktor yang menentukan pola sirkulasi udara atau angin yang mempengaruhi suatu bangunan yaitu, distribusi tekanan aliran udara yang mengelilingi sekitar bangunan, sirkulasi langsung udara masuk melewati ventilasi, ukuran, lokasi dan detail dari ventilasi tersebut, dan detail interior, dan beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi pergerakan aliran udara (Lechner, 2014).

2.6.1 Kondisi Site

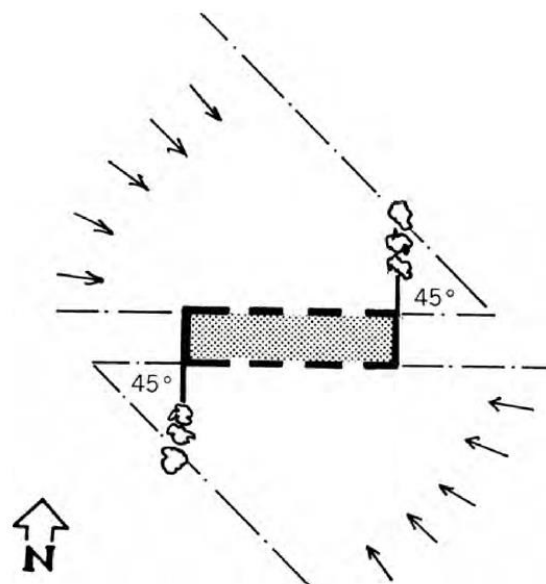
Berdekatan dengan bangunan, dinding, dan vegetasi dalam tapak akan memberikan dampak besar aliran udara dalam bangunan (Lechner, 2014).

2.6.2 Orientasi Jendela dan Aliran Udara langsung

Aliran udara dengan tekanan maksimum ketika tegak lurus dengan permukaan ventilasi dan tekanan akan direduksi sekitar 50%. Namun, ventilasi di dalam ruangan lebih baik dengan datangnya aliran udara yang miring masuk ke dalam ruang menghasilkan aliran udara yang besar ke dalam bangunan. Karena itu, jarak yang cukup besar dari pergerakan udara langsung akan bekerja untuk kebanyakan rancangan. Ini menguntungkan karena merupakan sebuah tempat yang jarang berangin utamanya dari yang langsung. Bahkan dimana ada arah angin yang kuat itu tidak mungkin menghadapkan bangunan ke arah angin (Lechner, 2014).

Dikebanyakan cuaca, kebutuhan musim teduh dan musim dingin memerlukan sebuah orientasi bangunan dengan arah panjang sumbu timur-barat. Menunjukkan

serangkaian arah angin yang bekerja dengan baik dengan orientasi itu, bahkan bila arah angin timur-barat orientasi sinar matahari biasanya memiliki prioritas karena angin bisa di arahkan lebih mudah dari pada matahari (Lechner, 2014).

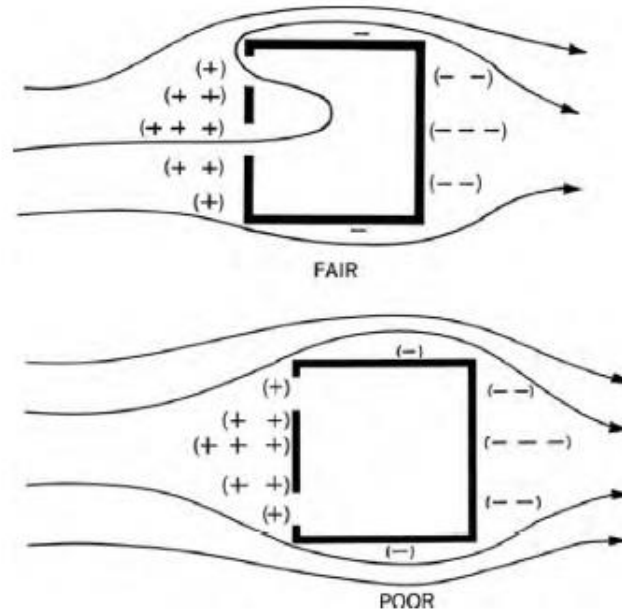


Gambar 2.15 Orientasi dan Pergerakan Udara Langsung
Sumber: (Lechner, 2014).

2.6.3 Pengaruh Peletakan Jendela

Ventilasi silang sangat efektif dalam penggunaannya karena kedua udara tersebut menekan dan mengisi ke seluruh bangunan dengan tekanan positif angin diatas bangunan dan tekanan negatif di area rendah bangunan (Lechner, 2014). Ventilasi dari sebuah bukaan jendela dari salah satu sisi bangunan dapat berbeda melalui aliran udara yang rendah, tergantung pada peletakan jendela. Ketika tekanan udara diatas tinggi dari pada permukaan, terdapat beberapa perbedaan tekanan di asimetric peletakan bukaan. Pada saat itu tidak ada skema tekanan aliran udara (Lechner, 2014).

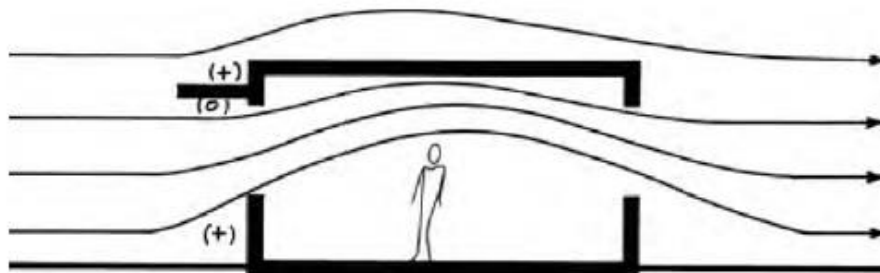
Ventilasi jendela pada satu sisi bangunan bisa bermacam-macam dari yang biasa sampai yang buruk, bergantung pada peletakan jendela. Karena tekanan lebih besar pada pusat arah angin dari pada tepian angin, ada perbedaan tekanan di peletakan jendela yang tidak simetris, sementara tidak ada perbedaan tekanan pada skema yang simetris (Lechner, 2014).



Gambar 2.16 Pngaruh Peletakan Jendela
Sumber: (Lechner, 2014).

2.6.4 Bukaan Ventilasi Horizontal dan Aliran Udara

Bukaan jendela horizontal menyebabkan aliran udara dapat dibelokkan ke langit-langit ruang karena bukaan jendela yang padat menimbulkan tekanan positif dari aliran udara dari jeseimbangan tekanan positif di bawah jendela. Namun, pada tritisan yang dimajukan 6 inch atau lebih 15 cm atau lebih akan mmberikan tekanan positif diatasnya untuk mengefektifkan arah aliran udara. Penempatan tritisan lebih tinggi diatas tembok bisa juga mengarahkan aliran udara ke pengguna hunian (Lechner, 2014).



Gambar 2.17 Ventilasi Horizontal
Sumber: (Lechner, 2014)

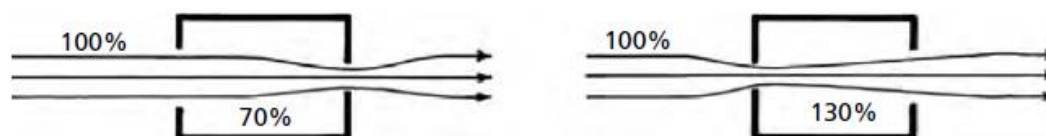
2.6.5 Jenis Bukaannya Ventilasi

Tipe dan desain suatu bukaan jendela mempunyai dampak yang besar baik pada kuantitas dan pergerakan udara langsung. Meskipun, dua bukaan, satu bukaan dan jendela geser tidak mengubah aliran udara. Bukaannya tersebut dapat menghalangi sedikitnya 50% aliran udara. Di satu sisi bukaan jendela casement hampir memberikan udara penuh tetapi bukaan jendela tersebut dapat membelokkan arah angin. Bukaannya tersebut dapat juga berfungsi sebagai *fin walls*.

Untuk pembelokan vertikal arah angin, menggunakan *hopper*, *awning*, atau bukaan jalusi. Jenis bukaan tersebut dapat membelokkan air hujan sedangkan udara tetap masuk yang sangat penting dalam iklim panas dan lembab. Sayangnya, dengan kecenderungan jenis bukaan macam ini, jendela tersebut membelokkan angin keatas kepala orang yang menginginkan kenyamanan bukaan ventilasi. Akan tetapi tritisan yang besar mencegah air hujan, kemudian untuk sirip-sirip jendela jalusi dapat dipasang secara horizontal. *Secondary skin* yang dinamis sering dipakai pada daun-daun jendela seperti jendela jalusi kecuali jendela tersebut menghalangi matahari dan *view*. Jumlah retakan dan hasil rembesan yang besar membuat jenis jendela ini tidak sesuai dengan cuaca pada musim dingin.

2.6.6 Ukuran Inlet, Outlet dan Peletakan

Secara umum, ukuran *inlet* dan *outlet* seharusnya sama, ada beberapa jumlah ventilasi yang ditujukan berfungsi sebagai bukaan kecil. Namun, jika bukaan jendela kecil biasanya *inlet*, karena dapat menimalkan kecepatan aliran udara di dalam ruang, dan kecepatan aliran udara memberikan dampak yang besar dalam kenyamanan. Meskipun kecepatan aliran udara besar dari pada angin dapat mencapai ke dalam ruang oleh aliran udara yang memusat. Bukan jendela inlet hanya menentukan kecepatan, tetapi juga menentukan pola aliran udara di dalam ruangan. Peletakan dari bukaan *outlet*, di samping itu, mempunyai pengaruh terhadap kecepatan angin dan pola aliran udara.



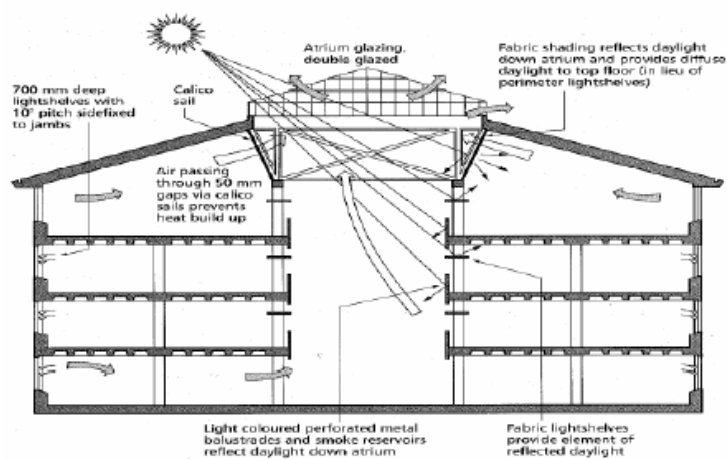
Gambar 2.18 Ukuran *Inlet* dan *Outlet*
Sumber: (Lechner, 2014)

Namun, peletakan yang banyak tidak mempunyai masa berlaku angin, kebanyakan ventilasi alami pada bangunan di desain dengan fungsi dibawah aliran udara langsung. Maka dari itu, dari pemilihan yang terbaik mempunyai ukuran yang sama pada jenis bukaan *inlet* dan *outlet*. (Lechner, 2014).

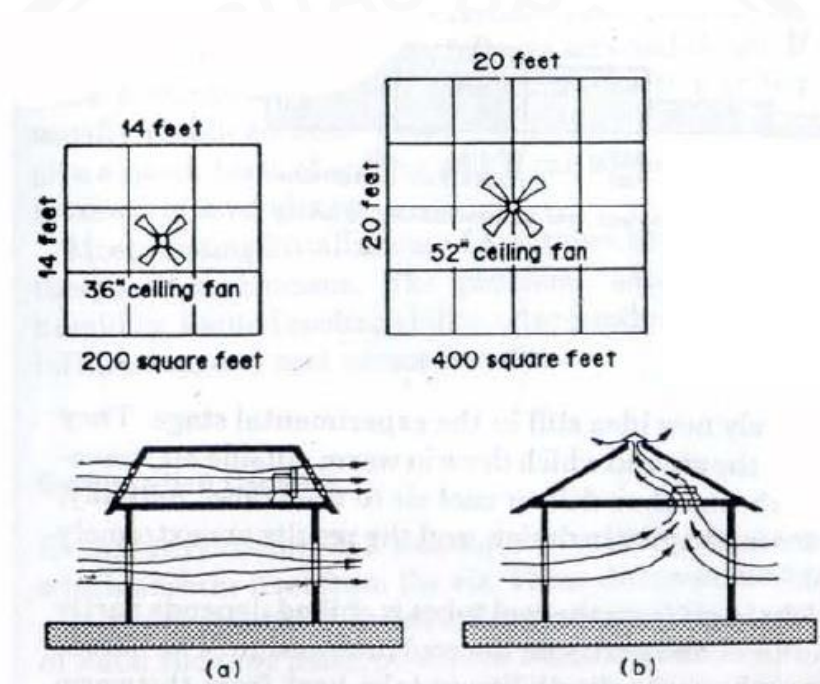
2.6.7 Ventilasi Atap

Bentukan atap yang tidak memiliki sirkulasi udara di dalam atap, memberikan kontribusi panas di ruang dibawahnya, yang mempengaruhi kenyamanan termal. Atap limasan pokok, dengan modifikasi bentuk, banyak digunakan pada bangunan modern. Namun tanpa upaya memberikan sirkulasi udara yang baik, akan menurunkan kinerja bangunan itu sendiri. Penggunaan bahan penutup atap modern sangat rapat mengakibatkan tidak adanya pergerakan udara di dalam atap, mengakibatkan panas di rongga atap mempengaruhi ruang dibawahnya. Dengan demikian perlu dilakukan modifikasi yang benar, sehingga sirkulasi udara di dalam atap tidak berjalan sebagaimana semestinya (Purwanto, 2005).

Ventilasi atap pasif pada umumnya digunakan untuk memperendah temperatur loteng atap. Namun jika angin setempat cukup tinggi dan ventilasi cukup besar atau cukup tinggi di atap, alat-alat tersebut dapat digunakan untuk ventilate ruang hunian. Turbin angin biasa memperbesar ventilasi kira-kira 30% lebih membuka. Penelitian menunjukkan desain yang lain bisa memperbanyak aliran udara sebanyak 120%. Meskipun gedung kantor BRE menggunakan ventilasi open stack yang lebih sederhana, ventilasi penting diperoleh dengan bukaan yang tinggi. Sebuah jenis ventilasi yang canggih yang disebut cowl (topi runcing) digunakan di pengembangan perumahan BedZED. Sebuah baling-baling yang besar meluruskan cowl dengan angin sehingga udara di dorong dan di tarik melalui bangunan. Bukaan arah angin mengalami sebuah tekanan positif, sementara bukaan bawah angin mengalami tekanan negatif. Pipa ducting yang kompleks dari tipe cowl mengirim udara melalui ventilasi bangunan.



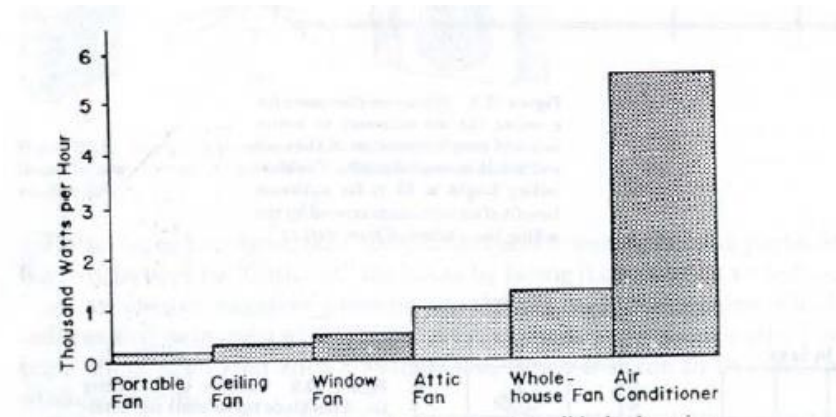
Gambar 2.19 Stack Ventilation
 Sumber: (Szokolay, 2004)



Gambar 2.20 Proyeksi Aliran Angin Ventilasi Atap

Ventilasi atap sangat efektif dalam meneruskan aliran dalam ruang dan proses ventilasi silang, tidak secara langsung memberikan kenyamanan melalui pergerakan udara. Seluruh kipas dalam ruang memberikan dampak dari kedua ruang dalam dan ruang luar. Dari kedua tersebut merupakan versi mekanikal dari stack ventilasi karena dari kedua ruang tersebut mengilustrasikan udara dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi. Udara sejuk yang masuk ke dalam ruang melalui ventilasi jendela dan udara panas akan

tersalurkan melewati ventilasi atap. Dari keseluruhan kipas dalam ruang memberikan keuntungan udara sejuk malam hari keluar dan terradiasi oleh structure (Boutet, 1987).



Gambar 2.21 Grafik penyimpanan konsumsi energi

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ditujukan untuk memberi tambahan teori dan gambaran hasil yang dicapai pada setiap penelitian yang dipilih. Penelitian terdahulu diperoleh dari beberapa jurnal nasional dan internasional.

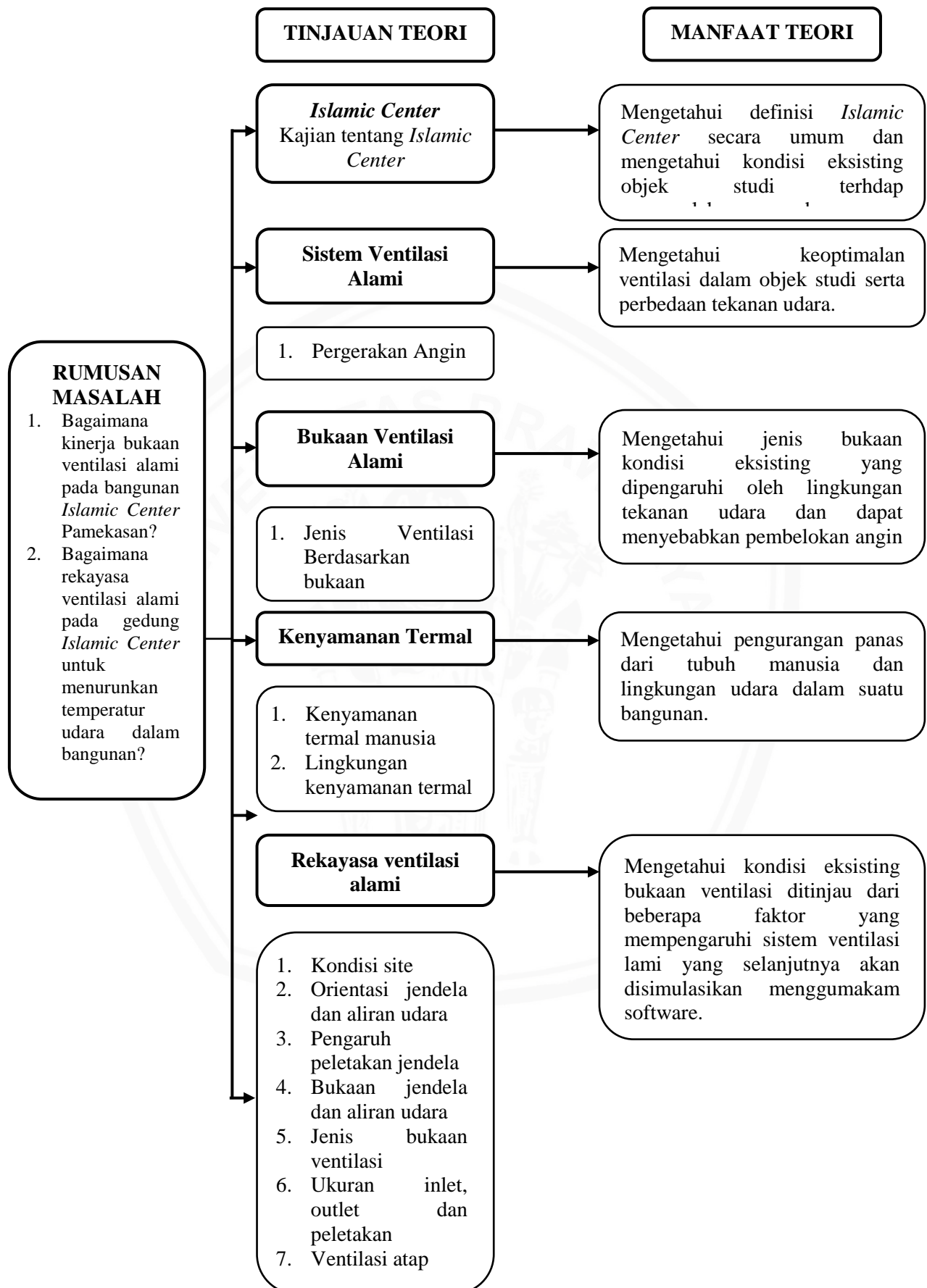
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Teori	Hasil
1.	Omar S. Asfour, dan Mohammed B. Gadi	A Comparison between CFD and Network models for predicting wind-driven ventilation buildings.	Menggunakan eksperimen dan hasil survei, analisis menggunakan metode simulasi (<i>Computational Fluid Dynamics</i>).	Dalam penelitian ini dikomparasikan menggunakan Ecotect Analisis 2011 CFD dan pengaruh angin terhadap ventilasi di satu gedung. Mengkomparasikan hasil dari rata-rata pergerakan udara menggunakan jaringan model matematik.
2.	Sukawi, Agung Dwiyanto, dan Gagoek Hardiman	Model Ventilasi Atap Pada Pengembangan Rumah Sederhana di Lingkungan Berkepadatan Tinggi	a. Berupa hasil pengamatan, pencatatan dari pengukuran titik-titik di dalam dan di luar rumah.	Ventilasi udara pada atap ternyata dapat menurunkan suhu udara di dalam bangunan. Mengetahui kinerja penghawaan alami pada hunian dengan kepadatan tinggi yang dapat memanfaatkan potensi ventilasi atap dalam mensiasati kenyamanan termal dalam bangunan.
	Bahrudin Hamzah, M. Ramli Rahim, Muhammad Taufik Ishak, dan Sahabuddin	Kinerja Sistem Ventilasi Alami Ruang Kuliah	a. Menggunakan eksperimen dan hasil survei, analisis menggunakan metode simulasi CFD (<i>Computational</i>	Posisi dan luas bukaan ventilasi alami sangat menentukan pergerakan udara di dalam ruang kelas. Adanya

No.	Peneliti	Judul	Teori	Hasil
				bukaan pada kedua sisi dinding yang bersebelahan di ruang kelas FT-Unhas
4.	Sahabuddin, Baharuddin Hamzah, dan Ihsan	Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi <i>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS</i>	dengan perangkat lunak <i>SolidWorks</i> 2016 sebagai alat bantu. a. Dalam program <i>SolidWorks</i> sudah disiapkan fasilitas untuk membuat geometri yaitu <i>SolidWorks</i> CAD yang terintegrasi dengan <i>SolidWorks Flow Simulation</i> sehingga proses pendefinisian material, set domain, boundary condition, meshing hingga output.	memberi dampak yang baik terhadap pergerakan udara di dalam ruang kelas. Rekayasa untuk memaksimalkan aliran udara yang memenuhi standar nyaman termal pada RK dilakukan dengan memperluas bukaan ventilasi inlet dan outlet.

Dari beberapa penelitian terdahulu tentang ventilasi alami terdapat beberapa teori yang menunjang dalam perancangan atau mengurangi panas dalam ruang yang diteliti. Pengaruh terbesar dalam ventilasi alami yaitu pergerakan udara, udara secara fleksibel masuk ke dalam bangunan melalui ventilasi. Namun, apabila udara udara yang masuk tidak di seimbangkan dengan arah keluarnya udara maka menyebabkan ruang Dalam menjadi tidak nyaman. Memanfaatkan potensi ventilasi atap dapat menurunkan suhu atau temperatur udara dalam ruang, seperti halnya yang sudah dijelaskan dari beberapa penelitian terdahulu.

2.8 Kerangka Teori



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pendekatan penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu deskriptif evaluatif dan simulasi eksperimental dengan teknik digital. Penelitian deskriptif merupakan gambaran secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fenomena atau hubungan antar fenomena yang diselidiki. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian adalah pendekatan evaluatif, dimana peneliti bermaksud mengumpulkan data tentang studi kasus *Islamic Center* Pamekasan. Penelitian evaluatif pada dasarnya terpusat pada rekomendasi akhir yang menegaskan bahwa suatu objek evaluasi dapat dipertahankan, ditingkatkan, diperbaiki atau bahkan diberhentikan sejalan dengan data yang diperoleh.

Penelitian dilakukan dengan cara pengukuran kondisi eksisting temperatur udara, kecepatan angin, kenyamanan termal dan kondisi bukaan ventilasi. Selanjutnya mengevaluasi hasil dari pengukuran di komparasikan dengan penelitian terdahulu tentang ventilasi alami. Setelah mengidentifikasi permasalahan yang ada, kemudian melakukan pengumpulan data berupa data primer yaitu data objek studi, dokumentasi, dan wawancara pengguna dan pengelola gedung. Data sekunder berkaitan dengan perancangan bangunan *Islamic Center* yang berfokus pada rekayasa ventilasi alami pada gedung *Islamic Center* Pamekasan. Dengan mempertimbangkan permasalahan yang ada yaitu menciptakan stack ventilasi agar pergerakan aliran udara dapat menciptakan ventilasi silang yang berpengaruh terhadap kajian objek studi. Metode dari permasalahan tersebut mengambil dari jurnal dan literatur yang berkaitan dengan sistem rekayasa ventilasi alami pada bangunan gedung.

Tahap selanjutnya adalah analisis hasil data. Analisis dilakukan untuk menentukan solusi dan rekayasa desain dari permasalahan yang ada. Melalui pendekatan literatur dan penelitian terdahulu tentang sistem rekayasa ventilasi alami pada bangunan gedung. Setelah mengetahui permasalahan yang ada pada kasus objek studi dikaitkan dengan penerapan *stack effect ventilation* dan *wind effect* pada bangunan bertujuan untuk mengetahui pergerakan aliran udara dalam ruang agar dapat menciptakan kenyamanan termal dalam ruang, dan pada tahap selanjutnya akan di simulasikan menggunakan *Ecotect Analysis 2011*.

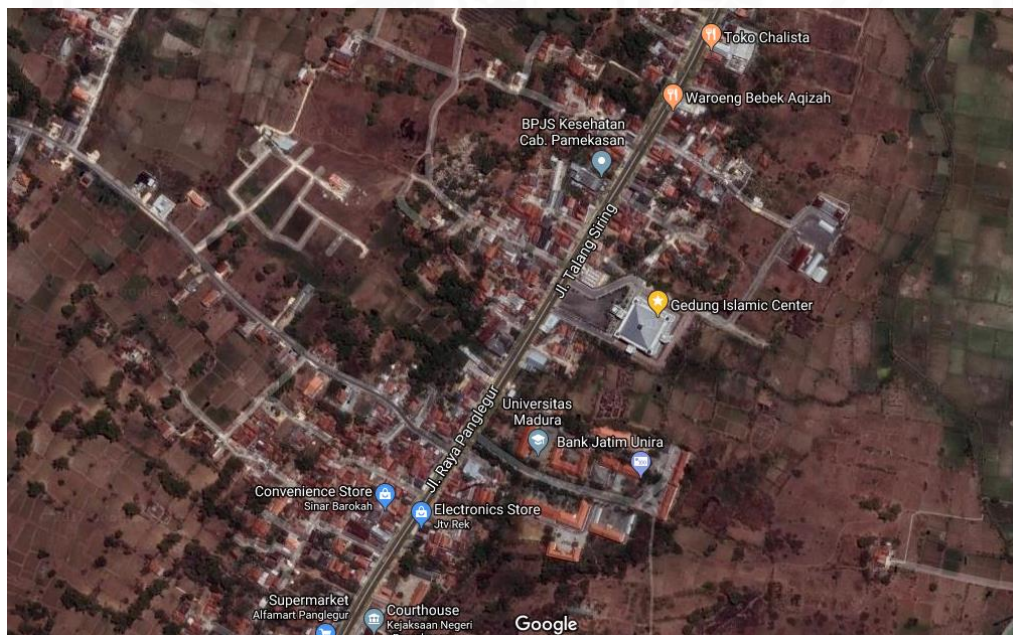
Pada tahap awal perancangan adalah mengukur kecepatan angin dan temperatur suhu dalam ruang dan selanjutnya membuat konsep rekayasa ventilasi alami yang akan digunakan pada objek studi sesuai dengan permasalahan yang ada, yaitu; kondisi eksisting bangunan berjenis tebal, dan di setiap sisi bangunan terdapat bukaan ventilasi, dari kedua kondisi eksisting tersebut perlu diteliti atau analisa dari faktor kenyamanan termal, ventilasi silang, pergerakan aliran udara, dan *stack effect*. Tahap selanjutnya menentukan rekayasa desain ventilasi alami pada gedung *Islamic Center* yang mampu dapat menjawab permasalahan yang terjadi dan dapat disimulasikan menggunakan *Ecotect Analisis 2011*.

3.2 Lokasi Studi dan Waktu Penelitian

Berikut adalah pembahasan mengenai lokasi studi dan waktu penelitian

3.2.1 Lokasi Studi

Objek studi penelitian yang dingkat yaitu *Islamic Center* Pamekasan yang ada di jalan Raya Panglegur, Tlanakan, Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur. Berada pada dua desa yaitu desa ceguk dan desa panglegur, secara geografis $7^{\circ}11'25''S$ $113^{\circ}28'35''E$.



Gambar 3.1 Peta Lokasi *Islamic Center* Pamekasan

Sumber: [https://www.google.co.id/maps/@](https://www.google.co.id/maps/@7.1901739,113.4757503,833m/data=!3m1!1e3?hl=en)

[7.1901739,113.4757503,833m/data=!3m1!1e3?hl=en](https://www.google.co.id/maps/@7.1901739,113.4757503,833m/data=!3m1!1e3?hl=en)

Kondisi eksisting bangunan mengarah ke arah barat dengan jalan raya kurang lebih berjarak 50 m. Bangunan gedung berlantai 3 dengan fungsi yang berbeda. Lantai 1 difungsikan sebagai kantor sewa dan ruang seminar, lantai 2 difungsikan sebagai aula

bersama, dan lantai 3 difungsikan sebagai kantor sewa serta ruang rapat. Masing-masing tiap lantai terdapat bukaan jendela yang mengarah ke arah barat.



Gambar 3.2 Gedung *Islamic Center* Pamekasan

Fungsi dari bangunan *Islamic Center* Pamekasan mewadahi kegiatan keagamaan masyarakat sekitar pamekasan dan kegiatan ke-Islaman lainnya. Jenis kegiatan bermacam macam mulai dari acara pernikahan, pameran, seminar nasional, pelepasan wisudawan dan kajian berkelompok lainnya. Kapasitas pengunjung/pengguna bangunan berbeda dari tiap lantai, kapasitas lantai 1 sekitar 200-300 orang, lantai 2 sekitar 600-1000 orang dan lantai 3 100-150 orang.

Pada lantai 1 pengguna ruang tersebar memusat ditengah ruang, karena sebagian sisi ruang digunakan sebagai kantor sewa. Jenis kegiatan yang sering dilakukan seperti seminar, kajian berkelompok dan kegiatan agama lainnya. ketinggian langit-langit pada lantai 1 sekitar 6 meter dari permukaan lantai. Kondisi eksisting lantai 1 berada dibawah ketinggian area parkir, kondisi tersebut tidak ideal untuk aliran udara yang datang dari arah barat, karena aliran udara langsung tidak dapat mengenai ruang pada lantai 1 sehingga proses ventilasi alami kurang maksimal dan untuk dari sisi yang lainnya tidak ada penghalang yang menyebabkan aliran udara tidak dapat masuk pada ruang di lantai 1.



Gambar 3.3 Lantai 1

Pada lantai 2 yaitu, ruang *hall*, *hall* sering digunakan pada saat acara-acara besar dan dapat menampung sekitar 600-1000 orang. Pengguna ruang tersebar keseluruhan ruangan hingga sampai ke selasar gedung. Dengan banyaknya pengguna ruang tidak di dukungnya dengan kualitas kenyamanan termal dalam ruang. Udara yang masuk tidak menciptakan stack ventilasi sehingga menyebabkan temperatur udara dalam ruang menjadi naik. Tidak adanya ventilasi atap pada bangunan menjadi permasalahan utama dalam penelitian ini, kondisi eksisting dengan banyaknya bukaan tidak di seimbangkan dengan banyaknya bukaan ventilasi atap sehingga proses ventilasi silang tidak terjadi.



Gambar 3.4 Lantai 2

Pada lantai 3 difungsikan sebagai kantor sewa dan area servis. Tidak ada kegiatan dan acara pada lantai 3 hanya digunakan sebagai kantor sewa dan rapat tertentu.



Gambar 3.5 Lantai 3

3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian diperkirakan akan dilaksanakan selama 1 bulan dimulai pada awal bulan Februari 2018 sampai dengan akhir bulan Februari 2018. Waktu tersebut akan dipergunakan untuk melakukan observasi langsung dilapangan, wawancara atau survei, serta dokumentasi.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah objek penelitian atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Variabel bebas adalah suatu variabel yang apabila dalam suatu waktu

berada bersamaan dengan variabel lain itu akan dapat berubah dalam keragamannya. Sedangkan variabel yang berubah karena pengaruh variabel bebas disebut variabel terikat. Adapun yang menjadi variabel dalam penelitian ini adalah “Rekayasa Ventilasi Alami Pada Gedung *Islamic Center*” dimana variabelnya dibagi menjadi dua, yaitu:

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No	Jenis	Variabel Bebas	Variabel Terikat
1	Pengendalian lingkungan udara luar dan dalam	Bukaannya ventilasi dinding <ul style="list-style-type: none"> - Dimensi - Posisi - Sistem Bukaannya Bukaannya ventilasi atap <ul style="list-style-type: none"> - Dimensi - Posisi - Sistem Bukaannya 	Selisih temperatur udara ruang dalam dan ruang luar

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan pendekatan kuantitatif-kualitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk memperoleh data-data empirik seperti data kondisi eksisting bangunan, data kondisi eksisting terkait lingkungan udara, profil bangunan, data gambar arsitektural bangunan, data teori dari literatur dan penelitian terdahulu.

Variabel penelitian diperoleh dari pengumpulan sumber data objek studi. Pada penelitian ini terdiri dari dua jenis sumber data primer dan data sekunder.

3.4.1 Data Primer

Data primer adalah data atau informasi yang diperoleh dari sumber utama dari sebuah objek studi. Pengumpulan data primer untuk memperoleh data secara langsung mengenai kondisi eksisting objek studi, kondisi sekitar objek studi, dan kondisi bangunan. Pengumpulan data juga dilakukan untuk memperoleh data-data mengenai aktivitas dari pengguna bangunan. Data tersebut dilakukan melalui survey lapangan.

Survey lapangan merupakan bagian awal dan terpenting dalam proses mendesain kriteria suatu objek pada suatu objek lokasi. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dengan beberapa metode, yaitu:

1. Observasi

Observasi adalah metode pengumpulan data melalui pengamatan dan pendataan secara langsung untuk mengetahui kondisi yang sebenarnya pada objek yang diteliti. Data-data yang diperoleh pada observasi, yaitu:

- a. Data kondisi eksisting bangunan (lokasi, luas dan volume bangunan, denah, dan layout plan).
- b. Data kondisi eksisting terkait sistem ventilasi alami dan kenyamanan termal ditinjau dari lingkungan udara luar dan dalam. Kedua faktor tersebut mempengaruhi suatu sistem ventilasi alami pada bangunan dan kenyamanan pengguna.
- c. Kondisi eksisting gedung *Islamic Center* ditinjau dari fungsi utama ruang dan bukaan ventilasi.
- d. Pengamatan langsung kondisi fisik bangunan berupa dokumentasi.

2. Pengukuran

Jenis pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali yaitu, pengukuran kecepatan angin, kelembapan, dan temperatur udara. dari ketiga jenis pengukuran tersebut mempengaruhi terjadinya proses ventilasi silang atau ventilasi alami. Bisa dikatakan suatu bangunan mempunyai ventilasi alami yang baik dipengaruhi oleh ketiga jenis pengukuran tersebut.

Serta data-data lainnya yang diperoleh untuk memperkuat kriteria desain dalam perubahan bukaan ventilasi nantinya. Media yang digunakan dalam survey lapangan ini adalah media elektronik berupa kamera digital, *sound meter level*, serta media non elektronik berupa tripod, kertas serta alat tulis untuk sketsa.

Table 0.1 Data Primer

Sumber Data	Jenis Data	Kegunaan Data
Pengukuran Site	Berupa data pengukuran bangunan dan luas bangunan	Mengetahui luas bangunan dan sebagai acuan ukuran dalam pembuatan 3D modelling. Menganalisis kelebihan dan kekurangan layout bangunan baik dari luar maupun dalam. Pengaruh terhadap sirkulasi udara dan kenyamanan termal dalam ruang.
Sumber Data	Jenis Data	Kegunaan Data
Pengukuran kecepatan angin, kelembapan, dan temperatur udara.	Berupa data hasil pengukuran berkaitan dengan pengaruh proses ventilasi alami.	Mengetahui kecepatan aliran udara di sekitar tapak, kelembapan udara, dan temperatur udara. Dari ketiga pengukuran tersebut berkaitan

dengan proses terjadinya ventilasi alami. Ketiga

Sumber Data	Jenis Data	Kegunaan Data
		pengukuran tersebut juga berpengaruh terhadap kenyamanan ruang dalam dan pengguna ruang.

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari permasalahan yang sudah diteliti. Pengumpulan data dari beberapa literatur, sumber buku, jurnal dan internet. Selain itu ada data pendukung berupa data gambar arsitektural, dan profil bangunan. Pengumpulan data sekunder memperkuat dan melengkapi data yang sudah ada sehingga penyusunan penulisan ini bukan merupakan asumsi subjektif. Data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung yaitu:

1. Studi Pustaka

Data yang diambil dari studi pustaka merupakan teori, pendapat ahli maupun peraturan pemerintah yang dapat dijadikan acuan dalam melakukan proses perancangan. Data diperoleh berasal dari literatur berupa jurnal ilmiah, prosiding, dan buku.

2. Sistem Ventilasi Alami

Mengetahui sistem ventilasi alami dari beberapa studi pustaka yang akan di aplikasikan terhadap bangunan objek studi.

3. Rekayasa Ventilasi Alami

Mengetahui hasil analisis sistem ventilasi alami dan selanjutnya di simulasikan menggunakan *Ecotect Analisis 2011*.

Tabel 0.1 Data Sekunder

Sumber Data	Jenis Data	Kegunaan Data
Literatur	Teori mengenai sistem ventilasi alami	Mengetahui pergerakan angin atau sirkulasi udara dalam ruang berkaitan dengan sistem ventilasi alami
	Teori mengenai bukaan ventilasi alami	
	Teori Mengenai kenyamanan termal	Mengetahui tekanan positif dan negatif udara baik di lingkungan udara luar dan dalam bangunan.
	Teori Mengenai rekayasa	Mengetahui faktor apa saja yang

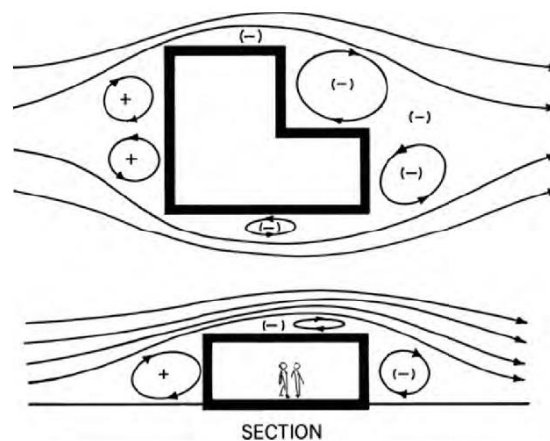
Sumber Data	Jenis Data	Kegunaan Data
	ventilasi alami	mempengaruhi kenyamanan termal dalam bangunan.
		Mengetahui aspek-aspek dalam rekayasa ventilasi alami ditinjau dari hasil analisis akhir sistem ventilasi alami dan kenyamanan termal.

3.5 Analisis Data

Tahap analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut,

1. Analisis Sistem Ventilasi Alami

Sistem ventilasi alami adalah analisis yang dilakukan untuk mengetahui keoptimalan dalam ventilasi alami pada objek yang diteliti berhubungan dengan tersedianya udara yang sehat, suhu udara luar tidak terlalu tinggi, tidak banyak bangunan yang menghalangi pergerakan angin dan lingkungan tidak bising. Menganalisis dari faktor tersebut yang merupakan syarat awal dalam pemenuhan sistem ventilasi alami. Serta menganalisis pergerakan angin yang mempengaruhi perbedaan tekanan udara. Tekanan udara selalu mengalir dari tekanan tinggi ke rendah.



Gambar 0.1 Tekanan Udara

2. Analisis Bukaan Ventilasi Alami

Analisis bukaan ventilasi alami adalah analisis yang dilakukan untuk mengetahui jenis bukaan ventilasi eksisting yang mempengaruhi udara langsung masuk

melalui ventilasi. Udara langsung yang masuk bersinggungan dengan jenis bukaan yang di pakai. Pembelokan udara yang besar dapat mengakibatkan turbulensi.

3. Analisis Kenyamanan Termal

Analisis kenyamanan termal adalah analisis yang dilakukan untuk mengetahui pengurangan panas akibat dari penguapan air atau zat lain. Terdapat beberapa pengendalian termal diantaranya yaitu, empat faktor lingkungan dan dua faktor manusia. Dalam menganalisis kenyamanan termal harus mengerti mekanisme hilangnya panas dari tubuh manusia, tetapi juga mengetahui empat kondisi lingkungan.

4. Analisis Rekayasa Ventilasi Alami

Analisis rekayasa ventilasi alami adalah analisis yang dilakukan untuk mengolah hasil dari beberapa analisis yang terkait dengan ventilasi alami dan kenyamanan pengguna dalam ruang di gedung *Islamic Center*. Hasil akhir dari analisis tersebut selanjutnya akan di simulasikan menggunakan *software* untuk memperoleh hasil akhir yang optimal dalam rekayasa ventilasi alami pada objek yang diteliti.

3.6 Sintesis Data

Sintesis data berupa evaluasi objek yang diteliti terkait dengan sistem ventilasi alami, bukaan ventilasi alami, dan kenyamanan termal. Dari sintesa tersebut akan diberikan usulan-usulan perbaikan untuk mengatasi permasalahan ventilasi alami pada objek yang diteliti.

1. Sintesa Sistem Ventilasi Alami

Sintesis sistem ventilasi alami berupa pengoptimalan dalam sistem ventilasi alami pada objek yang diteliti sehubungan dengan syarat awal pemenuhan kajian tersebut. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi sistem ventilasi alami yaitu, perbedaan tekanan udara, dan suhu yang menjadikan suatu sistem ventilasi alami dapat bekerja dengan baik.

2. Sintesa Bukaan Ventilasi Alami

Sintesis bukaan ventilasi alami berupa pengoptimalan dalam jenis bukaan ventilasi dan proyeksi pembelokan udara. Udara langsung yang datang dapat dibelokkan melalui jenis bukaan jendela.

3. Sintesa Kenyamanan Termal

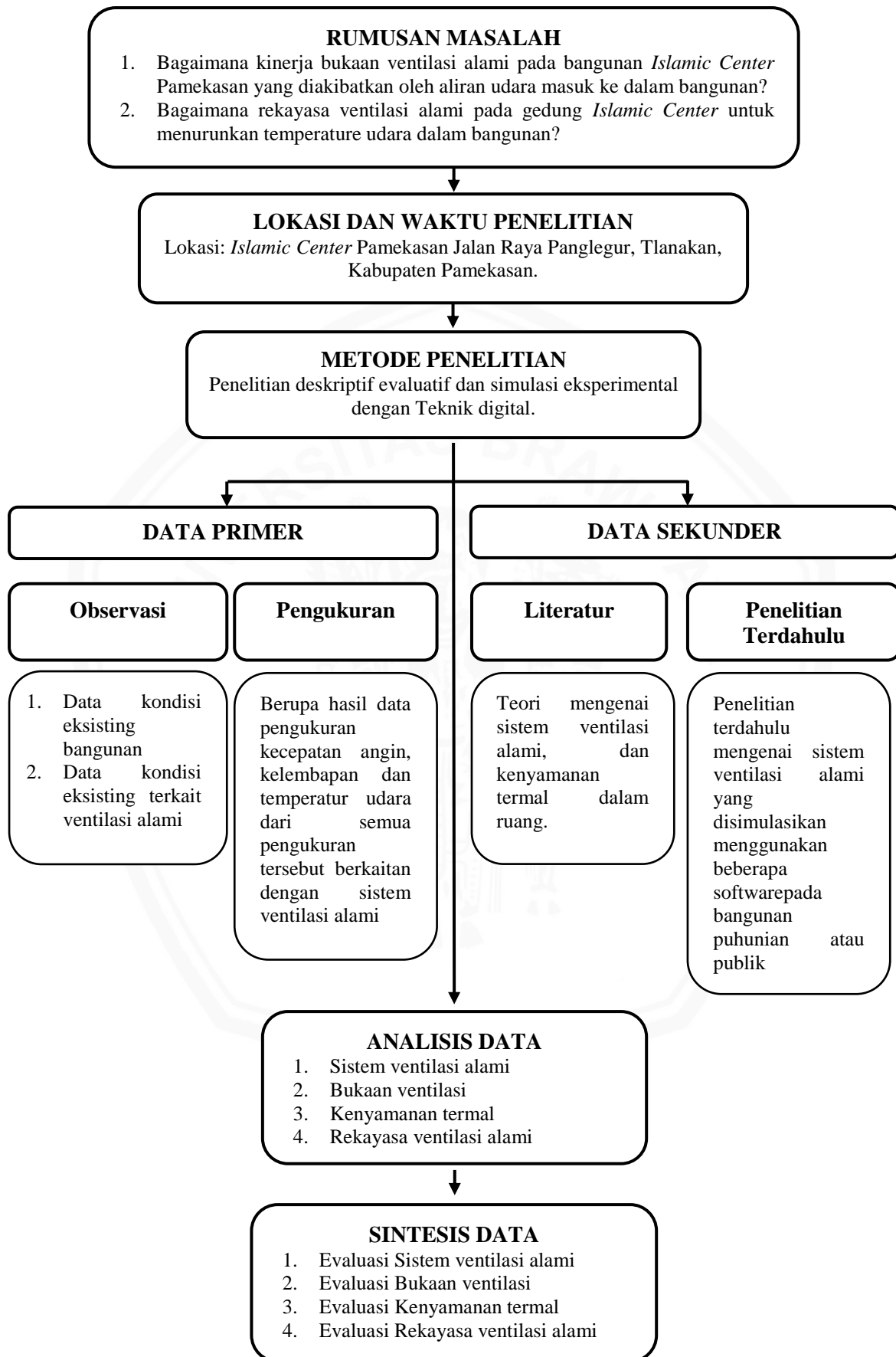
Sintesis kenyamanan termal berupa pengoptimalan pada lingkungan udara yang berhubungan dengan bukaan ventilasi sehingga panas dari tubuh manusia dan lingkungan dapat di minimalisir.

4. Sintesa Rekayasa Ventilasi Alami

Sintesis rekayasa ventilasi alami berupa hasil evaluasi terhadap sintesa sistem ventilasi alami



3.7 Kerangka Metode Penelitian



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum Gedung *Islamic Center*

Gedung *Islamic Center* Pamekasan dengan luas bangunan sekitar 1050m² terletak pada posisi garis lintang dan garis bujur merupakan daerah pinggir kota Pamekasan merupakan bangunan publik masyarakat madura dalam segala kegiatan ke-Islaman. Terdapat tiga lantai yang mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Pada topik permasalahan objek studi yang diteliti terletak pada lantai dua dan tiga.

Letak objek studi berada diantara dua desa yaitu desa Ceguk dan desa Panglegur. Antusias masyarakat Madura akan agama Islam dan kemajuan perkembangan teknologi dikota Pamekasan yang begitu cepat perlu adanya fasilitas sarana dan prasarana untuk menunjang aktivitas keagamaan dikota tersebut. Melalui PEMDA setempat dari hasil musyawarah antara dewan pemerintah dan lembaga masyarakat dicetuskan untuk dibangunnya *Islamic Center*. Digunakan sebagai wadah sarana kegiatan keagamaan. Letak *Islamic Center* berada pada arah selatan kota Pamekasan. Terhubung langsung dengan jalan raya Panglegur (Pamekasan-Surabaya). Awal perencanaan dibangun pada tahun 2007 dan selesai pada tahun 2010. Dibangun pada luas tanah 8500m² berdekatan dengan pusat Pendidikan, pusat olahraga dan pemukiman warga. Berbagai kegiatan yang berlangsung di *Islamic Center*, ruang *hall* yang menjadi zona utama dalam gedung. Menurut SNI 03-6572-2001, bangunan ini termasuk dalam klasifikasi bangunan umum kelas 9b yaitu bangunan pertemuan, termasuk bengkel kerja, laboratorium atau sejenisnya di sekolah dasar atau sekolah lanjutan, *hall*, bangunan peribadatan, bangunan budaya atau sejenis, tetapi tidak termasuk setiap bangunan dari bangunan yang merupakan kelas lainnya.

Gedung *Islamic Center* pamekasan mengonsepan mosque contemporary dengan kubah limasan dan 4 buah anak kubah. Bukaan-bukaan ventilasi besar menciptakan penghawaan alami dan pencahayaan alami masuk kedalam bangunan. Terdiri dari 3 lantai lantai 1 difungsikan sebagai ruang seminar dan kantor sewa, lantai 2 difungsikan sebagai *hall*, dan lantai 3 difungsikan sebagai kantor sewa. Bangunan masjid yang mewah ini menampilkan citra Islam positif. Pancaran nilai-nilai keimanan ketaqwaan begitu menyejukkan nurani. Dengan lahan yang luas *Islamic Center* pamekasan difasilitasi secara total oleh pemerintah

kabupaten. Bentuk bangunannya merupakan manifestasi dari sifat-sifat perkasaan (Al-Jabbaru), kemegahan (Al-Mutakabbiru), Sekaligus kelembutan (Al-Lathief). Hal ini mampu diharapkan menumbuhkan semangat masyarakat Madura akan agama Islam. Pada bentuk arsitektur bangunannya berbetuk kubus dengan garis-garis tegas dan dinamis disetiap bukaan mencerminkan masyarakat Madura yang tegas dan keramahan hatinya.

Islamic Center Pamekasan merupakan sebuah fasilitas publik dengan fungsi utama yaitu sebagai gedung pertemuan dan wadah kegiatan islam di kota Pamekasan. Dengan lokasi yang strategis berada dekat dengan kota Pamekasan bangunan ini sering dipakai pada saat acara-acara tertentu. Dengan fungsi utama bangunan yaitu ruang *hall* dapat menampung segala macam aktifitas formal dan non formal.



Gambar 4.1 Lokasi *Islamic Center*

Tabel 4.1 Aktivitas Pengguna Bangunan

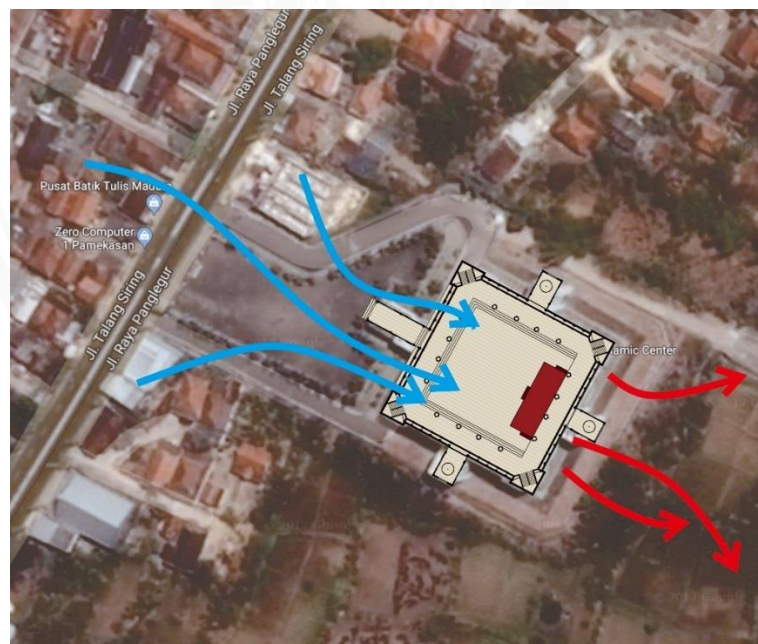
No	Jenis Aktivitas /kegiatan	Waktu	Lokasi	Sifat
1.	Seminar/Talkshow	Pagi-malam	Ruang <i>Hall</i>	Primer
2.	Wisudawan	Pagi	Ruang <i>Hall</i>	Sekunder
3.	Kajian berkelompok	Pagi-malam	Ruang <i>Hall</i>	Primer
4.	Acara pernikahan	Malam	Ruang <i>Hall</i>	Primer
5.	Pameran/expo	Malam	Ruang <i>Hall</i>	Sekunder

Berdasarkan table diatas, kegiatan yang sering berlangsung adalah acara pernikahan yang bisanya diselenggarakan pada pagi sampai malam dan seminar/talkshow. Dari kedua

acara tersebut dijadikan sebuah objek studi kasus pada penelitian ini. Kegiatan tersebut sangat membutuhkan kenyamanan termal melihat pengguna ruang yang banyak.

4.2 Evaluasi Sistem Ventilasi Alami Eksisting

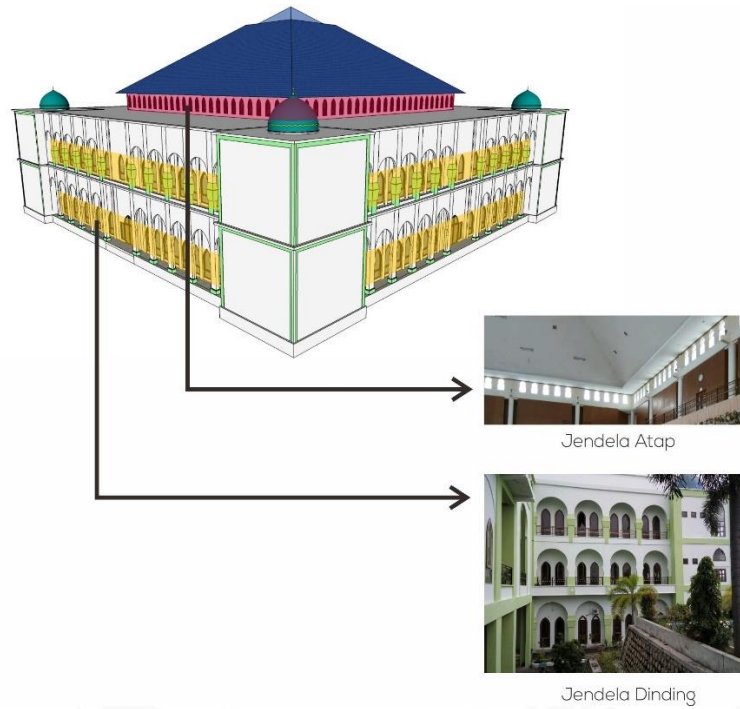
Evaluasi sistem ventilasi alami pada gedung *Islamic Center* bertujuan untuk mengetahui kondisi lapangan terkait dengan kecepatan angin, kelembapan dan temperatur udara dalam meningkatkan kenyamanan termal dalam ruang. dari ketiga pengaruh tersebut mempengaruhi terjadinya proses ventilasi silang yang bertujuan untuk mengurangi panas dalam bangunan. Pada kondisi eksisting letak objek studi yang dekat dengan pesisir menyebabkan temperatur udara naik dan kecepatan angin yang rendah sehingga menyebabkan ruang dalam kajian objek studi menjadi temperatur udara naik dan menurunkan tingkat kenyamanan dalam ruang. Bukaannya ventilasi yang ada di setiap sisi bangunan kurang efektif dalam proses ventilasi silang, luasan ruang dalam sekitar 2304 m² menyebabkan aliran udara tidak dapat mencapai ke tengah bangunan. Tidak adanya ventilasi atap pada objek menyebabkan temperatur udara naik. Ventilasi atap sangat efektif dalam menurunkan temperatur dalam ruang dengan pergerakan udara yang secara menerus diharapkan mampu dapat menurunkan temperatur dalam ruang dan meningkatkan kenyamanan pengguna dalam ruang.



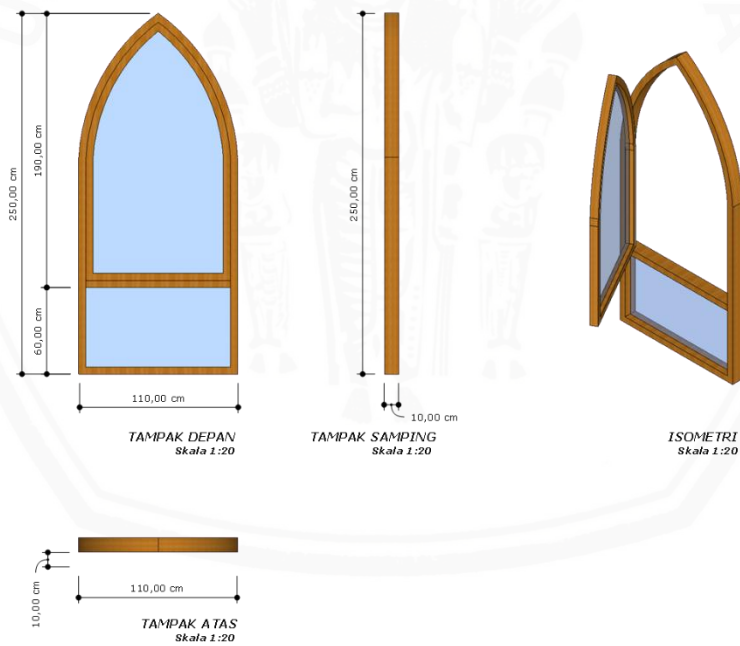
Gambar 4.2 Sirkulasi udara

Pada gambar diatas merupakan kondisi eksisting aliran udara pada saat pengukuran. Angin bertiup dari arah barat ke timur, sedikit adanya vegetasi di sekitar objek studi menyebabkan temperatur udara menjadi panas dan bukaan jendela yang ada di setiap sisi bangunan memudahkan udara masuk ke dalam bangunan. Dengan banyaknya bukaan ventilasi tidak diseimbangkan dengan bukaan yang sifatnya mengeluarkan temperatur panas dalam ruang. Faktor lainnya yang mempengaruhi sistem ventilasi alami yaitu kelembapan, kelembapan yang tinggi yang diakibatkan oleh temperatur udara panas dan rendahnya kecepatan angin menyebabkan menurunnya tingkat kenyamanan dalam ruang.

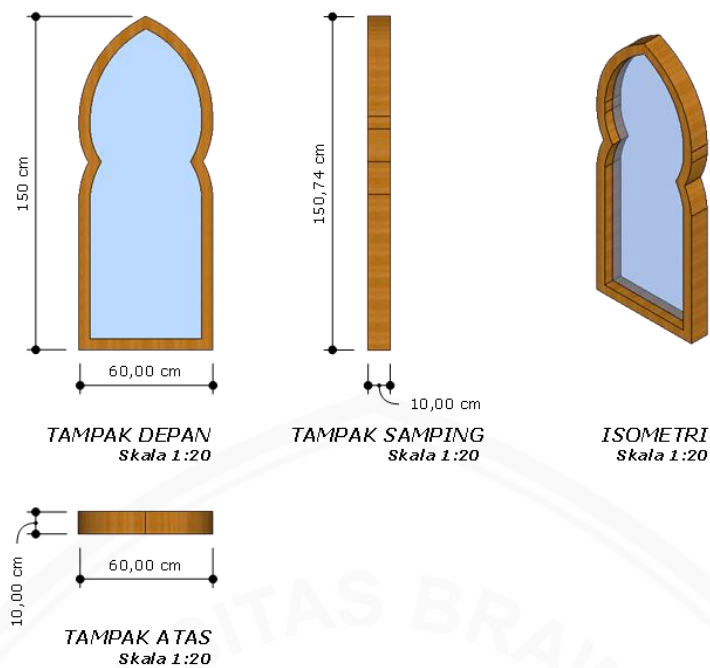
Objek studi yang dekat dengan pesisir menimbulkan banyak permasalahan desain tentang tingkat kenyamanan termal dalam ruang mengalirkan udara dan mengurangi panas dalam ruang menjadi pokok pemikiran utama pada kajian ini. Kota Pamekasan dengan temperatur udara rata-rata 30°C dan kelembapan yang tinggi menyebabkan sebagian besar bangunan publik menggunakan *air conditioner* dengan tujuan untuk mengurangi panas dalam ruang. Pada kejadian ini proses dalam memahami suatu permasalahan dalam suatu desain belum tercapai secara maksimal sehingga penggunaanya tidak ramah lingkungan. Kajian objek studi dengan bukaan ventilasi di setiap sisi memudahkan aliran udara masuk kedalam bangunan, dengan tidak adanya ventilasi atap menyebabkan udara yang masuk tidak dapat dikeluarkan sehingga tidak terjadi proses stack ventilasi dan menyebabkan temperatur dalam ruang panas.



Gambar 4.3 Bukaan ventilasi






Gambar 4.4 Detail Jendela Dinding Eksisting



Gambar 4.5 Detail Jendela Atap Eksisting

Tabel 4.2 Keterangan Kondisi Ventilasi Eksisting

Bukaan	Gambar	Luas (m ²)	Ketinggian (m)	Jenis Ventilasi Eksisting	Kondisi saat Aktifitas
1		47,2	2,5	Casement Window	Terbuka 45 derajat

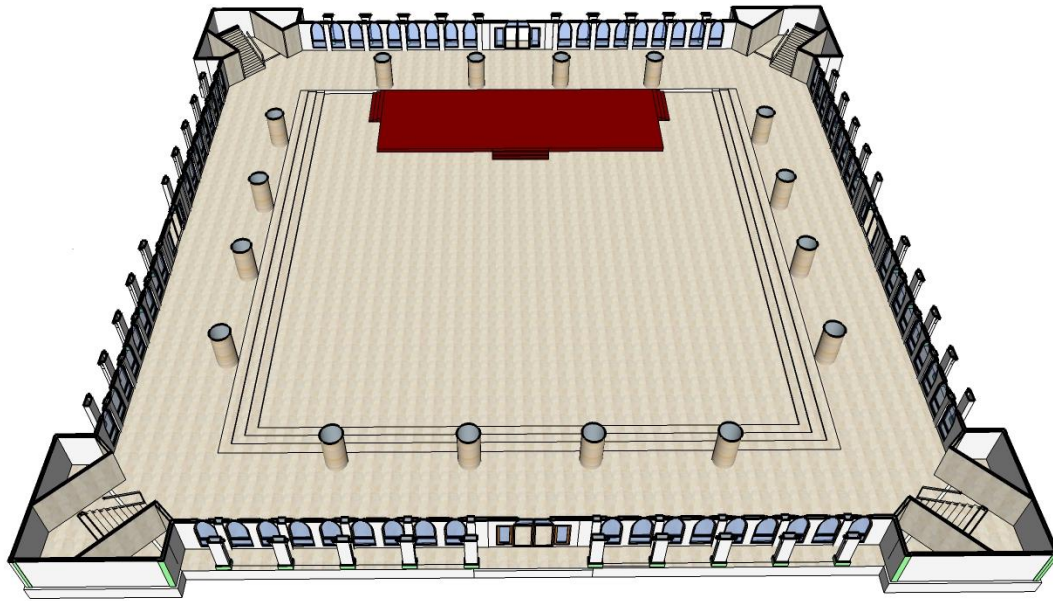
Bukaan	Gambar	Luas (m ²)	Ketinggian (m)	Jenis Ventilasi Eksisting	Kondisi saat Aktifitas
2		101,6	4,7	Shading Device	Terbuka Penuh
3		15,6	1,5	Fixed window	Tidak Terbuka

Dari data bukaan eksisting yang di dapat, bukaan ventilasi mempunyai sistem yang berbeda, yaitu jendela utama yang terletak pada dinding terbuka 45° derajat memungkinkan memasukkan angin yang tidak terlalu besar berlaku ke semua jendela yang ada di setiap sisi bangunan. Serta shading device yang berada tepat di jendela utama, kondisi tersebut sepenuhnya terbuka dan difungsikan sebagai penangkal radiasi matahari. Selanjutnya jendela atap yang terletak diatas ruang *hall*, dengan sistem jendela mati sehingga udara tidak dapat masuk atau keluar. Pada kondisi seperti ini tidak dapat terjadinya pergantian udara (*stack ventilation*) sehingga temperatur udara dalam ruang meningkat.

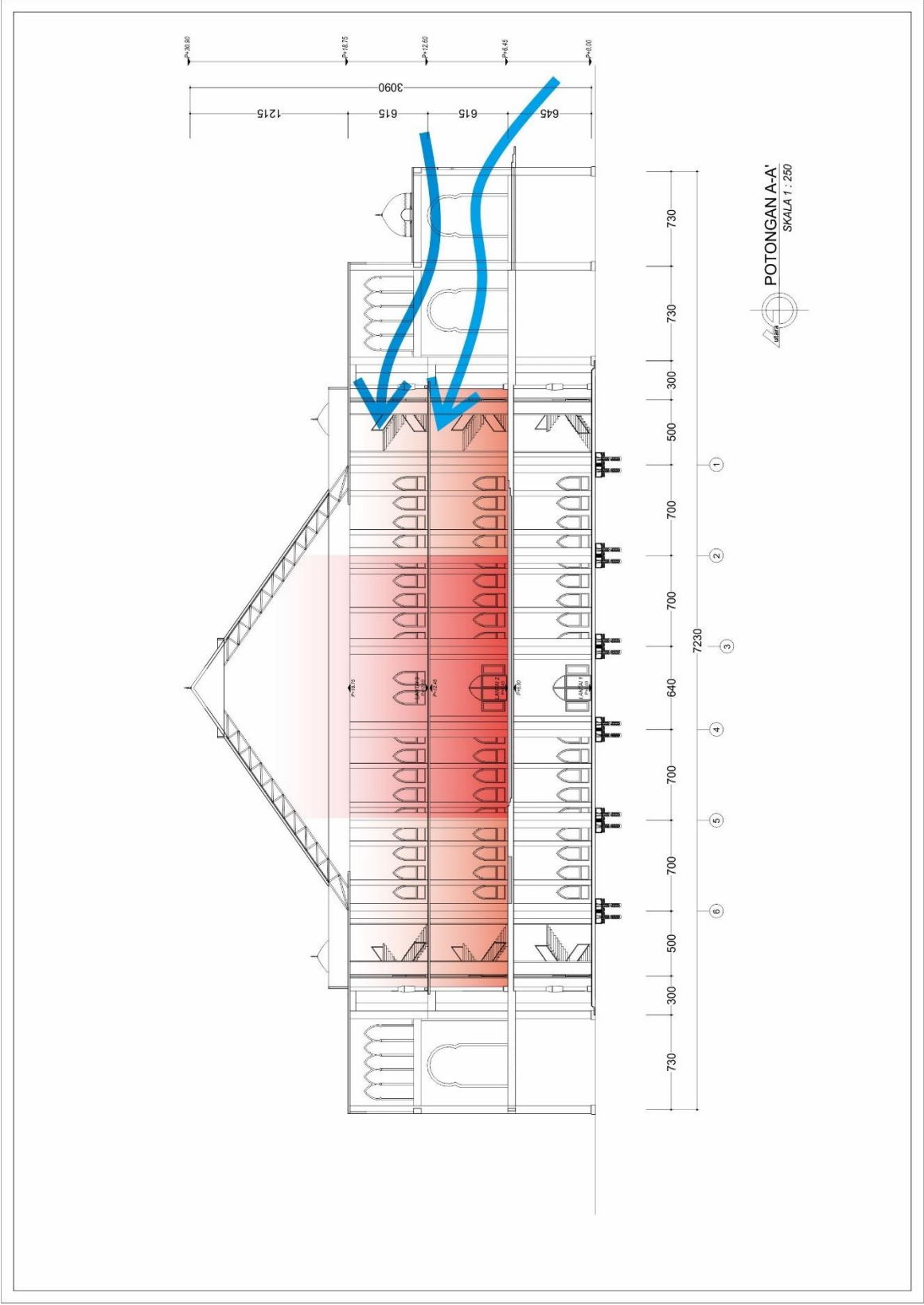
Tabel 4.3 Perbandingan Ventilasi Eksisting dengan SNI

Ruang	Luas Ruang	Luas Bukaan		Keterangan
		Ventilasi Eksisting (m ²)	Ventilasi Standar (m ²)	
<i>Hall</i>	2304 m ²	198	230,4	Tidak Sesuai standar SNI

Luas Ventilasi 10% (maks) dari luas lantai



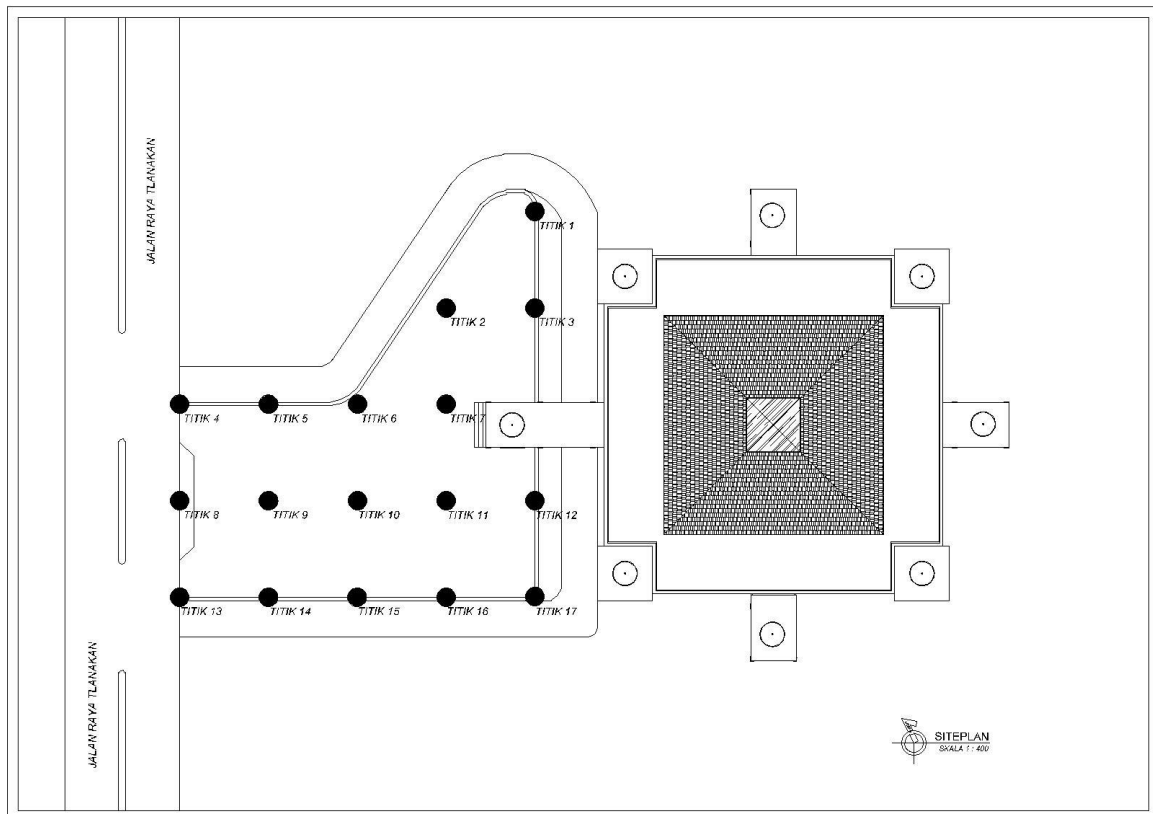
Gambar 4.6 Ruang *Hall Islamic Center*



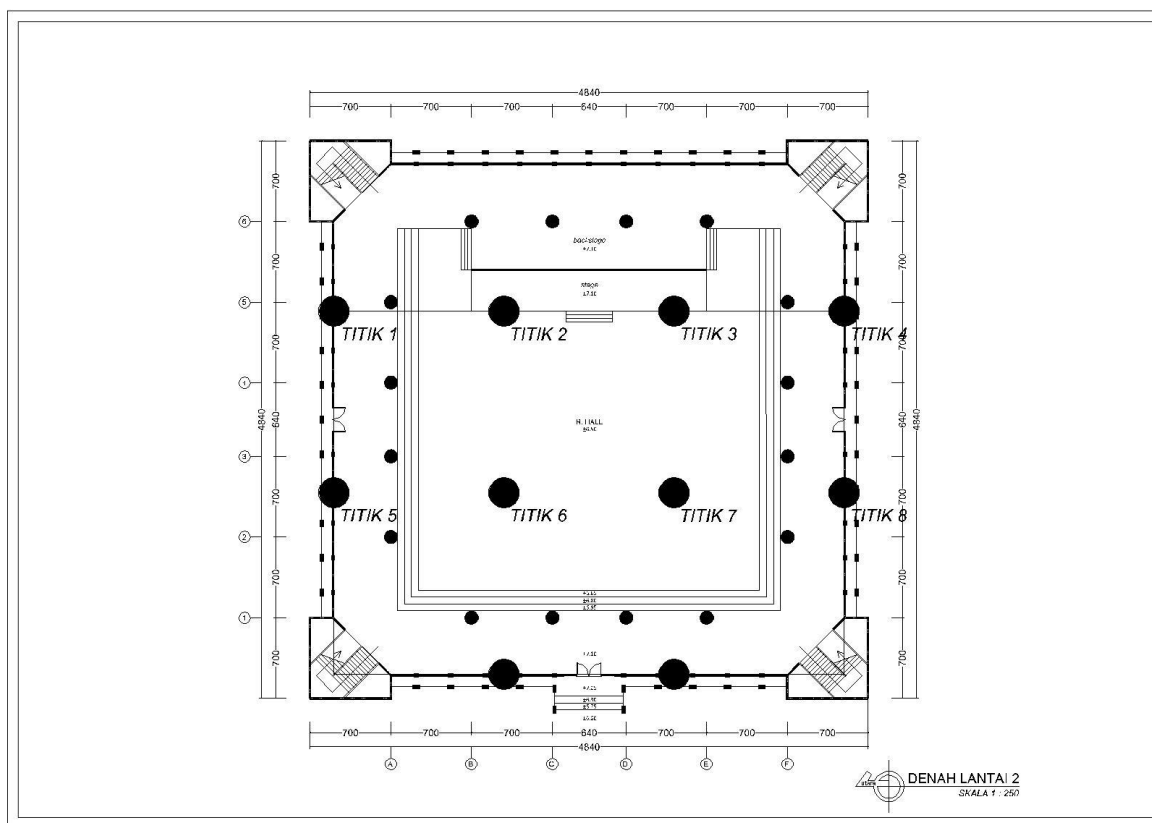
Gambar 4.7 Kondisi Termal Eksisting

4.3 Pengukuran Lapangan Kondisi Termal eksisting

Pengukuran lapangan kondisi termal eksisting dilakukan dua ruangan yaitu ruang dalam dan ruang luar. Pada pengukuran ruang luar dilakukan sebanyak 17 titik, titik yang diambil sudah ditentukan sebelumnya sesuai dengan grid pada denah. Pada pengukuran ruang dalam dilakukan sebanyak 10 titik, titik yang diambil sudah ditentukan sebelumnya sesuai dengan grid pada denah. Titik ukur dibagi rata pada seluruh ruang luar dan dalam dengan pertimbangan pengguna ruang yang ada setiap waktu sehingga diperlukan pengukuran keseluruhan ruang dan untuk mengetahui perbedaan sisi yang dekat dengan ventilasi dan jauh dari ventilasi. Pengukuran menggunakan Thermometer Hygrometer. Dan data yang disajikan pada tabel dibawah ini merupakan nilai rata-rata dari hasil pengukuran termal dengan interval waktu (06.00, 09.00, 12.00, 15.00 dan 18.00).



Gambar 4.8 Pengukuran Temperatur Luar Ruangan



Gambar 4.9 Pengukuran Temperatur Dalam Ruangan

4.3.1 Pengukuran Aliran Angin Eksisting

Pengukuran aliran udara pada gedung *Islamic Center* dilakukan selama 1(satu) hari tepat pada tanggal 02 Maret 2018 menggunakan alat ukur *Hot Wire Anemometer* dengan interval waktu (06.00, 09.00, 12.00, 15.00 dan 18.00). Pengukuran dilakukan pada ruang luar dan ruang dalam, tujuannya untuk mengetahui perbedaan aliran tekanan udara. Berikut hasil tabel data pengukuran aliran angin pada bangunan *Islamic Center* Pamekasan.

Tabel 4.4 Pengukuran Kecepatan Angin

Pengukuran Kecepatan Angin Jum'at, 02 Maret 2018					
Posisi	Waktu	Kecepatan Angin luar (m/s)	Kecepatan Angin Dalam (m/s)	Kondisi	Keterangan
Terbuka 45	06.00	2,05	0,9	Di atas ambang kecepatan angin	Sesuai Standar SNI
	09.00	2,3	0,4		
	12.00	2,8	1.65		

Posisi	Waktu	Kecepatan Angin luar (m/s)	Kecepatan Angin Dalam (m/s)	Kondisi	Keterangan
	15.00	2.65	1.15	yang nyaman (0,15-0,25 m/s)	
	18.00	1,9	1.45		
Rata-rata		2,35	1.025		

Pada massa sekitar gedung *Islamic Center* dikelilingi oleh perkebunan warga dengan ketinggian vegetasi $\leq 2\text{m}$. Terdapat juga beberapa bangunan pendidikan dan perdagangan yang terletak di sisi selatan. Sisi barat berhadapan langsung dengan jalan arteri Pamekasan-Surabaya yang merupakan akses jalan utama.



Gambar 4.10 Sisi Barat *Islamic Center*



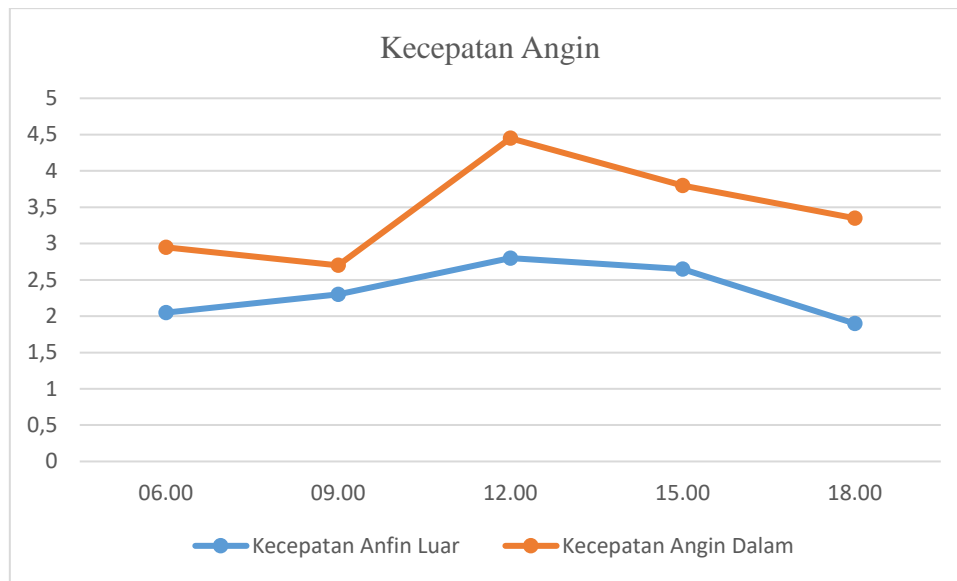
Gambar 4.11 Sisi Utara *Islamic Center*



Gambar 4.12 Sisi Timur *Islamic Center*



Gambar 4.13 Sisi Selatan *Islamic Center*



Gambar 4.14 Grafik Pengukuran Angin

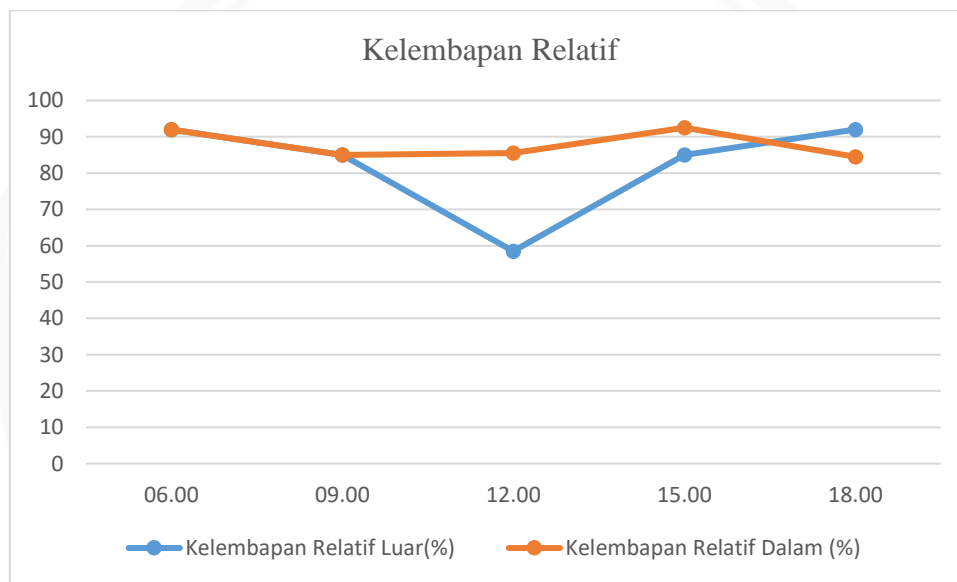
Pengukuran kecepatan angin dilakukan secara bersamaan antara kecepatan angin luar dan angin ruang dalam. Menggunakan alat ukur *hot wire anemometer* untuk memperoleh hasil data pengukuran eksisting. Terlihat pada tabel pengukuran kondisi eksisting rata-rata kecepatan angin udara luar sekitar 2,3 m/s dan untuk rata-rata udara dalam sekitar 1 m/s. Pada grafik kecepatan angin ruang luar yang tinggi menyebabkan udara dapat masuk kedalam bangunan melalui ventilasi sangat besar. Kecepatan angin ruang dalam dapat dirasakan pada sisi pinggir bangunan. Melihat ruang bangunan yang tebal aliran angin tidak dapat mencapai ke tengah ruang. Hal ini disebabkan tekanan udara yang masuk tidak bisa mencapai ke tengah ruang sehingga temperatur udara tengah ruang meningkat.

4.3.2 Pengukuran Kelembapan Relatif Eksisting

Pengukuran kelembapan relatif dilakukan 2(dua) tempat yaitu, ruang luar dan ruang dalam. Menggunakan alat ukur temperatur basah untuk mengetahui kelembapan relatif kondisi eksisting. Pengukuran pada kedua area tersebut dilakukan untuk mengetahui berapa besar reduksi temperatur basah dari luar ke dalam bangunan. Kemudian dari hasil pengukuran diperoleh hasil rata-rata yang kemudian di sesuaikan terhadap standar kenyamanan dalam ruang. Pengukuran dilakukan selama 1(satu) hari dengan interval waktu (06.00, 09.00, 12.00, 15.00 dan 18.00).

Tabel 4.5 Pengukuran Kelembapan Relatif

Pengukuran Kecepatan Angin Jum'at, 02 Maret 2018					
Posisi	Waktu	Kelembapan Relatif Luar (%)	Kelembapan Relatif Dalam (%)	Kondisi	Keterangan
Terbuka 45	06.00	92	92	Di atas ambang Kelembapan udara (40-70%)	Tidak sesuai Standar SNI
	09.00	85	85		
	12.00	58,5	85,5		
	15.00	85	92,5		
	18.00	92	84,5		
Rata-rata		75,25	88,25		



Gambar 4.15 Grafik Pengukuran Kelembapan Relatif

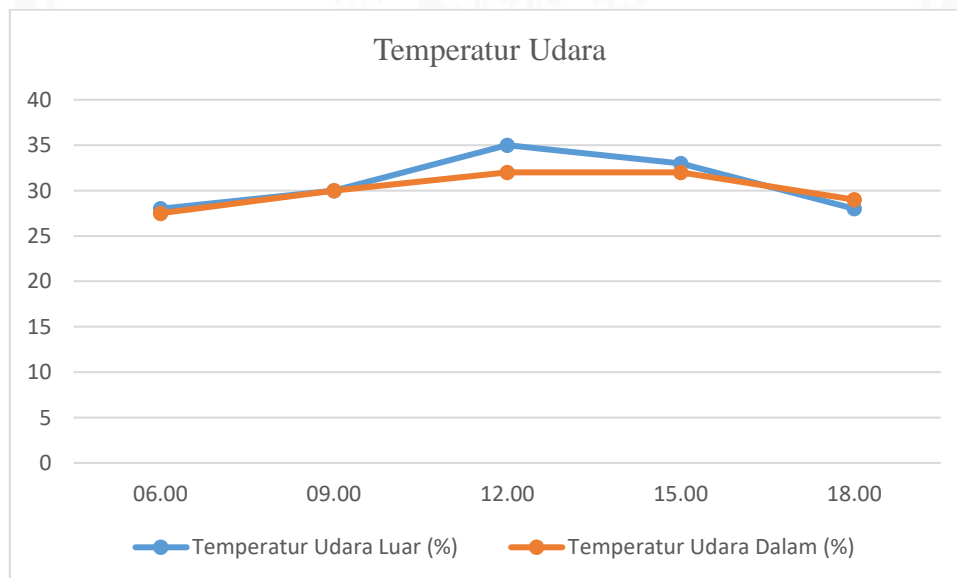
Pengukuran kelembapan udara dilakukan secara bersamaan antara kelembapan udara luar dan kelembapan udara dalam. Menggunakan alat ukur temperatur basah untuk memperoleh hasil data pengukuran eksisting. Terlihat pada tabel pengukuran kondisi eksisting rata-rata kelembapan udara luar sekitar 75% dan untuk rata-rata kelembapan udara dalam sekitar 80%. Kelembapan udara yang tinggi disebabkan oleh radiasi matahari yang tinggi sehingga temperatur udara naik dan rendahnya aliran udara ruang dalam. Sesuai dengan standar SNI 1993 yang menyatakan daerah kenyamanan termal pada bangunan yang dikondisikan untuk orang indonesia yaitu, 40-70%.

4.3.3 Pengukuran Temperatur Udara Eksisting

Pengukuran temperatur udara dilakukan 2(dua) tempat yaitu, ruang luar dan ruang dalam. Menggunakan alat ukur temperatur kering untuk mengetahui temperatur udara kondisi eksisting. Pengukuran pada kedua area tersebut dilakukan untuk mengetahui berapa besar pengaruh termal ruang luar dan ruang dalam. Kemudian dari hasil pengukuran diperoleh hasil rata-rata yang kemudian disesuaikan terhadap standar kenyamanan termal dalam ruang. Pengukuran dilakukan selama 1(satu) hari dengan interval waktu (06.00, 09.00, 12.00, 15.00 dan 18.00).

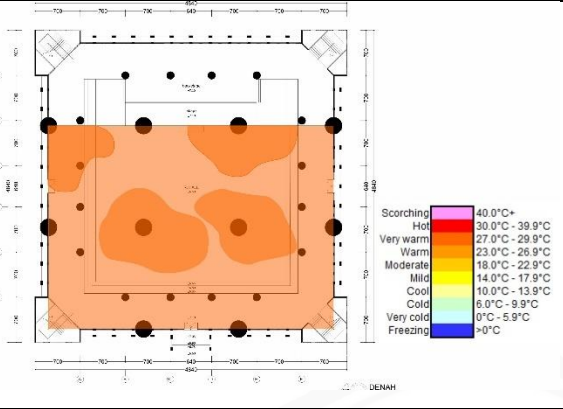
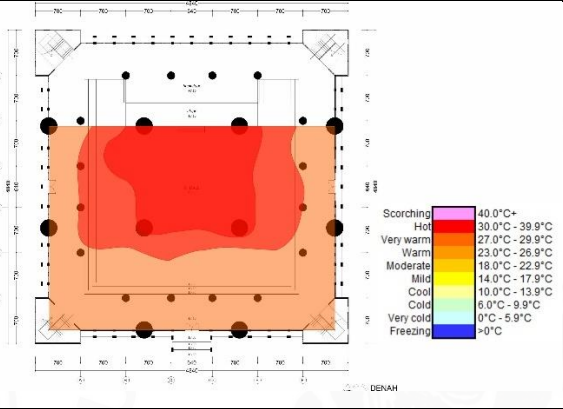
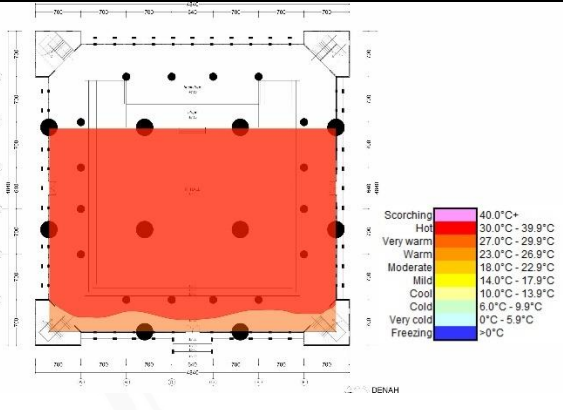
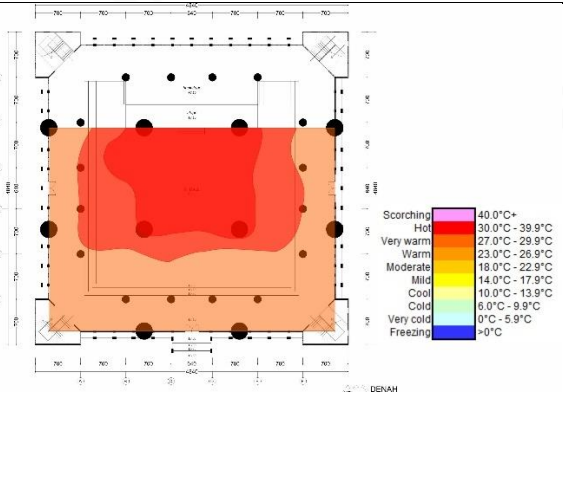
Tabel 4.6 Pengukuran Temperatur Udara

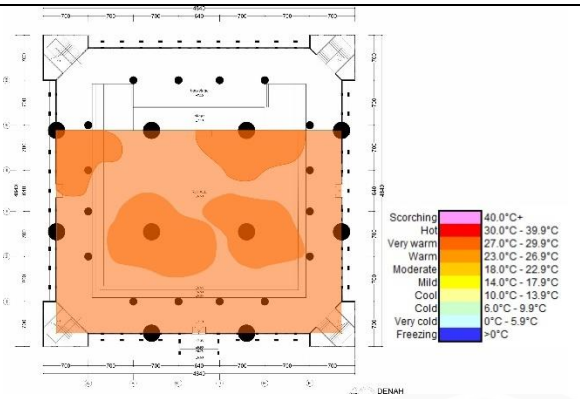
Pengukuran Kecepatan Angin Jum'at, 02 Maret 2018					
Posisi	Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)	Kondisi	Keterangan
Terbuka 45	06.00	28	27.75	Di atas ambang hangat nyaman (>27,1 C)	Tidak sesuai standart SNI
	09.00	30	30		
	12.00	35	32		
	15.00	33	32		
	18.00	28	29		
Rata-rata		31,5	29,8		



Gambar 4.16 Grafik Pengukuran Temperatur Udara

Tabel 4.7 Zoning Temperatur Hasil Pengukuran

Waktu	Zona Temperatur	Keterangan
06.00		Berdasarkan gambar di samping, pada kondisi ini, temperatur rata-rata 27,75°C. Tersebar pada seluruh titik ruang <i>hall</i> .
09.00		Berdasarkan gambar di samping, pada kondisi ini, temperatur rata-rata 30°C. Tersebar pada seluruh titik ruang <i>hall</i> , namun pada ruang tengah temperatur naik.
12.00		Berdasarkan gambar di samping, pada kondisi ini, temperatur rata-rata 32°C. Tersebar pada seluruh titik ruang <i>hall</i> .
15.00		Berdasarkan gambar di samping, pada kondisi ini, temperatur rata-rata 32,5°C. Tersebar pada seluruh titik ruang <i>hall</i> .

Waktu	Zona Temperatur	Keterangan
18.00		Berdasarkan gambar di samping, pada kondisi ini, temperatur rata-rata 29°C. Tersebar pada seluruh titik ruang <i>hall</i> .

Keterangan:

● : Titik pengukuran

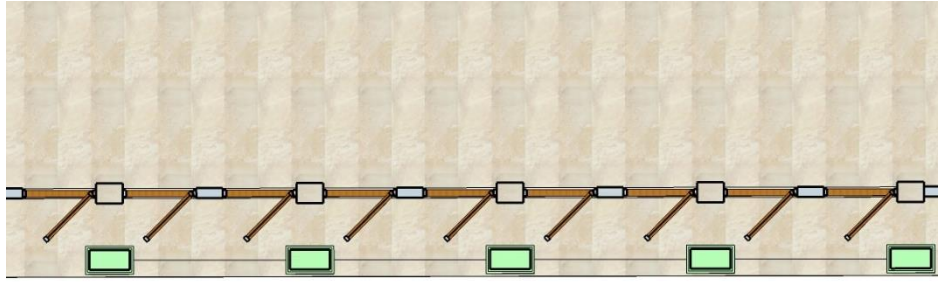
Pengukuran temperatur udara dalam ruang, nilai yang diperoleh pada saat pengukuran pukul (06.00) berkisar 27°C, pukul (09.00) berkisar 30°C, pukul (12.00) berkisar 32°C, pukul (15.00) berkisar 32°C dan pukul (18.00) berkisar 29°C. Selisih temperatur udara ruang luar dan dalam relatif kecil, yaitu rata-rata sebesar 1-2°C pada setiap waktu pengukuran. Sedangkan pada standar temperatur nyaman menurut SNI 03-6572-2001 antara 25°C – 27°C. Dari kelima waktu yang sudah dilakukan pengukuran, temperatur tertinggi terjadi pada pukul 12.00-15.00. Sedangkan untuk temperatur rendah terjadi pada pukul 06.00 dan 18.00.

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, dapat diketahui rata-rata temperatur udara luar sekitar 31,5°C dan rata-rata temperatur udara dalam sekitar 29,8°C, selisih yang tidak terlalu signifikan berkisar 1,7°C. Sesuai dengan standar SNI 03-6572-2001 hasil data pengukuran lapangan diatas batas ambang hangat nyaman dengan temperatur 25 C-27°C. Temperatur udara yang tinggi dipengaruhi oleh sebagian besar kota Pamekasan dekat dengan daerah pesisir dan tingginya radiasi matahari. Berdasarkan wawancara yang telah dilakukan kepada pengguna gedung, setiap pengunjung yang mempunyai panas kalor dalam tubuh yang berbeda merasakan panas dalam ruang. Pada saat acara berlangsung dari siang sampai sore panas dalam ruang temperatur udara ruang dalam sangat terasa. Rendahnya aliran udara yang masuk sehingga dibantu dengan alat pendingin ruangan konvensional dengan tujuan untuk proses sirkulasi udara dalam ruang tetap berjalan.

Dari hasil pengukuran, data menunjukkan bahwa temperatur udara dalam *Islamic Center* tidak merata keseluruh ruangan. Pada bagian sisi pinggir ruangan temperatur cenderung rendah dan nyaman, namun berbeda untuk di tengah ruang yang cenderung temperaturnya tinggi karena disebabkan oleh sirkulasi udara yang tidak dapat mencapai ke tengah ruang. Melihat aktivitas yang berlangsung cukup padat dan pengguna gedung yang banyak perlu adanya pengoptimalan dalam kenyamanan termal pada gedung *Islamic Center* Pamekasan. Oleh karena itu, dibutuhkan perbaikan sistem ventilasi pada gedung sehingga temperatur udara ruang dalam zona nyaman dan pengguna ruang merasa nyaman beraktivitas di dalam ruangan tanpa menggunakan alat bantu mekanik.

4.3.4 Simulasi Kondisi Termal

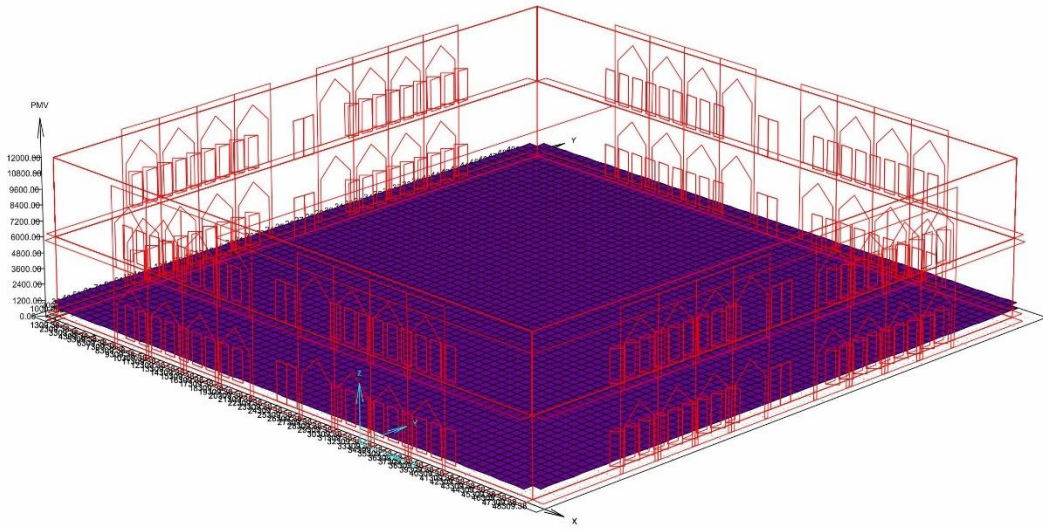
Simulasi kondisi termal eksisting memasukkan data yang disesuaikan pada saat melakukan pengukuran lapangan dan melalui dari beberapa sumber mengenai iklim kota Pamekasan di setiap bulannya. Kondisi termal dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kecepatan angin, kelembapan dan temperatur udara. Dari faktor tersebut diperoleh data dari hasil pengukuran lapangan. Dari hasil data tersebut diharapkan disimulasikan dengan kondisi eksisting sehingga memperoleh data yang valid, kesesuaian antara pengukuran kondisi eksisting dan simulasi kondisi termal.



Gambar 4.17 3D Modeling Simulasi Kondisi Termal

Kondisi termal yang disimulasikan terletak pada ruang tengah bangunan yang merupakan fungsi utama yaitu ruang *hall*. Luas ruang *hall* sekitar 5632 m² dapat menampung sekitar kurang lebih 800 orang. Kapasitas bisa berubah sesuai dengan aktivitas atau acara yang berlangsung. Dengan kapasitas tersebut tidak diimbangi dengan jumlah bukaan ventilasi yang mampu dapat mengurangi panas dalam ruang. Pada saat melakukan simulasi, kondisi ventilasi terbuka sebesar 45 derajat sesuai pada saat melakukan pengukuran lapangan. Tujuannya adalah untuk mengetahui perbedaaan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi yang selanjutnya akan dianalisis.

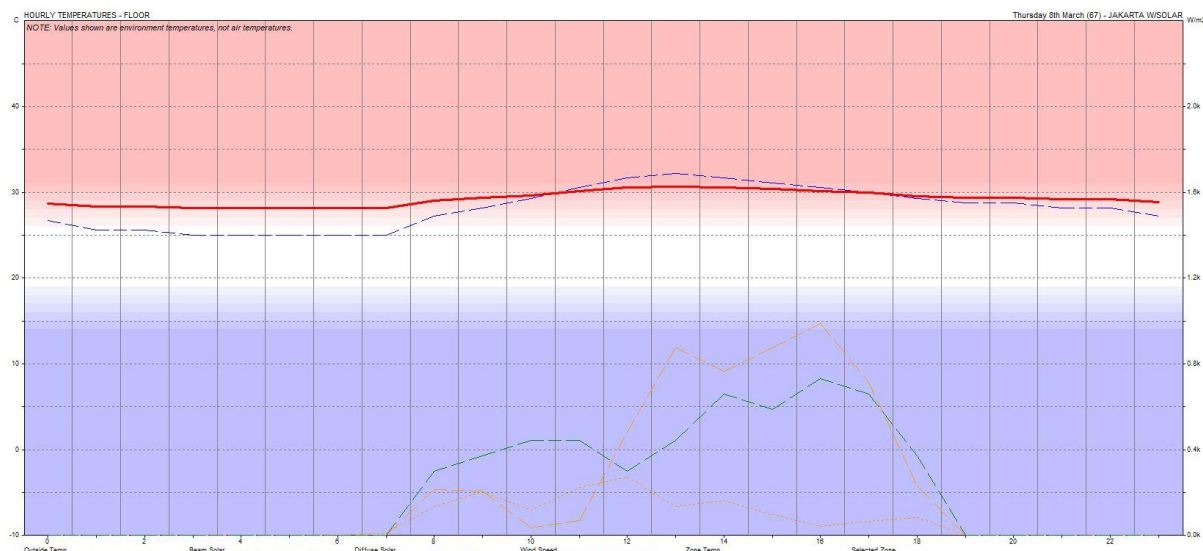
Thermal Comfort
Predicted Mean Vote
Contour Range: 25.00 - 29.00 PMV
In Steps of 0.10 PMV
© ECOTECT v5



Average Value: 26.21 PMV
Above Clip Threshold: 100.0%
Visible Nodes: 4092

Gambar 4.18 Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Berikut hasil data simulasi kondisi termal:



Gambar 4.19 Grafik Kondisi eksisting

HOURLY TEMPERATURES – Friday, 2nd March (67)

Zone: FLOOR

Avg. Temperature: 28.1 C (Ground 27.6 C)

Total Surface Area: 20272.000 m2 (176.0% flr area).

Total Exposed Area: 180.001 m2 (1.6% flr area).

Total North Window: 0.000 m2 (0.0% flr area).

Total Window Area: 180.001 m2 (1.6% flr area).

Total Conductance (AU): 918 W/°K

Total Admittance (AY): 110442 W/°K

Response Faktor: 20.31

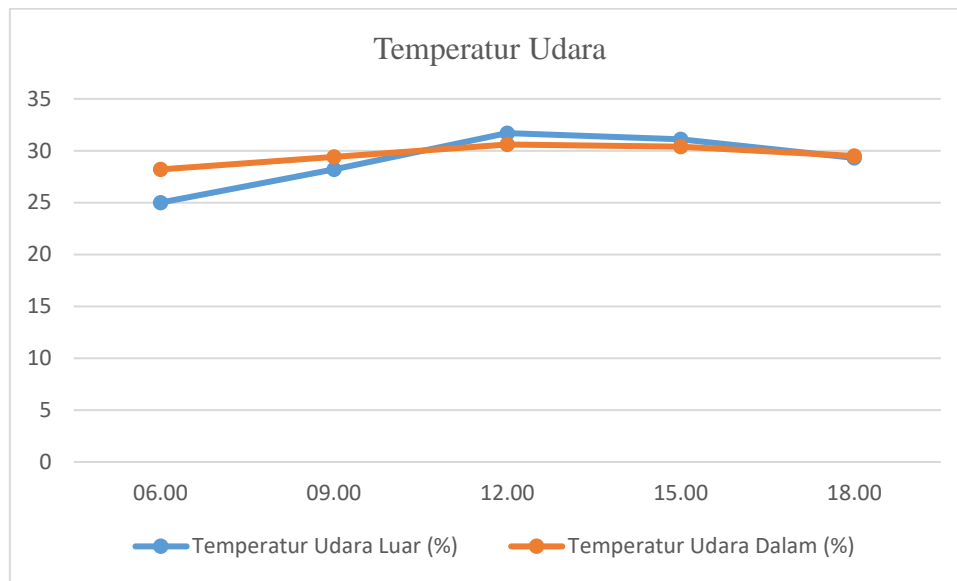
Tabel 4.8 Hasil Simulasi

HOUR	INSIDE (C)	OUTSIDE (C)	TEMP.DIF (C)
0	28.7	26.7	2.0
1	28.4	25.6	2.8
2	28.4	25.6	2.8
3	28.2	25.0	3.2
4	28.2	25.0	3.2
5	28.2	25.0	3.2
6	28.2	25.0	3.2
7	28.2	25.0	3.2
8	29.0	27.2	1.8

9	29.4	28.2	1.2
10	29.6	29.3	0.3
11	30.2	30.6	-0.4
12	30.6	31.7	-1.1
13	30.7	32.2	-1.5
14	30.6	31.7	-1.1
15	30.4	31.1	-0.7
16	30.2	30.6	-0.4
17	30.0	30.0	-0.0
18	29.5	29.3	0.2
19	29.4	28.8	0.6
20	29.4	28.8	0.6
21	29.2	28.2	1.0
22	29.2	28.2	1.0
23	28.9	27.2	1.7

Tabel 4.9 Tabel Hasil Simulasi Eksisting

Hasil Simulasi Jum'at, 02 Maret 2018					
Posisi	Waktu	Temperatur Udara Luar (C)	Temperatur Udara Dalam (C)	Kondisi	Keterangan
Terbuka 45	06.00	25	28,2	Di atas ambang kenyamanan termal (20°C- 26°C)	Tidak Sesuai SNI
	09.00	28,2	29,4		
	12.00	31,7	30,6		
	15.00	31,1	30,4		
	18.00	29,3	29,5		
Rata-rata		28,3	29,4		



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Temperatur Ruang Luar dan Dalam

Berdasarkan grafik di atas, hasil simulasi menunjukkan selisih temperatur setiap waktu tidak terlalu besar. Menunjukkan temperatur udara dalam pada saat pukul 12.00 – 15.00 lebih besar dari pada temperatur udara luar. Pada tersebut sama seperti pada saat melakukan pengukuran lapangan. Rata-rata temperatur udara luar sekitar 28,3°C dan rata-rata temperatur udara dalam sekitar 29,4°C. Sesuai dengan standar SNI 03-6572-2001 kenyamanan suatu ruang berkisar 20°C - 26°C, pada hasil simulasi tidak sesuai dengan SNI dan diharapkan mampu dapat menurunkan termal dalam ruang melalui pendekatan rekomendasi desain bukaan ventilasi pada gedung *Islamic Center*.

4.3.5 Perbandingan Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi Kondisi Termal Eksisting

Perbandingan hasil pengukuran lapangan dan simulasi merupakan hasil dari korelasi antara pengukuran lapangan dan simulasi termal. Dari perbandingan tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pada ruang dalam atau titik yang sudah dilakukan pengukuran dan simulasi. Berikut tabel hasil data perbandingan:

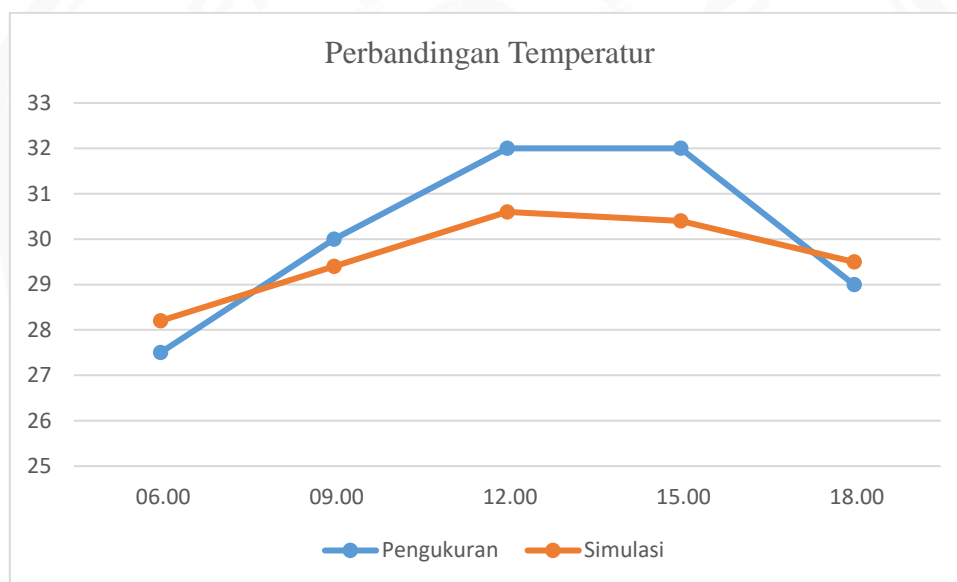
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Kondisi Lapangan dan Simulasi

Posisi	Waktu	Temperatur Udara dalam (°C)	
		Pengukuran	Simulasi
Ventilasi Terbuka 45 °	06.00	27,5	28,2
	09.00	30	29,4
	12.00	32	30,6
	15.00	32	30,4
	18.00	29	29,5
Rata-rata		29,8	29,4

Relatif Error : (Selisih Temperatur Udara) / (Simulasi Temperatur udara dalam) x 100%

$$: (0,4) / 29,4 \times 100\%$$

$$: 1,36 \%$$



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran dan Simulasi Temperatur Udara

A. Perbandingan 06.00

Pada saat pukul 06.00 wib hasil perbandingan antara pengukuran kondisi eksisting dan simulasi diperoleh hasil temperatur ruang luar 28°C dan 23,2°C, serta temperatur ruang dalam 27,5°C dan 37,1°C. Dari data tersebut terlihat pada saat pengukuran lapangan selisih temperatur suhu tidak terlalu besar hal ini mengidentifikasikan bahwa kondisi ruang *hall Islamic Center Pamekasan* “tidak sehat”, disebabkan kurangnya sirkulasi udara di dalam

ruangan dengan ditandai hampir tidak ada hembusan angin yang dirasakan dalam ruang, dan juga luasnya ruang yang menyebabkan sirkulasi udara tidak dapat mengalir sehingga temperatur udara dalam ruang naik. Dari data hasil simulasi menunjukkan hasil selisih yang signifikan, tingginya temperatur udara ruang dalam dari pada ruang luar sehingga memberi dampak besar terhadap ruang dalam dengan tingginya temperatur udara dalam ruang. pada kondisi tersebut tingkat kenyamanan termal dalam ruang menurun dan mengganggu segala aktivitas yang berlangsung.

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi termal ruang dalam *hall Islamic Center* disimpulkan bahwa kenyamanan termal pada saat jam 06.00 wib ruang *hall Islamic Center* berada diluar zona nyaman optimum yaitu 19-26 C. Hal ini disebabkan karena temperatur udara dan kelembapan udara yang cukup tinggi, dan tidak optimalnya sirkulasi udara di dalam ruangan.

B. Perbandingan 09.00

Pada saat pukul 09.00 wib hasil perbandingan antara pengukuran kondisi eksisting dan simulasi diperoleh hasil temperatur ruang luar 30°C dan 27,2°C, serta temperatur ruang dalam 30°C dan 37,4°C. Dari data tersebut terlihat pada saat pengukuran lapangan menunjukkan hasil yang sama yaitu temperatur ruang luar dan dalam 30°C, disebabkan oleh radiasi matahari yang mulai naik dan kurangnya sirkulasi udara menyebabkan temperatur ruang dalam menjadi panas. Dari data hasil simulasi menunjukkan temperatur udara dalam lebih tinggi dari pada temperatur udara luar, sama seperti pada saat pukul 06.00 perbedaan yang signifikan sehingga dampaknya besar terhadap kenyamanan pengguna ruang.

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi termal ruang dalam *hall Islamic Center* disimpulkan bahwa kenyamanan termal pada saat jam 09.00 wib ruang *hall Islamic Center* berada diluar zona nyaman optimum yaitu 19-26°C. Hal ini disebabkan karena radiasi matahari yang tinggi dan kurangnya sirkulasi udara dalam ruang sehingga menyebabkan temperatur udara dalam naik.

C. Perbandingan 12.00

Pada saat pukul 06.00 wib hasil perbandingan antara pengukuran kondisi eksisting dan simulasi diperoleh hasil temperatur ruang luar 35°C dan 32,2°C, serta temperatur ruang dalam 32°C dan 37,8°C. Dari data tersebut terlihat pada saat pengukuran lapangan temperatur udara yang naik diakibatkan oleh radiasi matahari dan kelembapan yang tinggi, hal ini

mengidentifikasi bahwa kondisi ruang *hall Islamic Center* tidak memenuhi standar kenyamanan termal ruang dalam. Dari data hasil simulasi menunjukkan temperatur udara lebih tinggi dari pada temperatur udara luar, hal ini mengidentifikasi bahwa tingginya temperatur yang jauh dari standar kenyamanan termal menyebabkan menurunnya tingkat kenyamanan dan dapat mengganggu aktifitas yang berlangsung.

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi termal ruang dalam *hall Islamic Center* disimpulkan bahwa kenyamanan termal pada saat jam 12.00 wib ruang *hall Islamic Center* berada diluar zona nyaman optimum yaitu 19-26°C. Hal ini disebabkan karena radiasi matahari yang tinggi dan kurangnya sirkulasi udara dalam ruang sehingga menyebabkan temperatur udara dalam naik. Dari faktor tersebut dapat mengganggu segala aktifitas yang berlangsung dan dapat menurunkan tingkat kunjung.

D. Perbandingan 15.00

Pada saat pukul 06.00 wib hasil perbandingan antara pengukuran kondisi eksisting dan simulasi diperoleh hasil temperatur ruang luar 33°C dan 31,1°C, serta temperatur ruang dalam 32,5°C dan 37,7°C. Dari data tersebut terlihat pada saat pengukuran lapangan sama seperti pada saat pukul 06.00 selisih temperatur suhu tidak besar dan dipengaruhi oleh radiasi matahari yang tinggi, kelembapan, dan rendahnya sirkulasi udara dalam ruang. Dari data hasil simulasi menunjukkan temperatur udara dalam lebih tinggi dari pada temperatur udara luar. Hal ini mengidentifikasi temperatur yang tinggi menyebabkan termal dalam ruang meningkatkan dan menurunkan tingkat kenyamanan dalam ruang.

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi termal ruang dalam *hall Islamic Center* disimpulkan bahwa kenyamanan termal pada saat jam 15.00 wib ruang *hall Islamic Center* berada dikuar zona nyaman optimum yaitu 19-26°C. Hal ini disebabkan kerana radiasi matahari yang tinggi dan kurangnya sirkulasi udara dalam ruang sehingga menyebabkan temperatur udara dalam naik. Dari faktor tersebut dapat mengganggu segala aktifitas yang berlangsung dan dapat menurunkan tingkat kunjung.

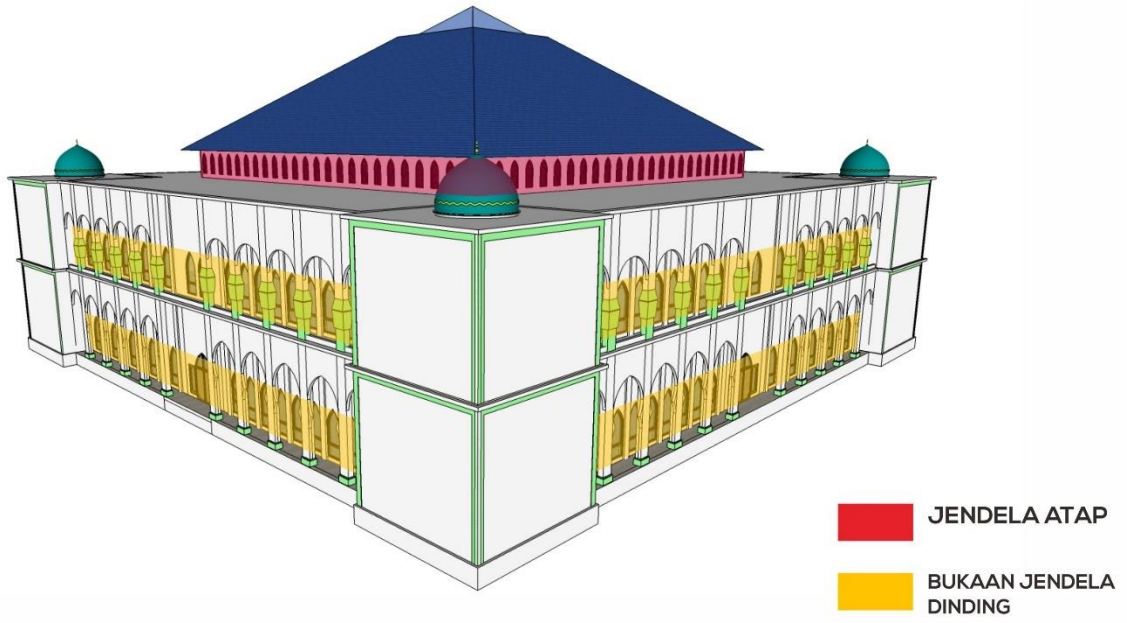
E. Perbandingan 18.00

Pada saat pukul 18.00 wib hasil perbandingan antara pengukuran kondisi eksisting dan simulasi diperoleh hasil temperatur ruang luar 28°C dan 28,8°C, serta temperatur ruang dalam 29°C dan 37,5°C.

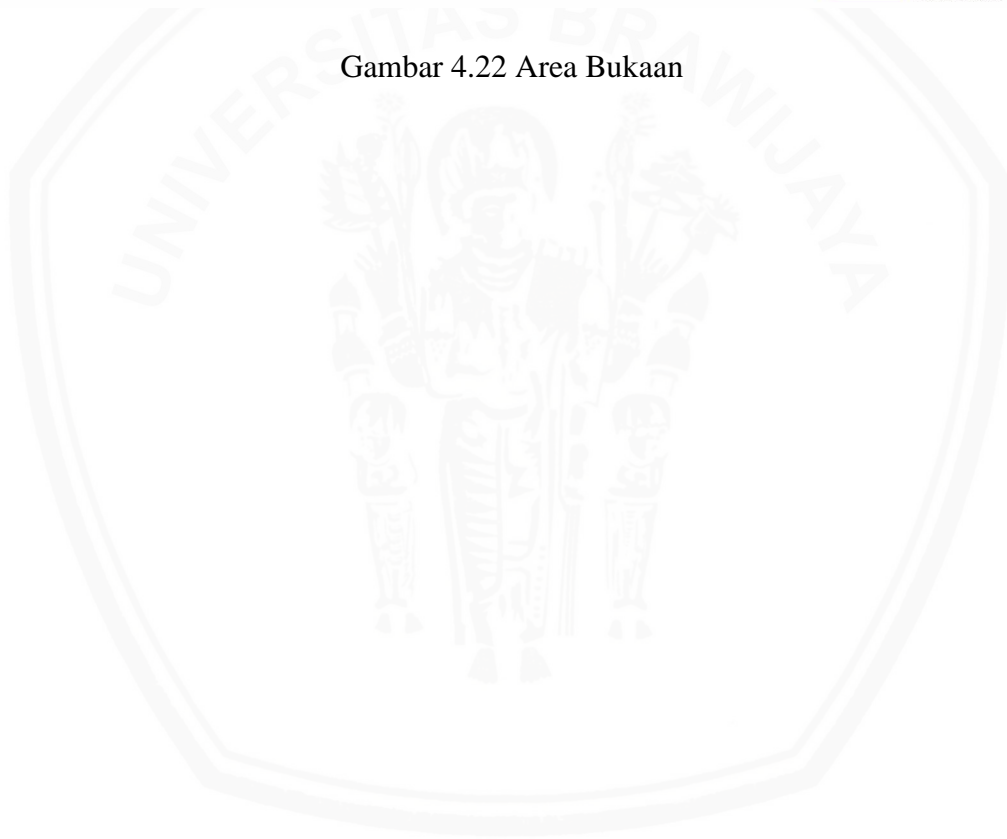
4.4 Analisis Alternatif Rekomendasi Desain Rekayasa Desain Ventilasi Alami

Setelah data berhasil dikumpulkan dan diolah seluruhnya, maka tahap selanjutnya adalah tahap rekomendasi desain. Pada tahap rekomendasi desain ini, peneliti menganalisa dari setiap elemen tentang kenyamanan termal dalam ruang yang dijadikan riset pada penelitian ini. Dilakukan untuk mengetahui apakah kenyamanan termal dipertahankan atau ada rekomendasi desain dengan tujuan meningkatkan kenyamanan termal dalam ruang. Rekomendasi desain diharapkan mampu menjawab semua permasalahan tentang kenyamanan termal ruang dalam, melalui beberapa rekomendasi desain bukaan ventilasi di dinding dan jendela atap dapat menurunkan termal dalam ruang. Pada bukaan ventilasi terdapat dua rekomendasi desain, yaitu rekomendasi desain bukaan jendela pada dinding dan rekomendasi desain bukaan jendela pada atap bangunan. Rekomendasi desain bukaan dinding mengalami perubahan desain dari sebelumnya, dengan bukaan *pivot* dan besar derajat bukaan terbuka diharapkan mampu dapat meningkatkan aliran angin masuk ke dalam ruang. Pemilihan jendela *pivot* pada dasarnya mempertimbangkan pergerakan aliran angin sekitar objek studi, besarnya aliran angin yang masuk tergantung pada elemen bukaan yang terbuka. Denah bangunan yang simetris menyebabkan perbedaan aliran udara yang masuk, dengan memaksimalkan arah bukaan diharapkan nantinya meningkatkan aliran udara yang masuk dan dapat menurunkan temperatur udara dalam ruang. Pada rekomendasi jendela atap, juga mengalami perubahan desain. Jendela mati yang diterapkan tidak dapat memecahkan permasalahan yang ada. Udara yang datang tidak dikeluarkan sehingga temperatur udara dalam ruang menjadi panas, pada desain rekomendasi jendela atap, jendela *jalousi* menjadi pemilihan yang tepat untuk diterapkan ke objek studi. Jendela *jalousi* dengan perbedaan arah bukaan diharapkan mampu dapat mengeluarkan udara panas dalam ruang dan dapat memaksimalkan proses ventilasi alami (*stack effect*).

Dari kedua rekomendasi desain tersebut, menganalisis dari setiap elemen dan disimulasikan menggunakan *Ecotect Analysis 2011*. Hasil akhir dari analisis tersebut diharapkan mampu menurunkan temperatur dalam ruang dan meningkatkan kenyamanan termal dalam ruang.

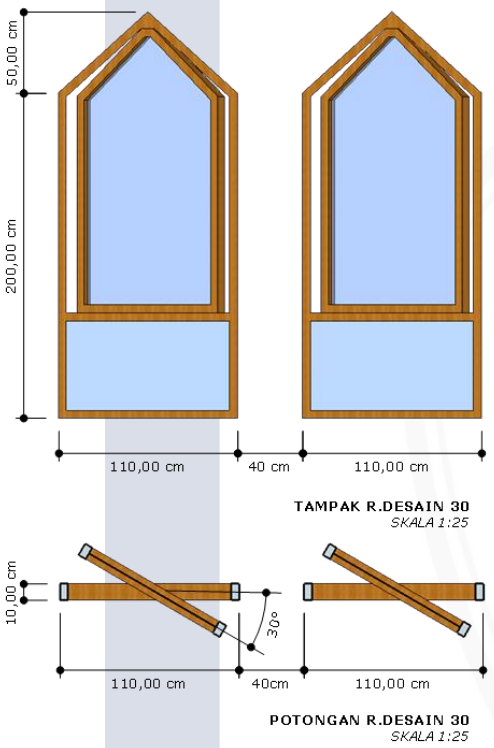
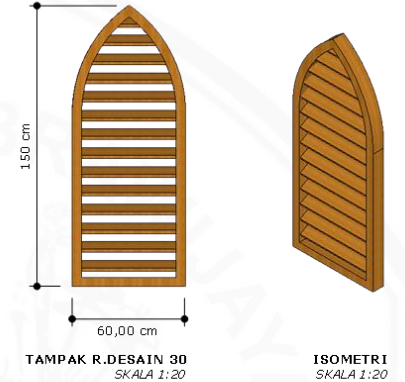


Gambar 4.22 Area Bukan

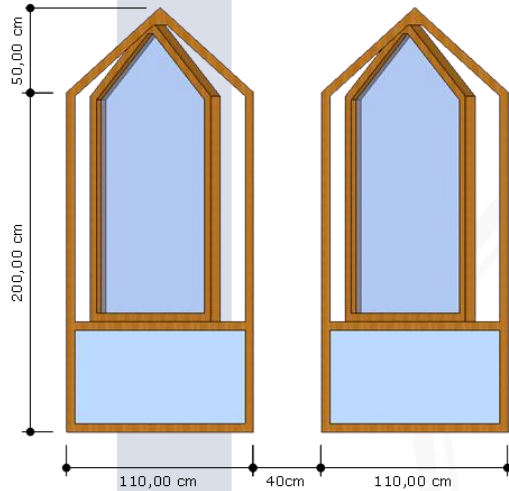




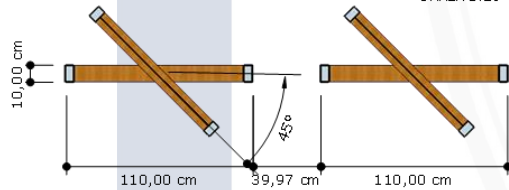
Tabel 4.11 Rekomendasi Desain Bukaannya

Jenis bukaan dinding		Jenis bukaan atap	
<p>Tipe 1</p>		<p>Tipe 1</p>	
 <p>TAMPAK R.DESAIN 30 SKALA 1:25</p> <p>POTONGAN R.DESAIN 30 SKALA 1:25</p>	<p>Pada desain bukaan jendela ini, bukaan jendela terbuka sebesar 30 derajat. Kondisi seperti ini diharapkan mampu mengoptimalkan udara yang masuk dari sudut arah yang berbeda.</p>	 <p>TAMPAK R.DESAIN 30 SKALA 1:20</p> <p>ISOMETRI SKALA 1:20</p>	<p>Pada jenis desain bukaan jendela ini, bukaan jalousi terbuka sebesar 30 derajat. Kondisi seperti ini</p>

Lanjutan Tabel 4.13

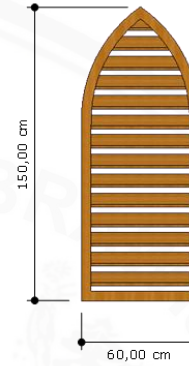


TAMPAK R.DESAIN 45
SKALA 1:25



POTONGAN R.DESAIN 45
SKALA 1:25

Pada desain bukaan jendela ini, bukaan jendela terbuka sebesar 45 derajat. Kondisi seperti ini diharapkan mampu mengoptimalkan udara yang masuk dari sudut arah yang berbeda.



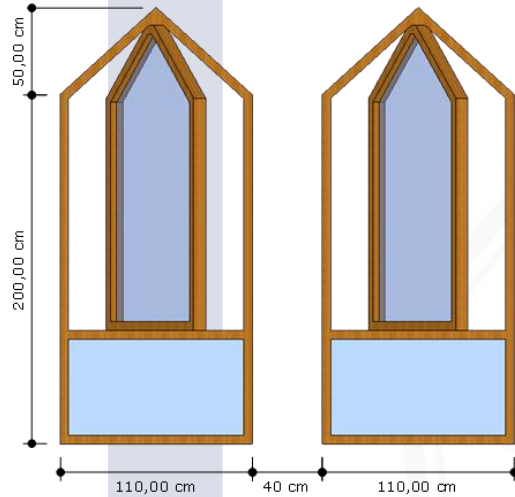
TAMPAK R.DESAIN 45
SKALA 1:20



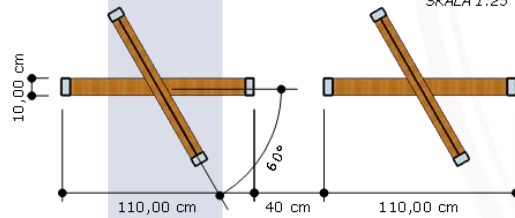
ISOMETRI
SKALA 1:20

Pada jenis desain bukaan jendela ini, bukaan jalousi terbuka sebesar 45 derajat. Kondisi seperti ini

Lanjutan Tabel 4.13

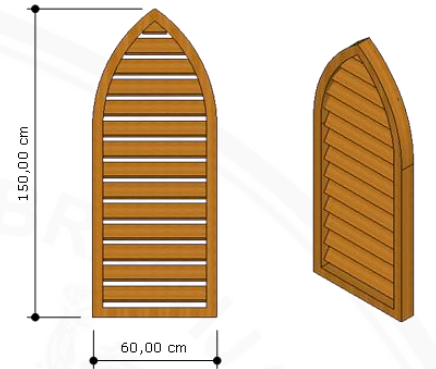


TAMPAK R.DESAIN 60
SKALA 1:25



POTONGAN R.DESAIN 60
SKALA 1:25

Pada desain bukaan jendela ini, bukaan jendela terbuka sebesar 60 derajat. Kondisi seperti ini diharapkan mampu mengoptimalkan udara yang masuk dari sudut arah yang berbeda.

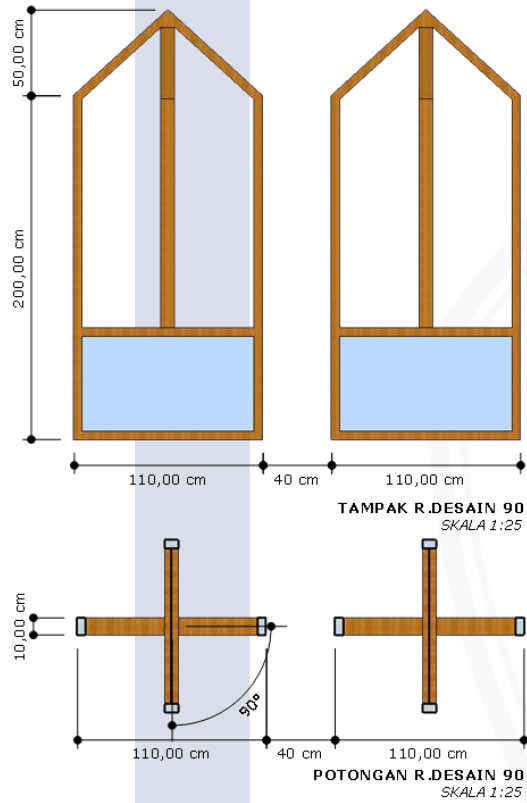


TAMPAK R.DESAIN 60
SKALA 1:20

ISOMETRI
SKALA 1:20

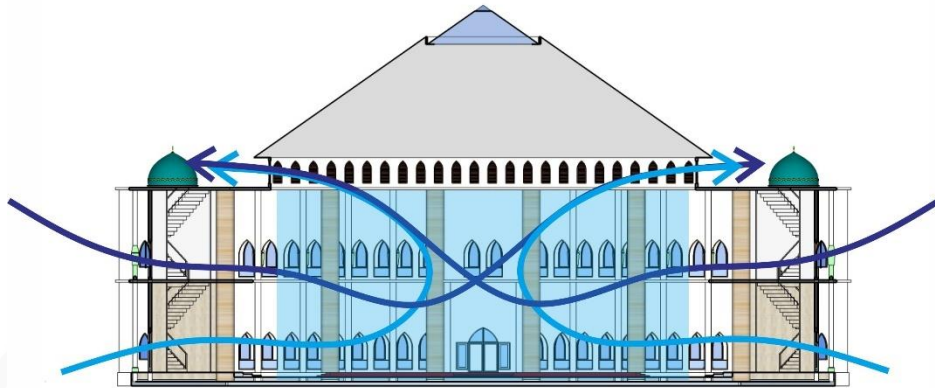
Pada jenis desain bukaan jendela ini, bukaan jalousi terbuka sebesar 60 derajat. Kondisi seperti ini

Lanjutan Tabel 4.13



Pada desain bukaan jendela ini, bukaan jendela terbuka sebesar 90 derajat. Kondisi seperti ini diharapkan mampu mengoptimalkan udara yang masuk dari sudut arah yang berbeda.

Pada dasarnya penerapan inlet dan outlet pada gedung *Islamic Center* ini mengacu pada prinsip *stack effect*. Inlet yang terletak di dinding yang merupakan bukaan ventilasi utama memasukkan udara berupa jendela pivot dengan beberapa arah buka yang akan mengalirkan udara dingin dari luar ke dalam bangunan. Sedangkan outlet berupa bukaan jalousi yang terletak pada bukaan ventilasi atap yang akan mengeluarkan panas dari dalam ke luar bangunan sehingga pendinginan ruang dapat tercapai.



Gambar 4.23 Penerapan *Stack Effect* Pada Bangunan

Tabel 4.12 Perbandingan Kondisi eksisting dan Rekomendasi desain

Elemen	Kondisi Eksisting	Rekomendasi
Ventilasi Atap	- Kondisi bukaan ventilasi yaitu ventilasi mati (<i>fixed window</i>)	- Re-desain bukaan ventilasi menjadi bukaan atap jalousi - Bukaan jalousi mengalami perubahan volume bukaan
Ventilasi Dinding	- Bukaan ventilasi terbuka 45 derajat - Sistem ventilasi yaitu <i>casement window</i>	- Bukaan ventilasi mengalami perubahan volume bukaan - Sistem ventilasi yaitu <i>pivot window</i>

Penerapan elemen bukaan atap dan dinding dilakukan pada keempat sisi bangunan. Selain karena bentuk bangunan yang simetris, juga mempertimbangkan aktivitas yang terjadi pada gedung *Islamic Center*. Pada umumnya aktifitas yang dilakukan pengguna pada gedung *Islamic Center* cenderung dinamis (berpindah) sehingga dibutuhkan penerapan pada setiap sisinya untuk memenuhi pengguna akan pendinginan ruang.

4.4.1 Vegetasi

Pada kondisi eksisting keberadaan vegetasi pada lokasi tapak kurang ideal. Vegetasi di dominasi oleh pohon palm dan vegetasi semak lainnya. Kurangnya vegetasi menyebabkan aliran udara yang masuk tidak dapat disaring sehingga aliran udara panas tetap masuk ke dalam bangunan. Dalam upaya menurunkan temperatur ruang dalam maka dibutuhkan beberapa penambahan vegetasi yang dapat memfiltrasi udara panas sebelum masuk ke dalam bangunan. Jenis vegetasi yang direkomendasikan yaitu memiliki dahan yang lebat, rekomendasi tersebut sangat ideal apabila diterapkan pada objek studi. Dengan temperatur udara yang tinggi dapat diturunkan melalui pergerakan aliran udara yang melewati vegetasi tersebut. Berikut rekomendasi penambahan vegetasi pada lokasi objek studi:



Gambar 4.24 Kelapa Sawit

Sumber: <http://www.agrowindo.com/peluang-usaha-budidaya-kelapa-sawit-dan-analisa-usahanya.html>



Gambar 4.25 Ketapang Kencana

Sumber: <http://bibitbunga.com/tanaman-ketapang-kencana-madagascar>



Gambar 4.26 Tanaman Perdu

Sumber: <https://pixabay.com/en/leaves-macro-nature-plant-shrub-1834877/>

A. Posisi dan Peletakan

Vegetasi tersebar ke setiap sisi bangunan terlihat pada gambar berikut:



Gambar 4.27 Rekomendasi Desain Peletakan Vegetasi

Posisi dan peletakan vegetasi tersebar pada seluruh sisi bangunan, tujuannya adalah selain berguna sebagai area teduh/hijau juga bermanfaat sebagai penyaring udara/penyejukan evaporatif. Jenis vegetasi dengan volume yang besar dan kerapatan daun yang tinggi mampu dapat menyaring udara dengan baik, kerapatan daun berhubungan dengan luas bidang penahan aliran udara panas yang datang dan juga sebagai penahan rambatan suara. Dalam penanaman vegetasi harus merata sehingga kemampuannya dalam penyejukan pasif.

B. Estetika



Gambar 4.28 Kondisi Eksisting Vegetasi



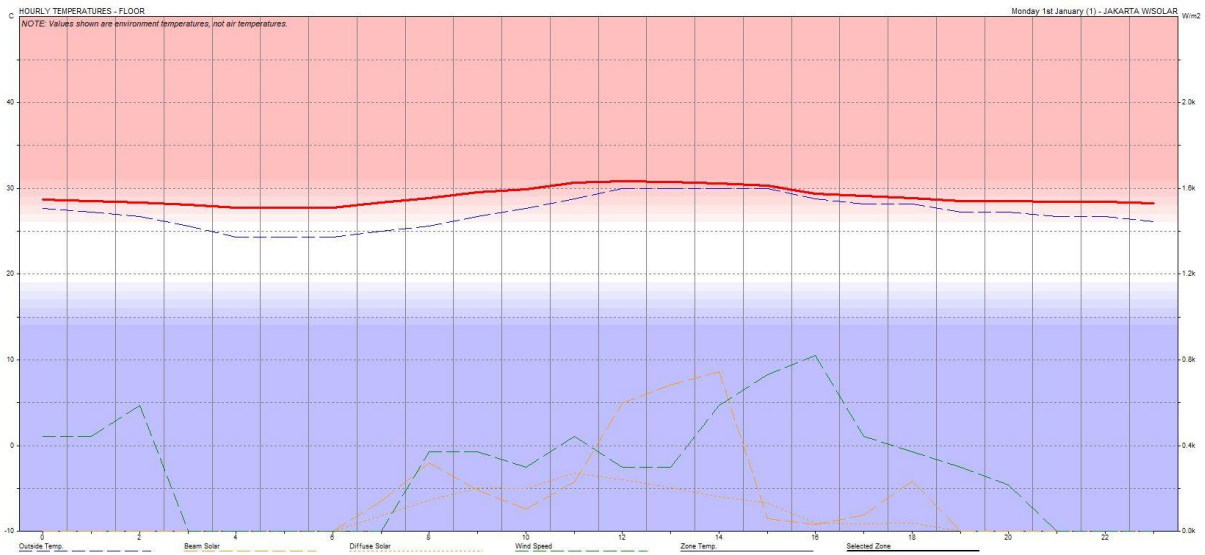
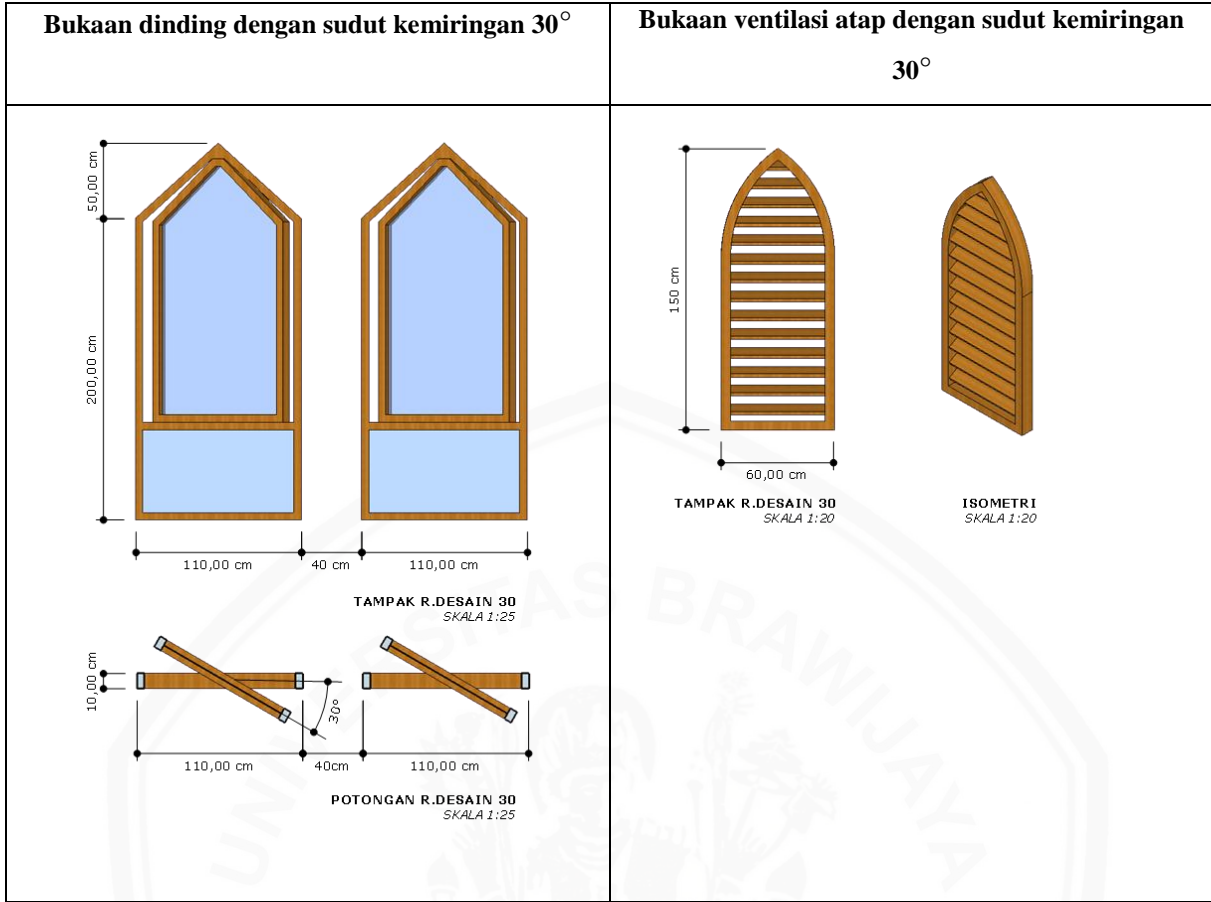
Gambar 4.29 Perpektif Peletakan Vegetasi

4.5 Analisis Hasil Simulasi Rekomendasi Desain

4.5.1 Skenario 1

Pada skenario 1(satu) terdapat beberapa perubahan arah buka bukaan dengan sudut kemiringan bukaan ventilasi dinding sebesar 30 derajat dan dikombinasikan dengan bukaan atap dengan kemiringan 30°, 45°, 60°, dan 90°. Untuk bukaan ventilasi dinding dan ventilasi atap diterapkan pada seluruh sisi bangunan. Dari hasil kombinasi tersebut diharapkan mampu mengetahui temperatur udara dari setiap perbedaan sudut bukaan.

Tabel 4.13 Skenario 1A



Gambar 4.30 Grafik skenario 1A

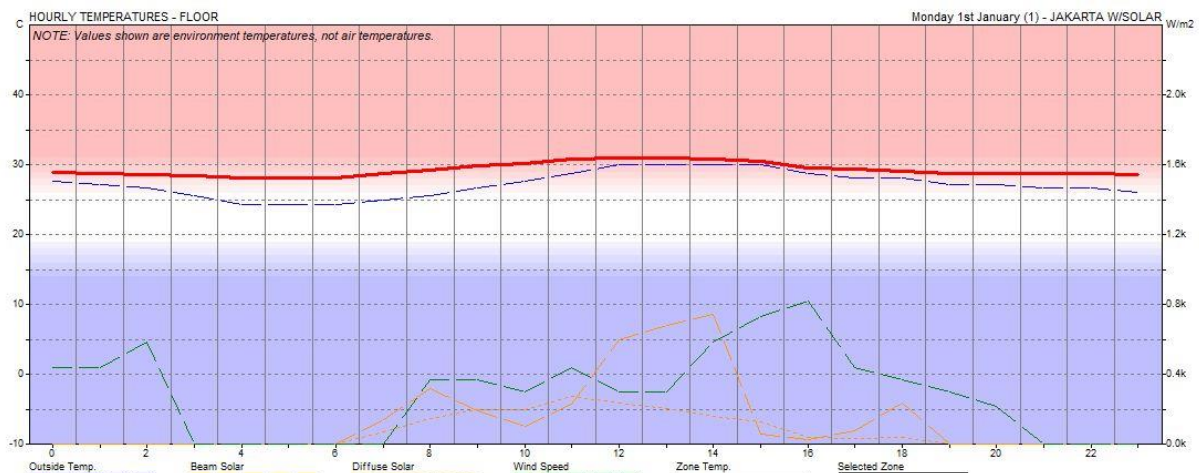
Tabel 4.14 Hasil Simulasi Skenario 1A

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	27.7
09.00	26.7	29.6
12.00	30	30.9
15.00	30	30.3
18.00	28.2	28.9
Rata-rata	27,15	27,9

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (30°) dan bukaan atap (30°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,9^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,9^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,9^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,9^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.15 Skenario 1B

Bukaan dinding dengan sudut kemiringan 30°	Bukaan ventilasi atap dengan sudut kemiringan 45°
<p>TAMPAK R.DESAIN 30 SKALA 1:25</p> <p>POTONGAN R.DESAIN 30 SKALA 1:25</p>	<p>TAMPAK R.DESAIN 45 SKALA 1:20</p> <p>ISOMETRI SKALA 1:20</p>



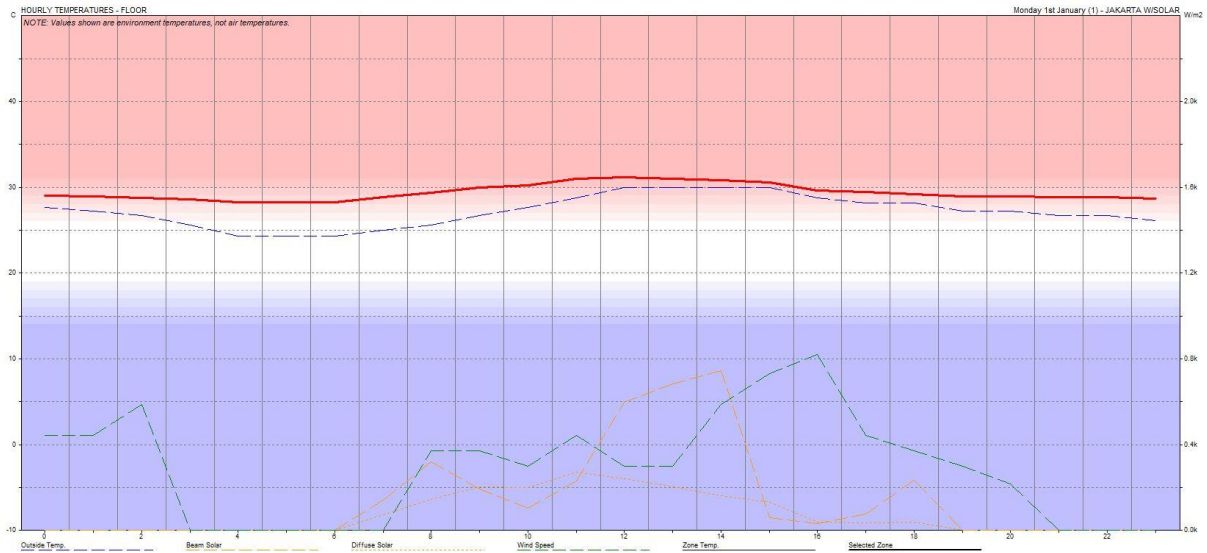
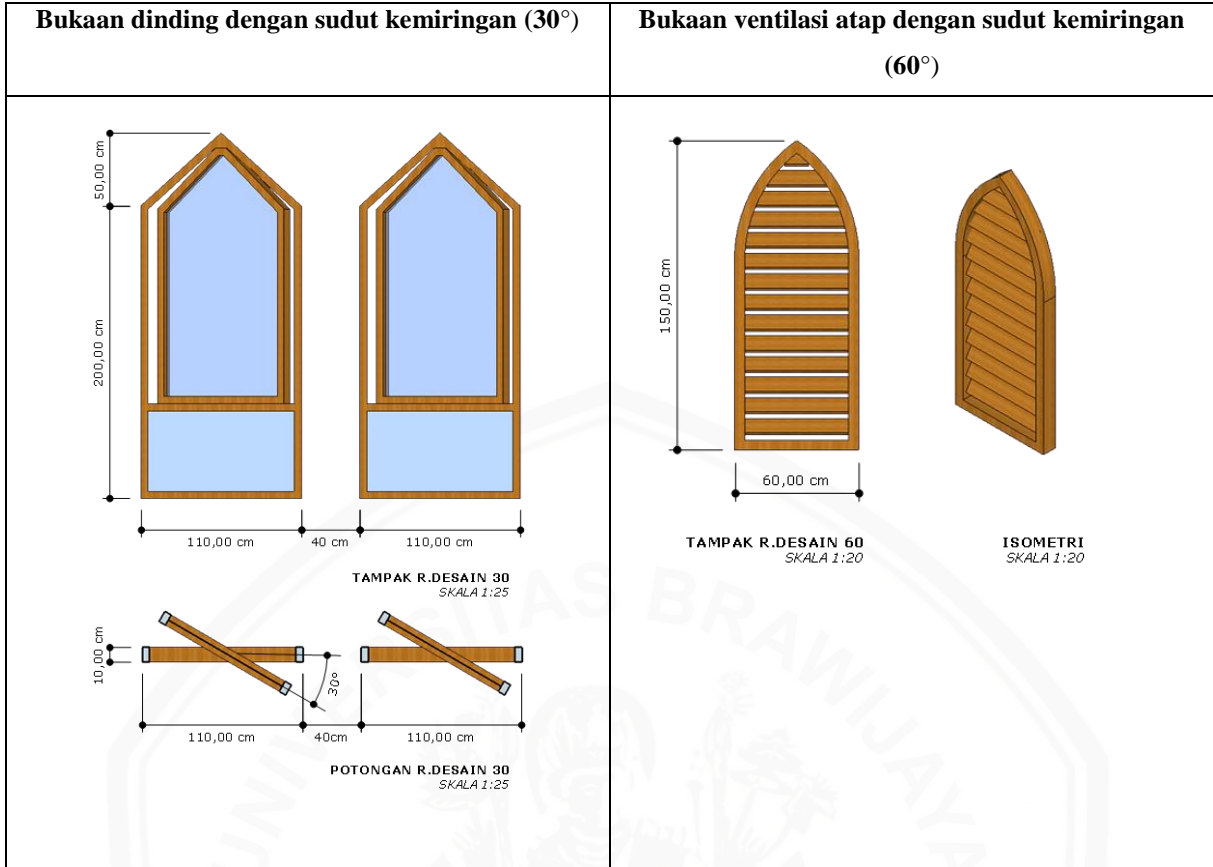
Gambar 4.31 Grafik skenario 2B

Tabel 4.16 Hasil Simulasi Skenario 1B

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	27.8
09.00	26.7	29.6
12.00	30	30.8
15.00	30	30.3
18.00	28.2	28.9
Rata-rata	27.15	27.9

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (30°) dan bukaan atap (45°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,9^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $0,9^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $0,9^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,9^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.17 Skenario 1C



Gambar 4.32 Grafik skenario 1C

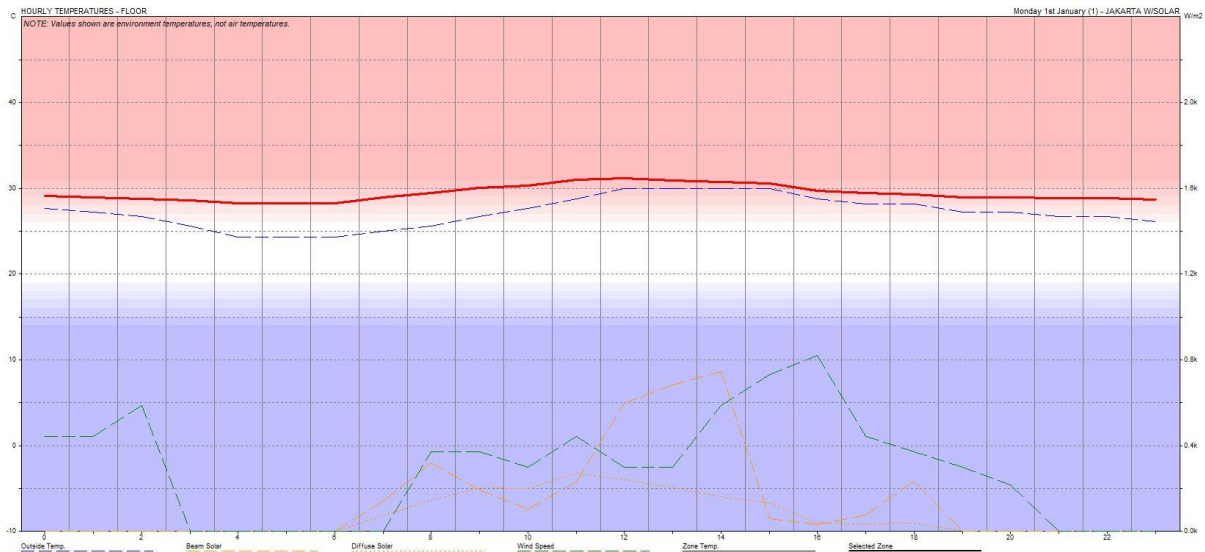
Tabel 4.18 Hasil Simulasi Skenario 1C

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	28.3
09.00	26.7	30
12.00	30	31.2
15.00	30	30.6
18.00	28.2	29.2
Rata-rata	27.15	27.6

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (30°) dan bukaan atap (60°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,6^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $2,2^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $2,2^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,6^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.19 Skenario 1D

Bukaan dinding dengan sudut kemiringan (30°)	Bukaan ventilasi atap dengan sudut kemiringan ($^\wedge^\circ$)
<p>TAMPAK R.DESAIN 30 SKALA 1:25</p> <p>POTONGAN R.DESAIN 30 SKALA 1:25</p>	



Gambar 4.33 Grafik skenario 1D

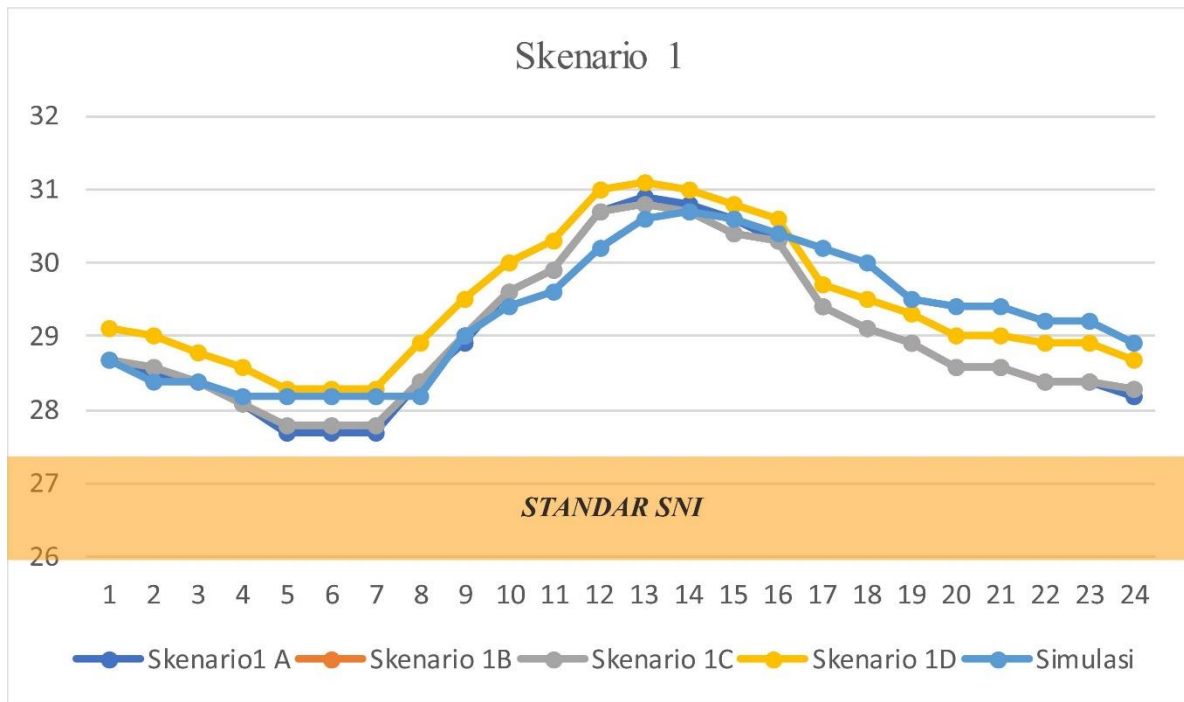
Tabel 4.20 Hasil simulasi skenario 1D

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	28.3
09.00	26.7	30
12.00	30	31.2
15.00	30	30.6
18.00	28.2	29.2
Rata-rata	27.5	27,6

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (30) dan bukaan atap (\wedge°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,6^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $2,2^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $2,2^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $29,75^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Berdasarkan keempat kombinasi antara bukaan atap dan bukaan dinding, kombinasi yang paling baik adalah antara bukaan atap dengan sudut kemiringan 30 serta bukaan dinding

dengan kemiringan sudut 30. Kombinasi tersebut dapat menurunkan temperatur sebesar 1,9°C dari 29,8°C menjadi 27,9°C diambil dari hasil simulasi dengan 5(lima) sample waktu, jika dilihat dalam grafik hasil menunjukkan keempat kombinasi tidak jauh berbeda. Temperatur menunjukkan nilai yang stabil pada jam 05.00-07.00 WIB. Kemudian mengalami kenaikan pada jam 07.00-12.00 WIB. dan mengalami penurunan pada jam 14.00-18.00 WIB. Sedangkan temperatur paling tertinggi terjadi pada jam 13.00 WIB mencapai 30,9°C. Berikut merupakan grafik perbandingan ke empat kombinasi ang sudah disimulasikan.

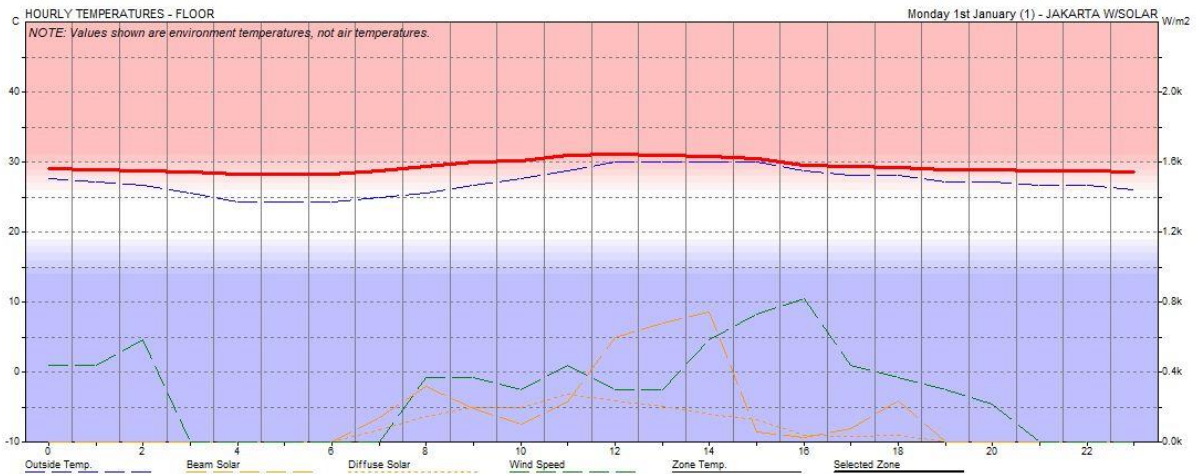
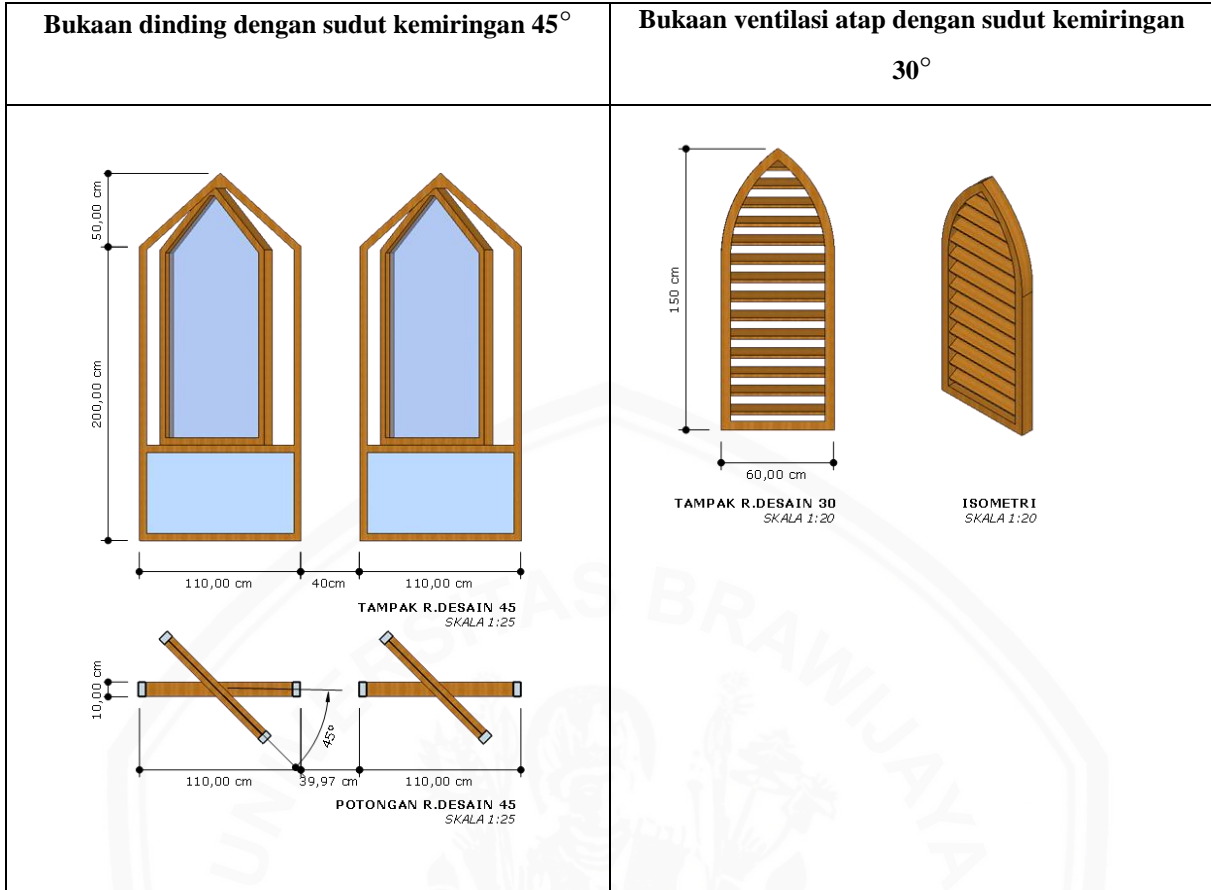


Gambar 4.34 Grafik hasil simulasi skenario 1

4.5.2 Skenario 2

Pada skenario 1(satu) terdapat beberapa perubahan arah buka bukaan dengan sudut kemiringan bukaan ventilasi dinding sebesar 30 derajat dan dikombinasikan dengan bukaan atap dengan kemiringan 30°, 45°, 60°, dan ^°. Untuk bukaan ventilasi dinding dan ventilasi atap diterapkan pada seluruh sisi bangunan. Dari hasil kombinasi tersebut diharapkan mampu mengetahui temperatur udara dari setiap perbedaan sudut bukaan.

Tabel 4.21 Skenario 2A



Gambar 4.35 Grafik skenario 2A

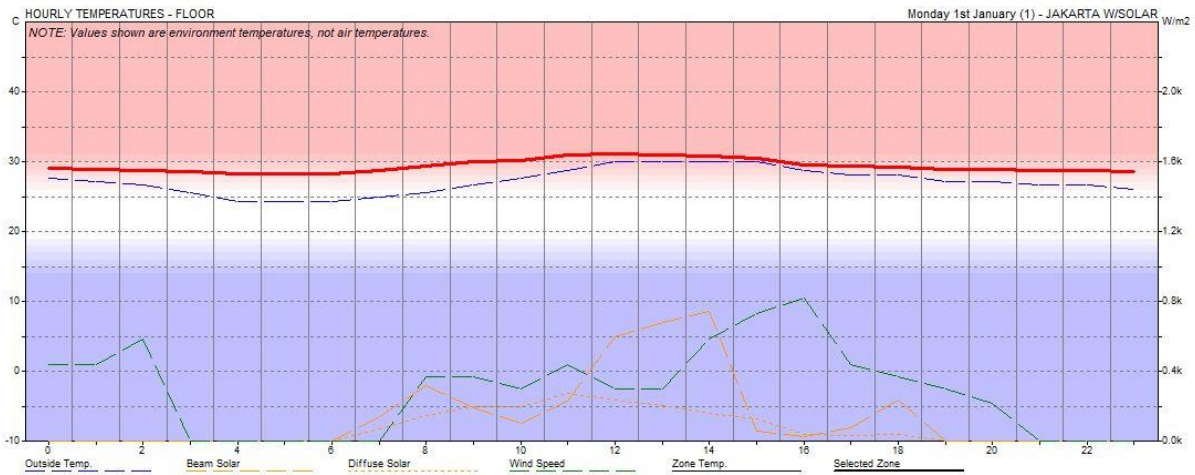
Tabel 4.22 Hasil simulasi skenario 2A

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	28.3
09.00	26.7	30
12.00	30	31.2
15.00	30	30.6
18.00	28.2	29.2
Rata-rata	27.5	27.9

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (45) dan bukaan atap (45) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah 29,8°C. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar 27,9°C, dengan selisih temperatur sebesar 1,9°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar 1,9°C dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar 27,9°C masih tergolong diatas ambang batas nyaman (>27,1°C).

Tabel 4.23 Skenario 2B

Bukaan dinding dengan sudut kemiringan (45°)	Bukaan ventilasi atap dengan sudut kemiringan (45°)
<p>TAMPAK R.DESAIN 45 SKALA 1:25</p> <p>POTONGAN R.DESAIN 45 SKALA 1:25</p>	<p>TAMPAK R.DESAIN 45 SKALA 1:20</p> <p>ISOMETRI SKALA 1:20</p>



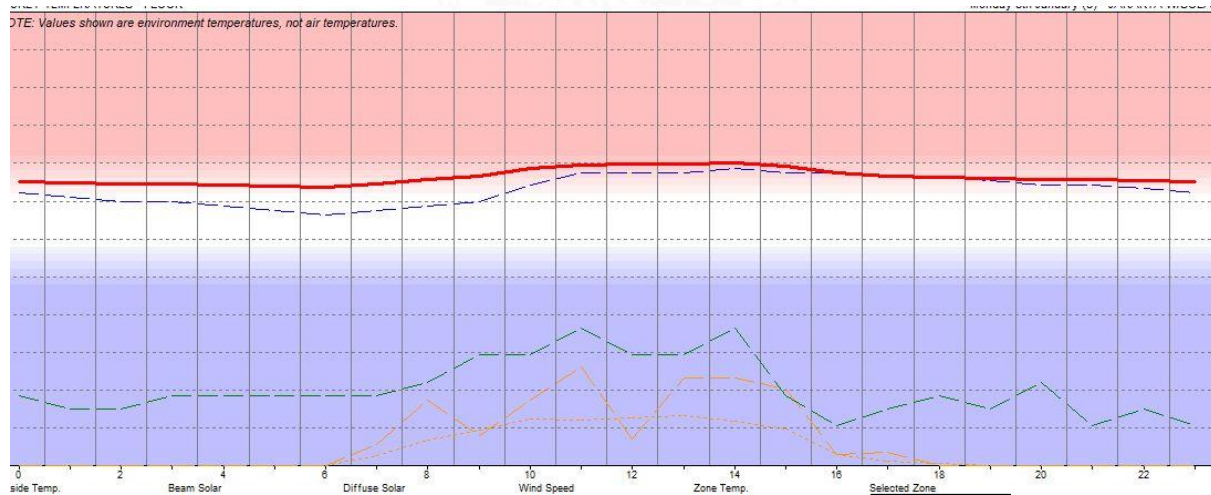
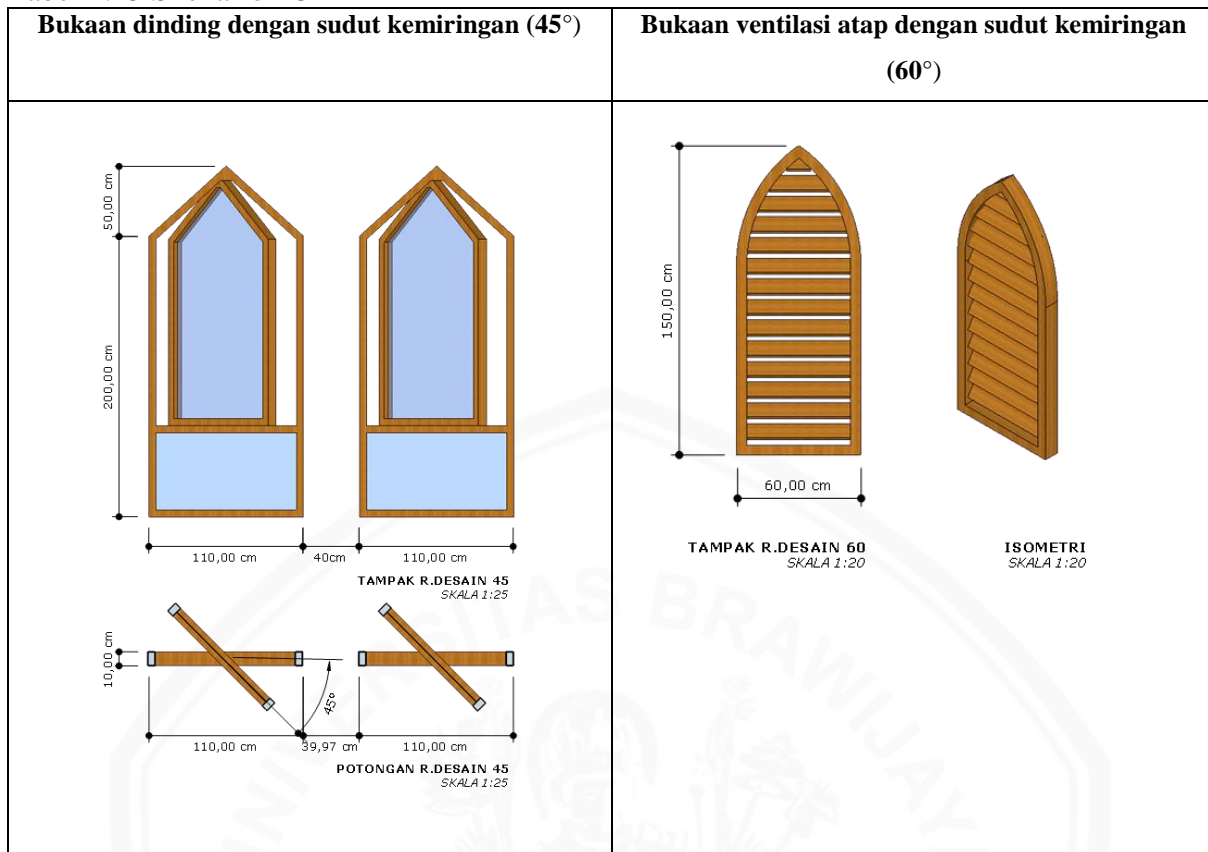
Gambar 4.36 Grafik skenario 2B

Tabel 4.24 Hasil Simulasi Skenario 2B

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	28.5
09.00	26.7	30.3
12.00	30	31.4
15.00	30	30.8
18.00	28.2	29.4
Rata-rata	27.15	27,9

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (45°) dan bukaan atap (45°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,9^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,9^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,9^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,9^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.25 Skenario 2C



Gambar 4.37 Grafik skenario 2C

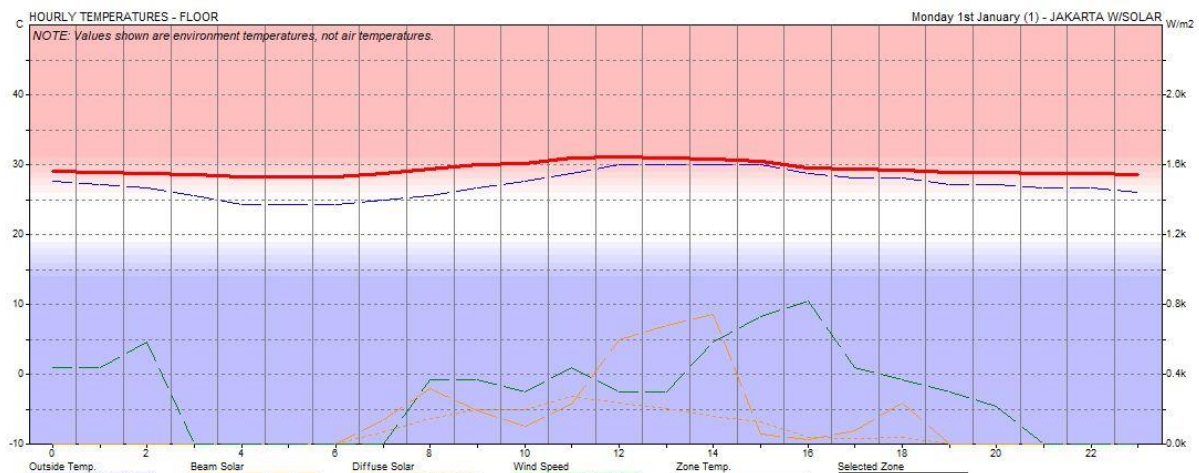
Tabel 4.26 Hasil simulasi skenario 2C

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	28.3
09.00	26.7	30
12.00	30	31.2
15.00	30	30.6
18.00	28.2	29.2
Rata-rata	27.5	27,9

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (45°) dan bukaan atap (60°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,9^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,9^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,9^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,9^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.27 Skenario 2D

Bukaan dinding dengan sudut kemiringan (45°)	Bukaan ventilasi atap dengan sudut kemiringan (60°)
<p>TAMPAK R.DESAIN 45 SKALA 1:25</p> <p>POTONGAN R.DESAIN 45 SKALA 1:25</p>	



Gambar 4.38 Grafik skenario 2D

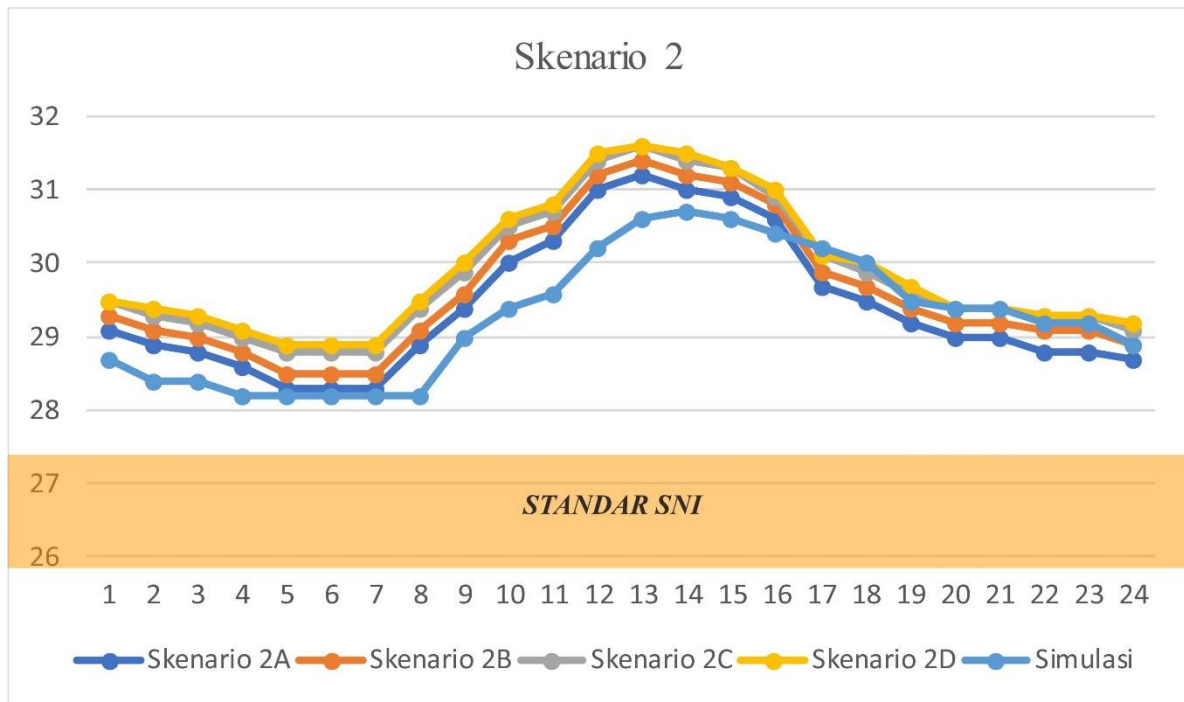
Tabel 4.28 Hasil simulasi skenario 2D

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	28.9
09.00	26.7	30.6
12.00	30	31.6
15.00	30	31
18.00	28.2	29.7
Rata-rata	27.15	27,9

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (45°) dan bukaan atap (0°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,9^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,9^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,9^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,9^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Berdasarkan keempat kombinasi antara ukaan atap dan bukaan dinding, kombinasi yang paling baik adalah antara bukaan atap dengan sudut kemiringan 45 serta bukaan dinding dengan kemiringan sudut 30 . Kombinasi tersebut dapat menurunkan temperatur sebesar $1,9^\circ\text{C}$

dari 29,8°C menjadi 27,9°C diambil dari hasil simulasi dengan 5(lima) sample waktu, jika dilihat dalam grafik hasil menunjukkan keempat kombinasi tidak jauh berbeda. Temperatur menunjukkan nilai yang stabil pada jam 05.00 – 08.00 WIB. Kemudian mengalami kenaikan pada jam 08.00 – 13.00 WIB. dan mengalami penurunan pada jam 13.00 – 24.00 WIB. Sedangkan temperatur paling tertinggi terjadi pada jam 12.00 WIB mencapai 31,6°C. Berikut merupakan grafik perbandingan ke empat kombinasi yang sudah disimulasikan.

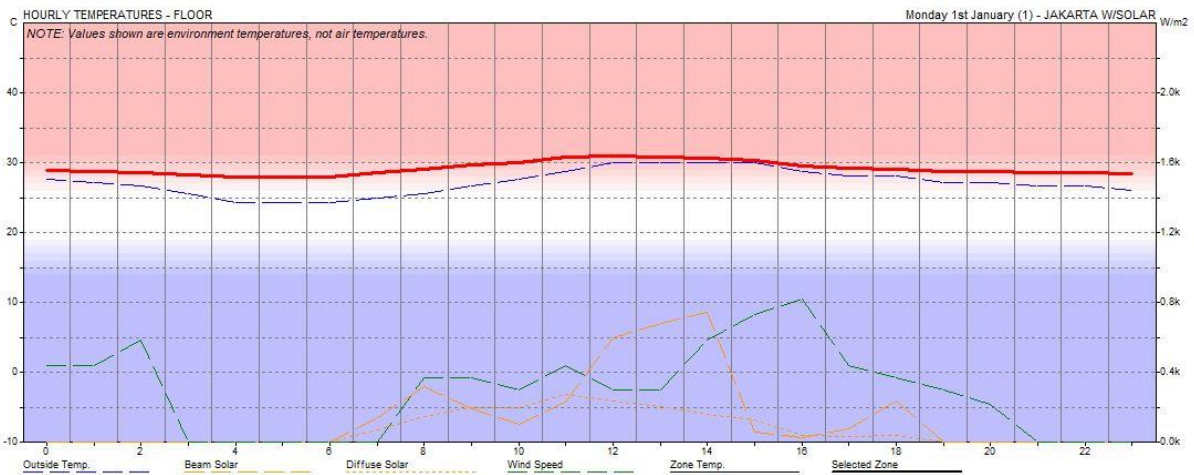
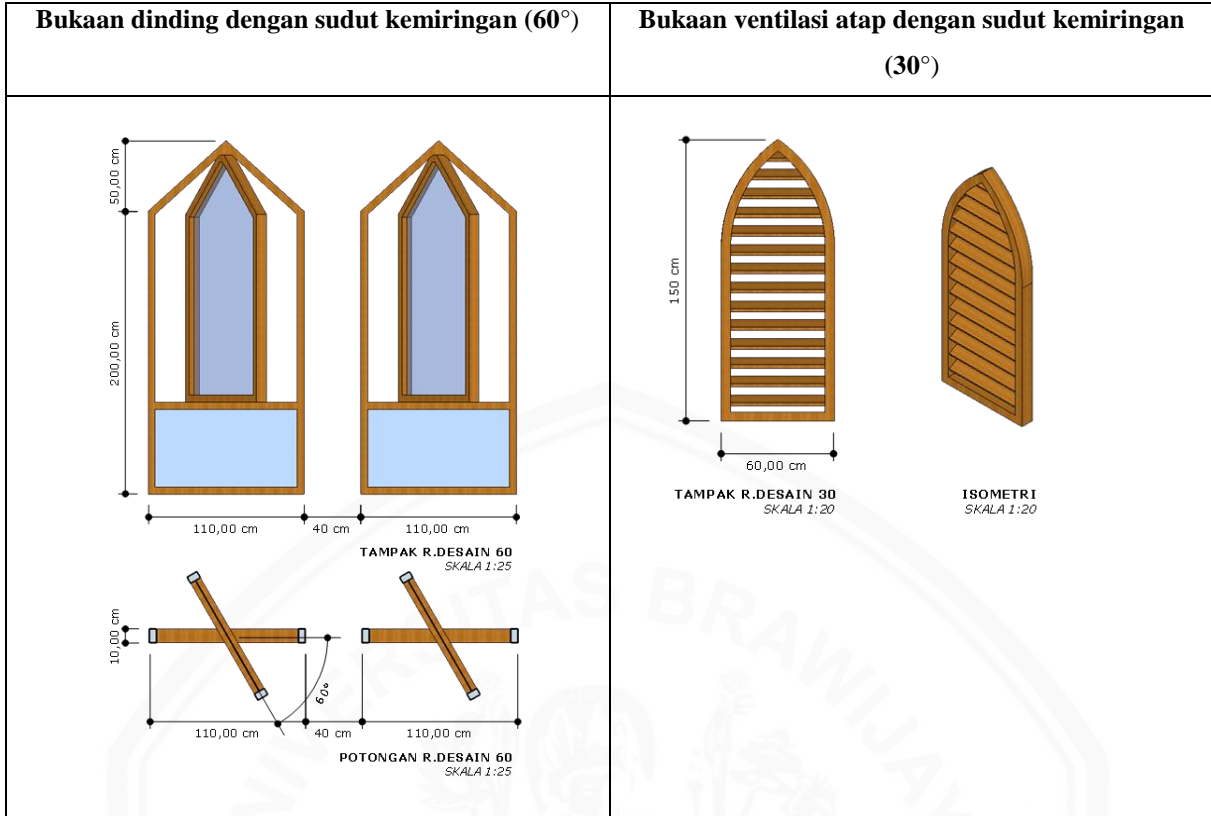


Gambar 4.39 Grafik hasil simulasi skenario 2

4.5.3 Skenario 3

Pada skenario 1(satu) terdapat beberapa perubahan arah buka bukaan dengan sudut kemiringan bukaan ventilasi dinding sebesar 30 derajat dan dikombinasikan dengan bukaan atap dengan kemiringan 30°, 45°, 60°, dan ^°. Untuk bukaan ventilasi dinding dan ventilasi atap diterapkan pada seluruh sisi bangunan. dari hasil kombinasi tersebut diharapkan mampu mengetahui temperatur udara dari setiap perbedaan sudut bukaan.

Tabel 4.29 Skenario 3A



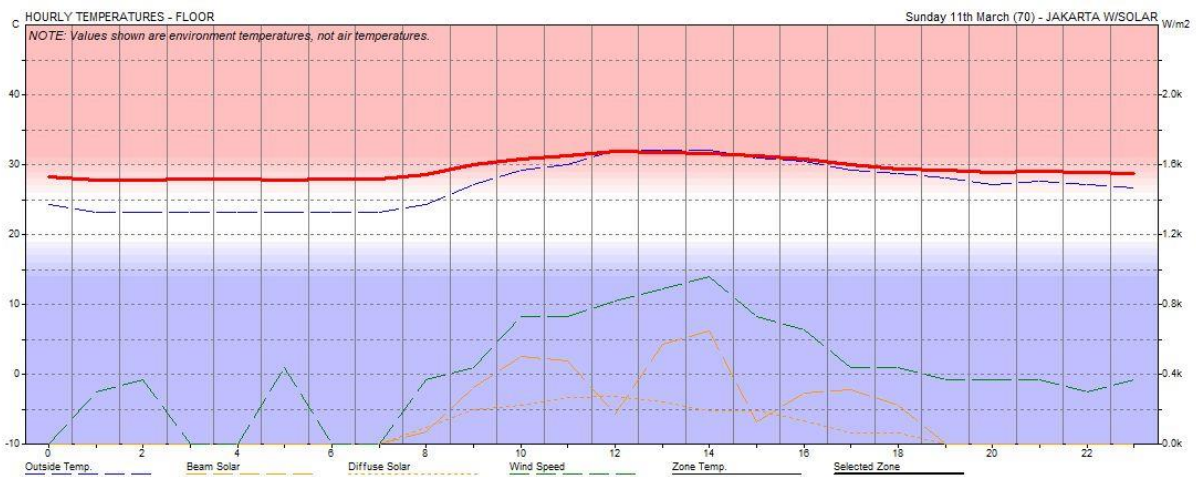
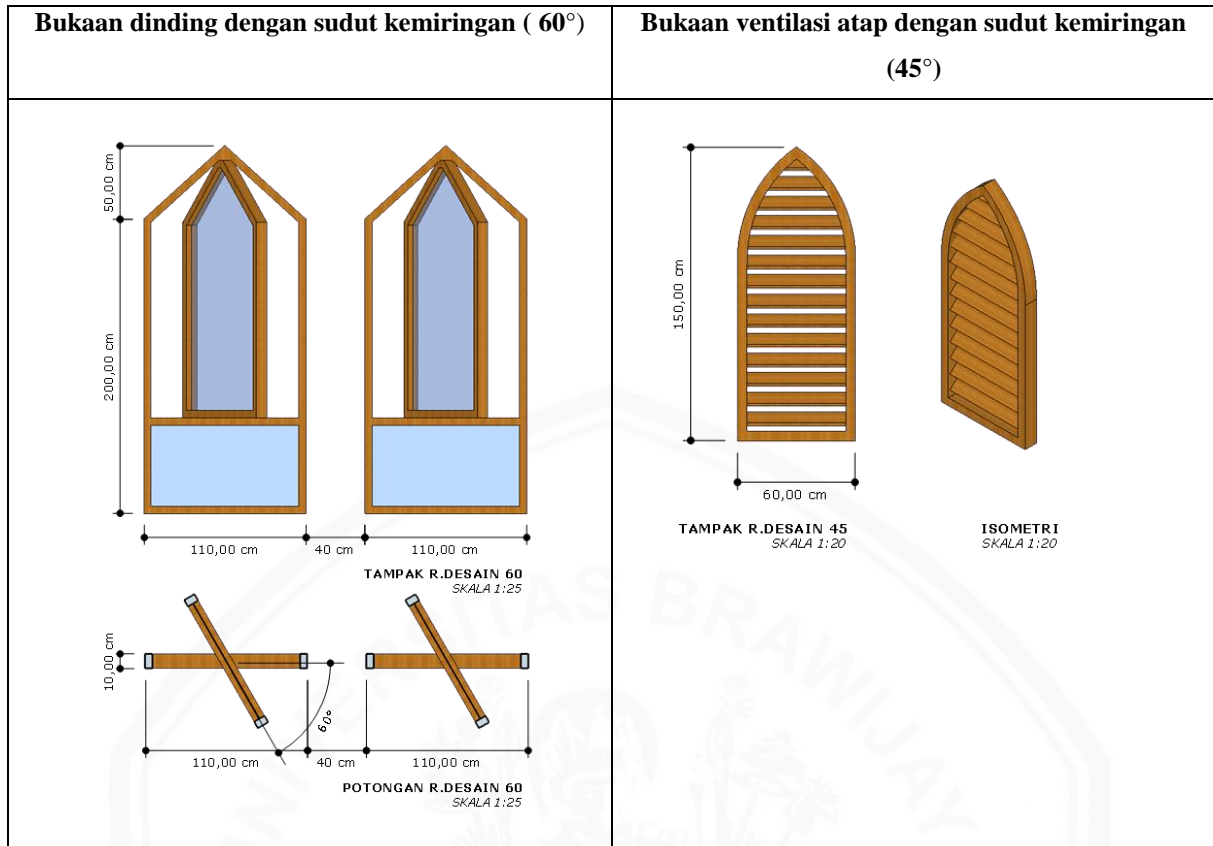
Gambar 4.40 Grafik skenario 3A

Tabel 4.30 Hasil simulasi skenario 3A

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	28
09.00	26.7	29.8
12.00	30	31
15.00	30	30.4
18.00	28.2	29.1
Rata-rata	27.15	27,9

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (60°) dan bukaan atap (30°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih turun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkang pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,9^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,9^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,9^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,9^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.31 Skenario 3B



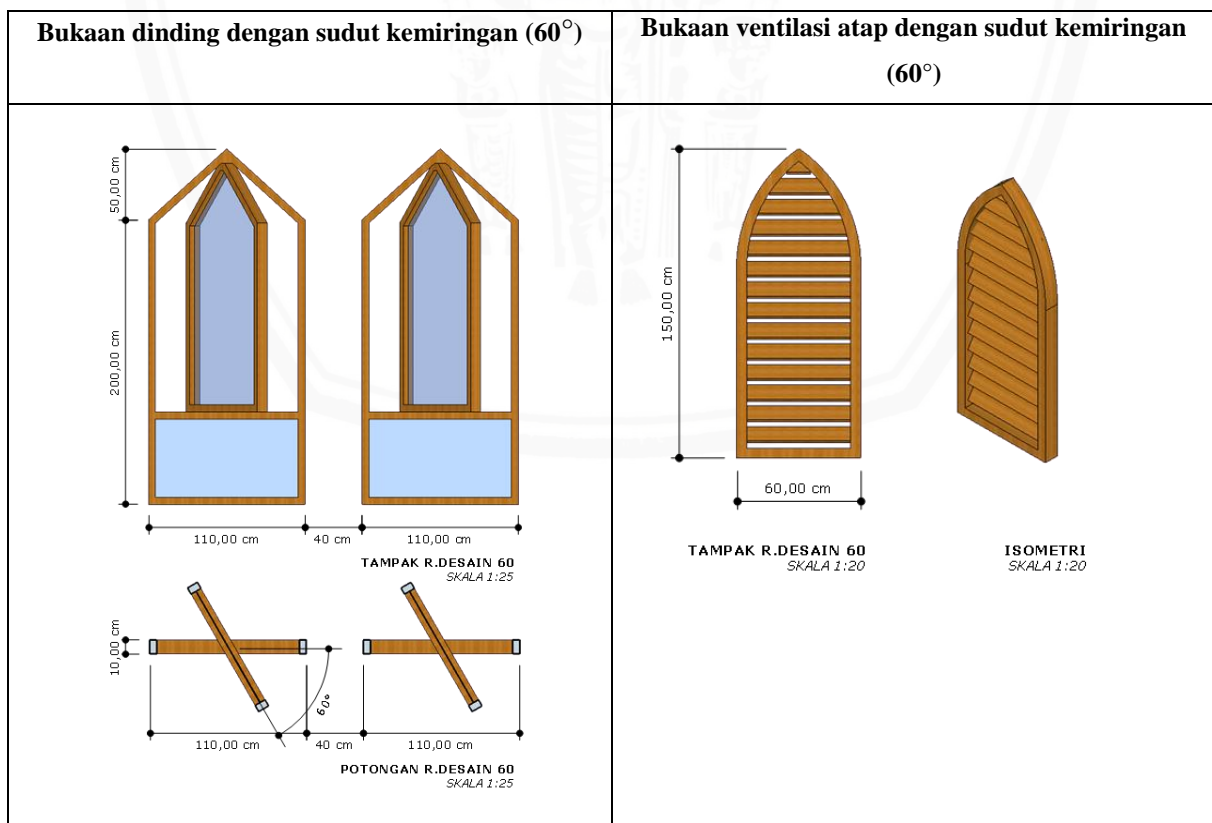
Gambar 4.41 Grafik skenario 3B

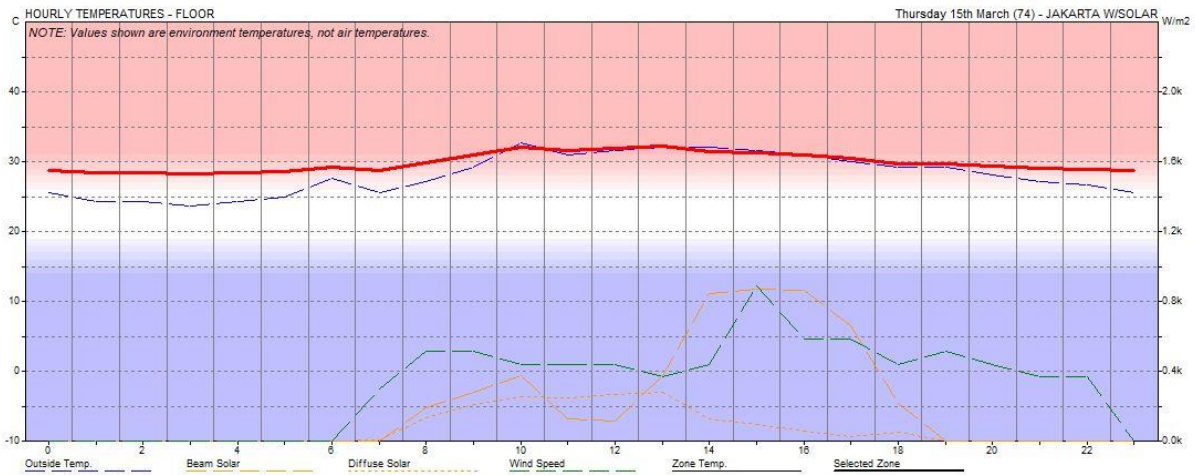
Tabel 4.32 Hasil simulasi skenario 3B

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	23.2	28
09.00	27.2	30.1
12.00	32.2	32
15.00	31.1	31.3
18.00	28.8	29.4
Rata-rata	27.7	28,1

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (60°) dan bukaan atap (45°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih naik dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $28,1^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,7^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,7^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $28,1^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.33 Skenario 3C





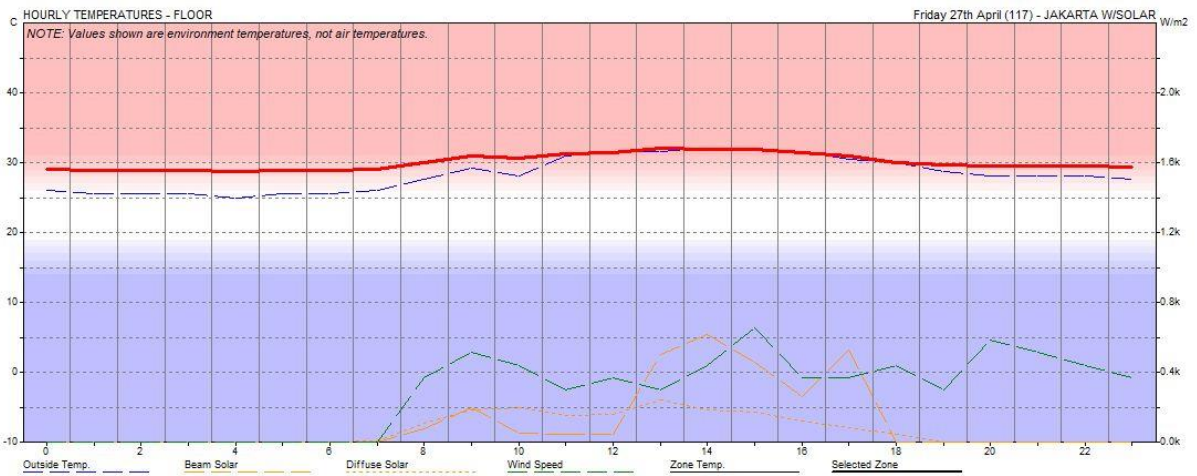
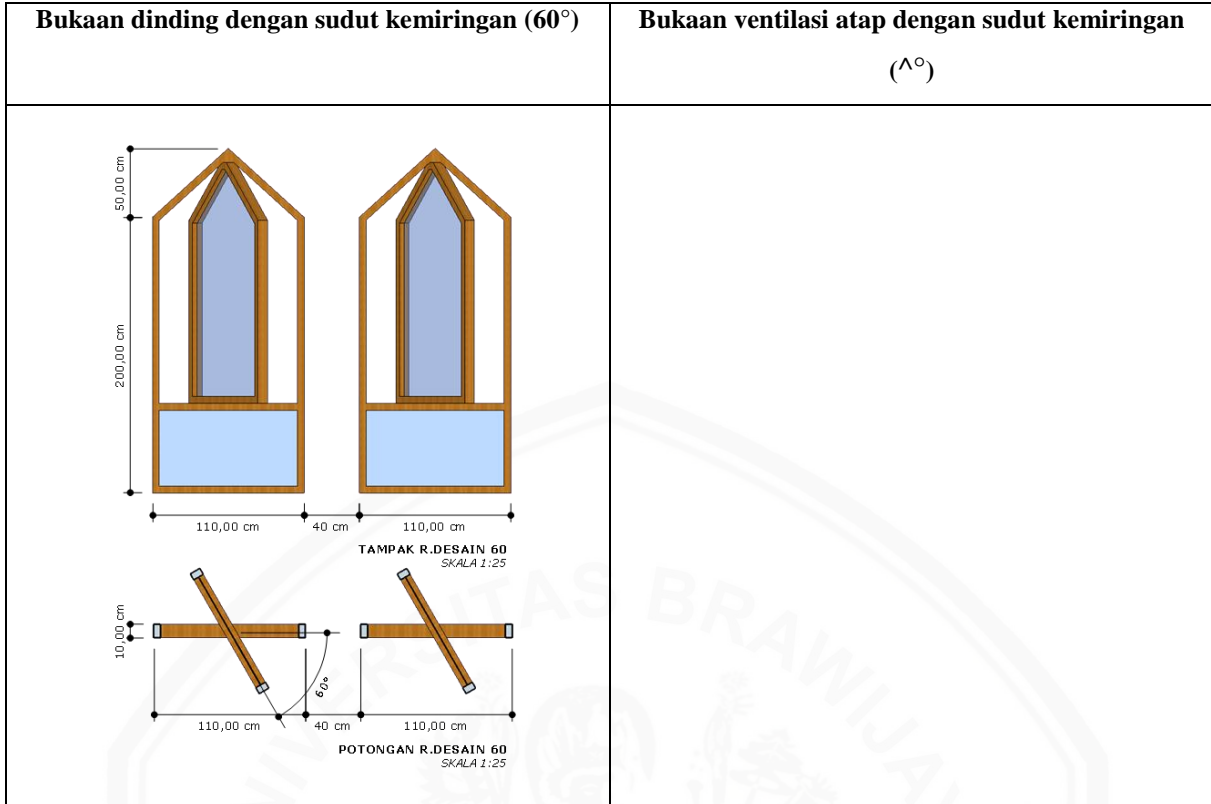
Gambar 4.42 Grafik skenario 3C

Tabel 4.34 Skenario 3C

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	27.7	29.3
09.00	29.3	31
12.00	31.7	32
15.00	31.7	31.4
18.00	29.3	29.8
Rata-rata	29.7	28.3

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (60°) dan bukaan atap (60°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih naik dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $28,3^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,5^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,5^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $28,3^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.35 Skenario 3D



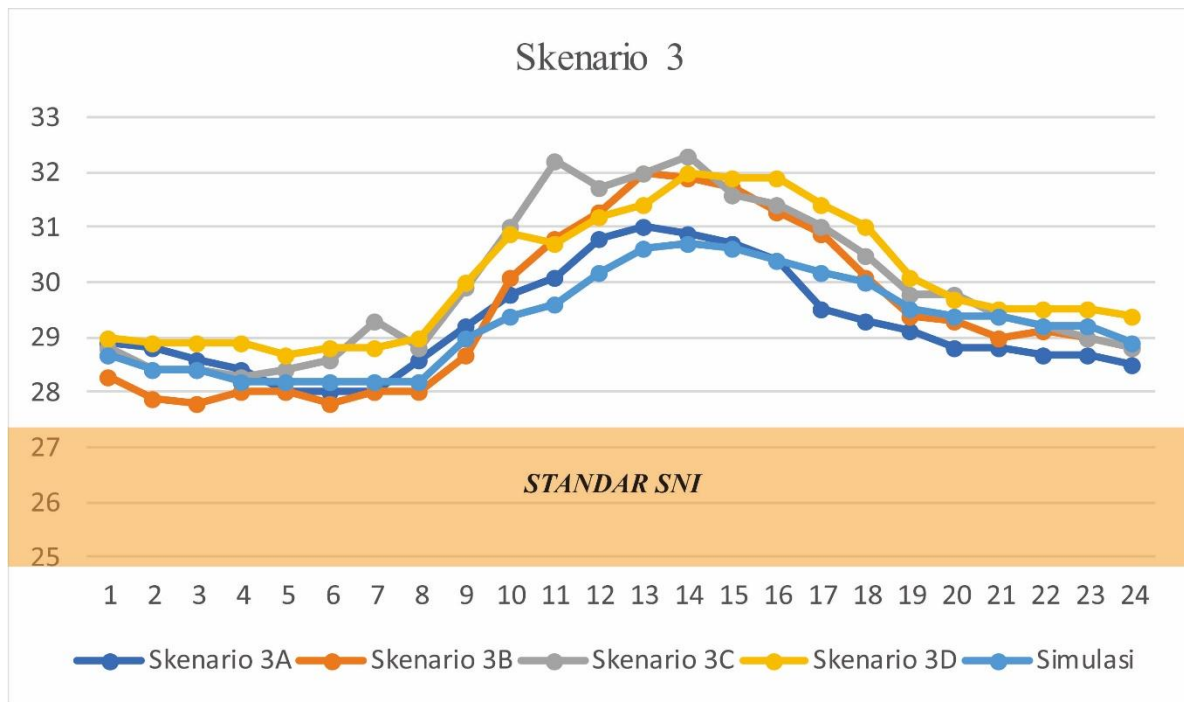
Gambar 4.43 Grafik skenario 3D

Tabel 4.36 Hasil simulasi skenario 3D

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	25.6	28.8
09.00	29.3	30.9
12.00	31.7	31.4
15.00	32.2	31.9
18.00	30	30.1
Rata-rata	28.9	28,4

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (60°) dan bukaan atap ($^\wedge$) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit lebih naik dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $28,4^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $1,4^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $1,4^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $28,4^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Berdasarkan keempat kombinasi antara bukaan atap dan bukaan dinding, kombinasi yang paling baik adalah antara bukaan atap dengan sudut kemiringan 60° serta bukaan dinding dengan kemiringan sudut 30° . Kombinasi tersebut dapat menurunkan temperatur sebesar $1,9^\circ\text{C}$ dari $29,8^\circ\text{C}$ menjadi $27,9^\circ\text{C}$ diambil dari hasil simulasi dengan 5(lima) sample waktu, jika dilihat dalam grafik hasil menunjukkan keempat kombinasi tidak jauh berbeda. Temperatur menunjukkan nilai yang stabil pada jam 20.00 – 24.00 WIB. Kemudian mengalami kenaikan pada jam 07.00 – 12.00 WIB. dan mengalami penurunan pada jam 13.00 – 18.00 WIB. Sedangkan temperatur paling tertinggi terjadi pada jam 13.00 WIB mencapai 32°C . Berikut merupakan grafik perbandingan ke empat kombinasi yang sudah disimulasikan.

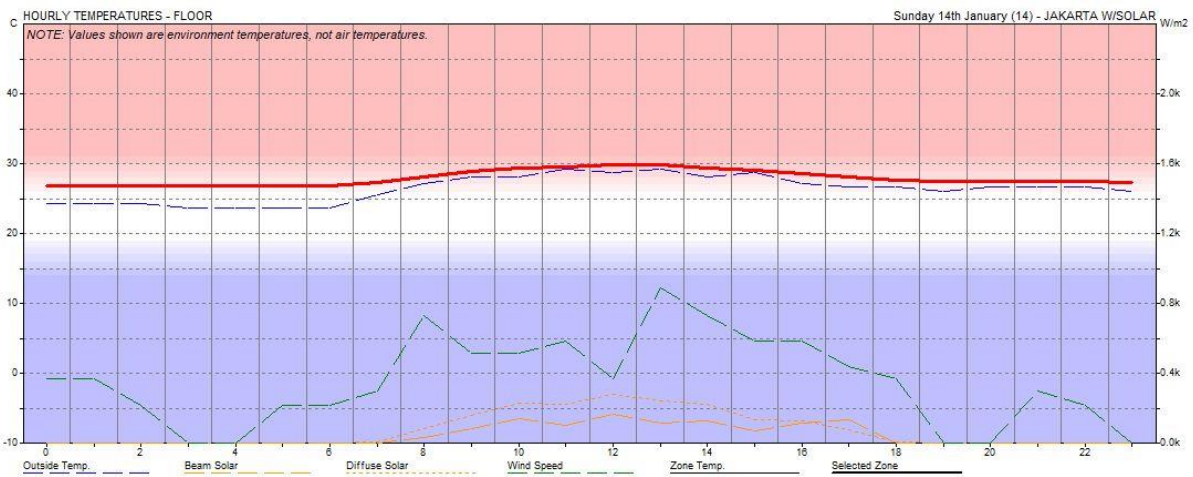
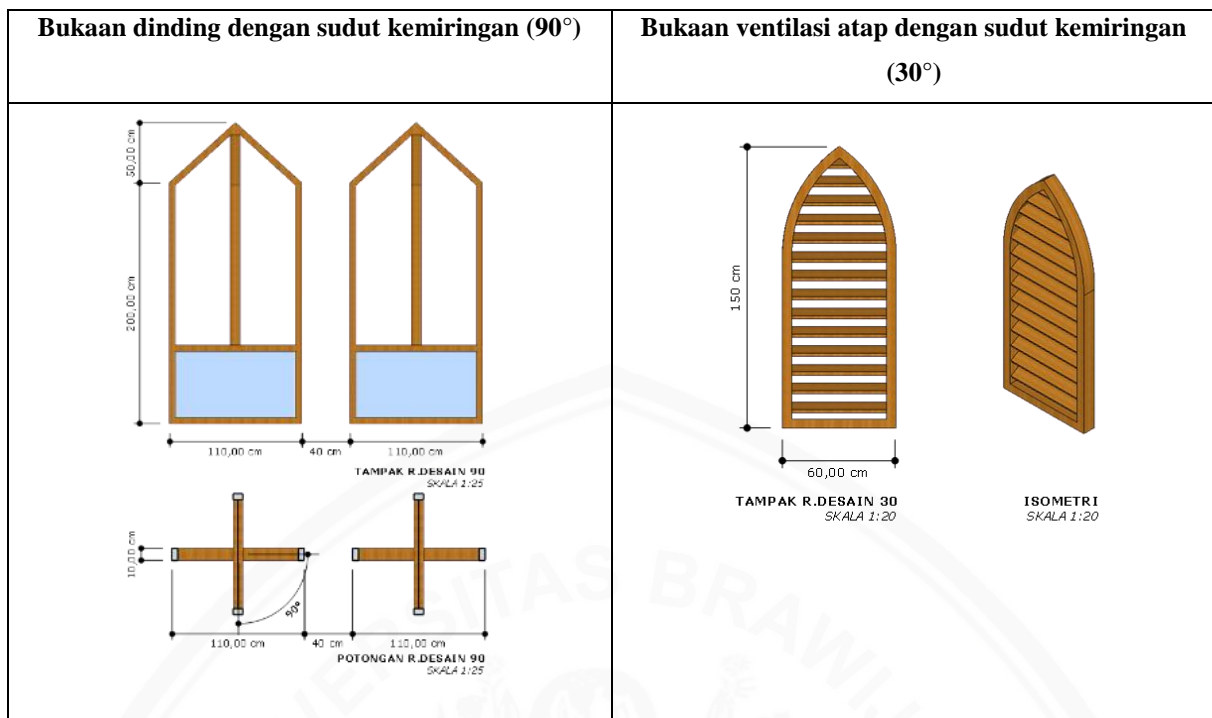


Gambar 4.44 Grafik hasil simulasi skenario 3

4.5.4 Skenario 4

Pada skenario 1(satu) terdapat beberapa perubahan arah buka bukaan dengan sudut kemiringan bukaan ventilasi dinding sebesar 30 derajat dan dikombinasikan dengan bukaan atap dengan kemiringan 30°, 45°, 60°, dan ^°. Untuk bukaan ventilasi dinding dan ventilasi atap diterapkan pada seluruh sisi bangunan. Dari hasil kombinasi tersebut diharapkan mampu mengetahui temperatur udara dari setiap perbedaan sudut bukaan.

Tabel 4.37 Skenario 4A



Gambar 4.45 Grafik skenario 4A

Tabel 4.38 Hasil simulasi skenario 4A

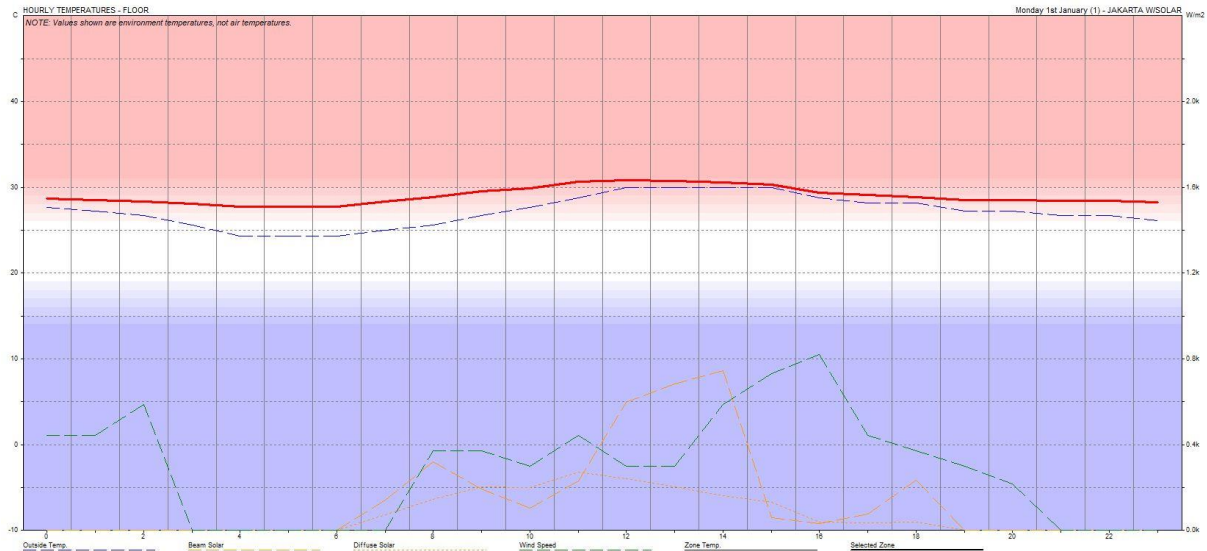
Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	27.1
09.00	28.2	29.3
12.00	29.3	30.1
15.00	29.3	29.7
18.00	28.2	28.2

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
Rata-rata	26.8	26,5

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (90°) dan bukaan atap (30°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam sedikit menurun dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $26,5^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $3,3^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $3,3^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $26,5^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.39 Skenario 4B

Bukaan dinding dengan sudut kemiringan (90°)	Bukaan ventilasi atap dengan sudut kemiringan (45°)
<p>TAMPAK R.DESAIN 90 SKALA 1:25</p> <p>POTONGAN R.DESAIN 90 SKALA 1:25</p>	<p>TAMPAK R.DESAIN 45 SKALA 1:20</p> <p>ISOMETRI SKALA 1:20</p>



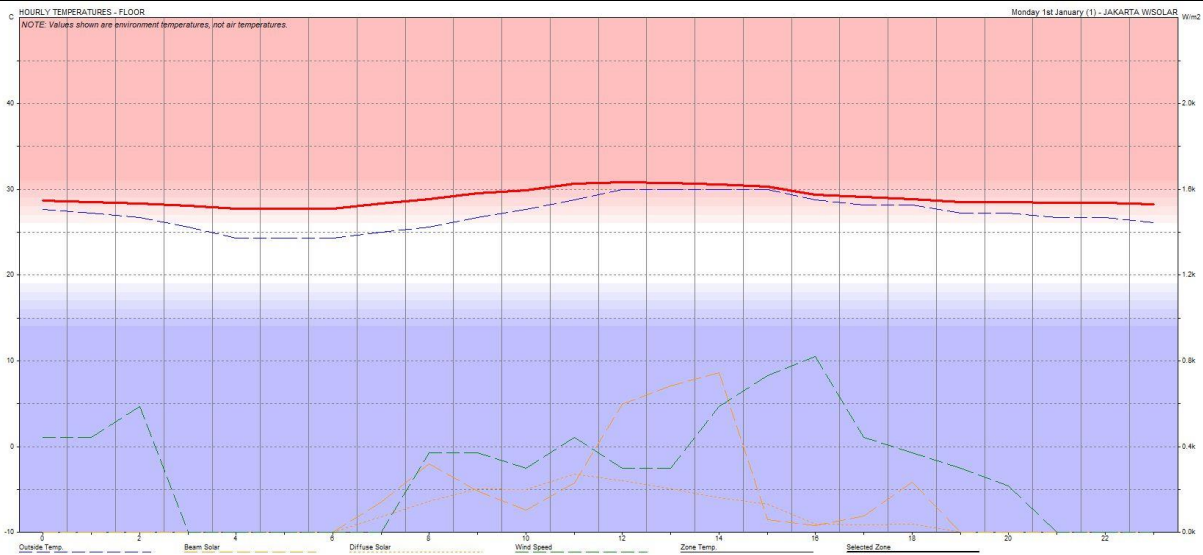
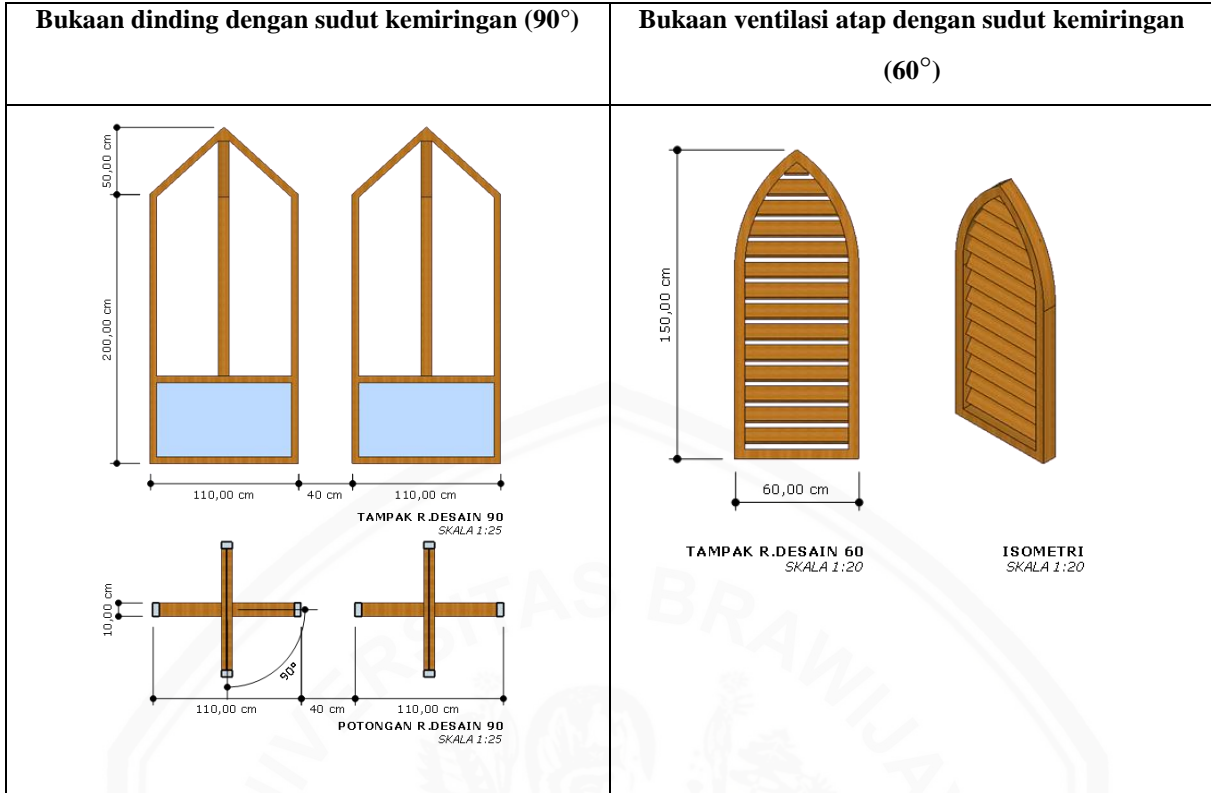
Gambar 4.46 Grafik Skenario 4B

Tabel 4.40 Hasil simulasi skenario 4B

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	23.2	28
09.00	27.2	30.1
12.00	32.2	32
15.00	31.1	31.3
18.00	28.8	29.4
Rata-rata	27.7	26,7

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (90°) dan bukaan atap (45°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam naik dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $26,7^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $3,1^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $3,1^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $26,7^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.41 Skenario 4C



Gambar 4.47 Grafik skenario 4C

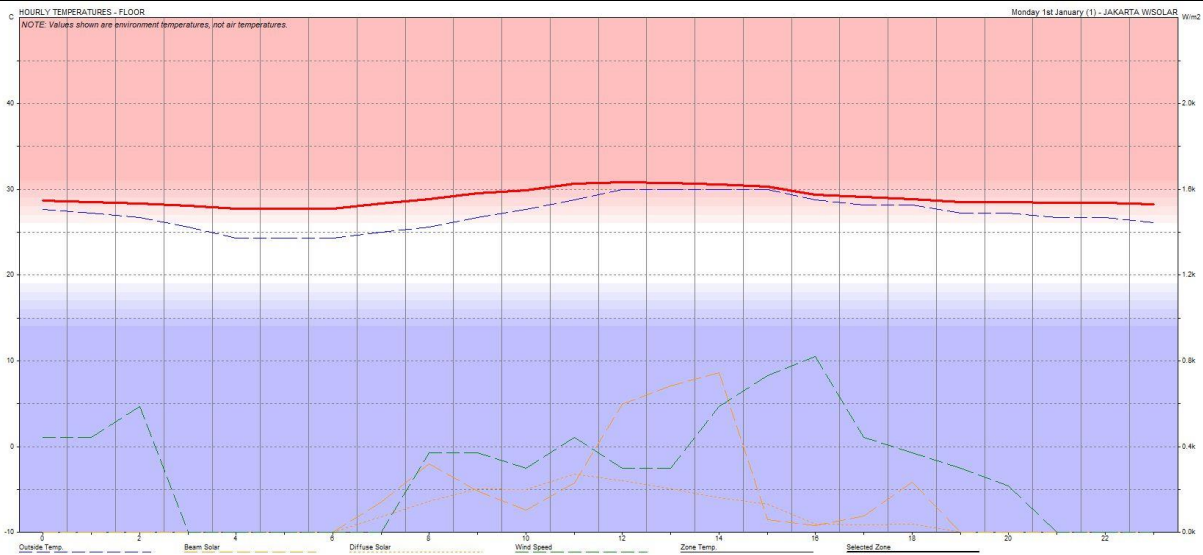
Tabel 4.42 Hasil simulasi skenario 4C

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	24.3	27.5
09.00	28.8	29.9
12.00	32.7	31.3
15.00	31.7	30.5
18.00	28.2	28.6
Rata-rata	28.5	27,6

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (90°) dan bukaan atap (60°) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam naik dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,6^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $2,2^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $2,2^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,6^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Tabel 4.43 Skenario 4D

Bukaan dinding dengan sudut kemiringan (90°)	Bukaan ventilasi atap dengan sudut kemiringan (^)
<p>TAMPAK R.DESAIN 90 SKALA 1:25</p> <p>POTONGAN R.DESAIN 90 SKALA 1:25</p>	



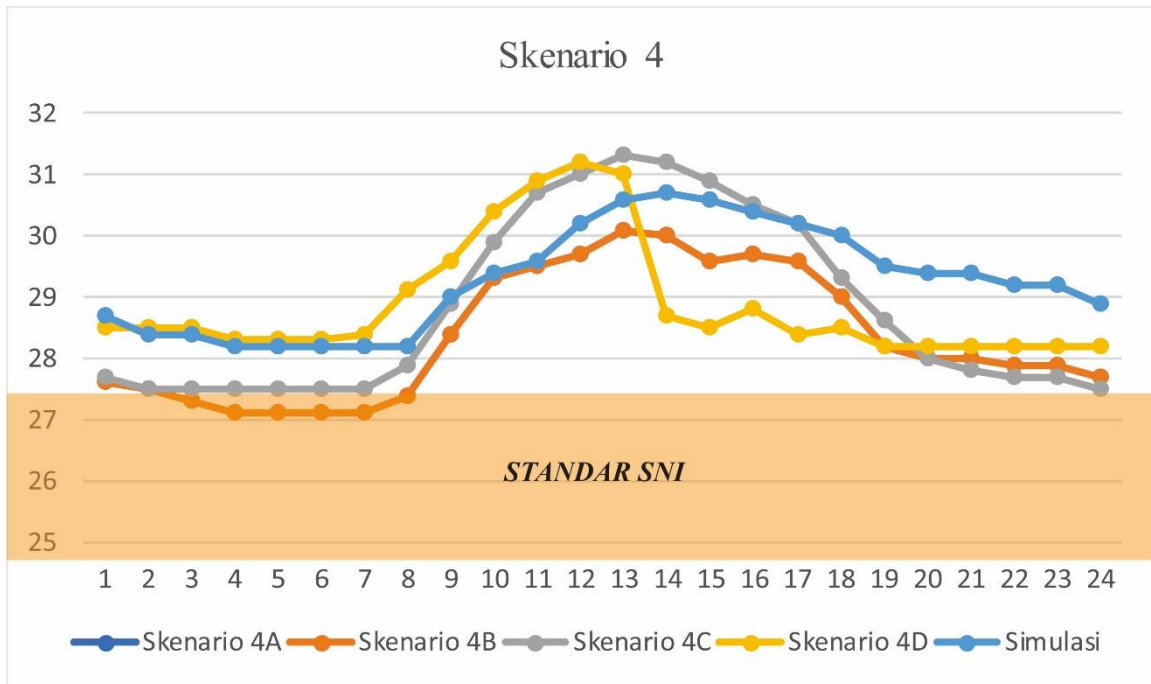
Gambar 4.48 Grafik skenario 4D

Tabel 4.44 Hasil simulasi skenario 4D

Waktu	Temperatur Udara Luar (°C)	Temperatur Udara Dalam (°C)
06.00	26.1	28.4
09.00	29.3	30.4
12.00	29.3	31
15.00	26.1	28.8
18.00	25.6	28.2
Rata-rata	27.7	27.4

Grafik hasil simulasi antara bukaan dinding (90°) dan bukaan atap ($^\wedge$) menunjukkan bahwa temperatur udara dalam naik dari kondisi eksisting. Pada simulasi eksisting temperatur rata-rata pada ke-empat sisi bukaan adalah $29,8^\circ\text{C}$. Sedangkan pada hasil simulasi rekomendasi desain temperatur rata-rata sebesar $27,4^\circ\text{C}$, dengan selisih temperatur sebesar $2,4^\circ\text{C}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi seperti ini dapat menurunkan sebesar $2,4^\circ\text{C}$ dari simulasi eksisting. Berdasarkan SNI 03-657-2001 temperatur sebesar $27,4^\circ\text{C}$ masih tergolong diatas ambang batas nyaman ($>27,1^\circ\text{C}$).

Berdasarkan keempat kombinasi antara bukaan atap dan bukaan dinding, kombinasi yang paling baik adalah antara bukaan atap dengan sudut kemiringan 90° serta bukaan dinding dengan kemiringan sudut 45° . Kombinasi tersebut dapat menurunkan temperatur sebesar $3,1^\circ\text{C}$ dari $29,8^\circ\text{C}$ menjadi $26,7^\circ\text{C}$ diambil dari hasil simulasi dengan 5(lima) sample waktu, jika dilihat dalam grafik hasil menunjukkan keempat kombinasi tidak jauh berbeda. Temperatur menunjukkan nilai yang stabil pada jam 04.00 – 07.00 WIB. Kemudian mengalami kenaikan pada jam 08.00 – 13.00 WIB. Dan mengalami penurunan pada jam 13.00 – 14.00 WIB. Sedangkan temperatur paling tertinggi terjadi pada jam 11.00 WIB mencapai $31,2^\circ\text{C}$. Berikut merupakan grafik perbandingan ke empat kombinasi yang sudah disimulasikan.

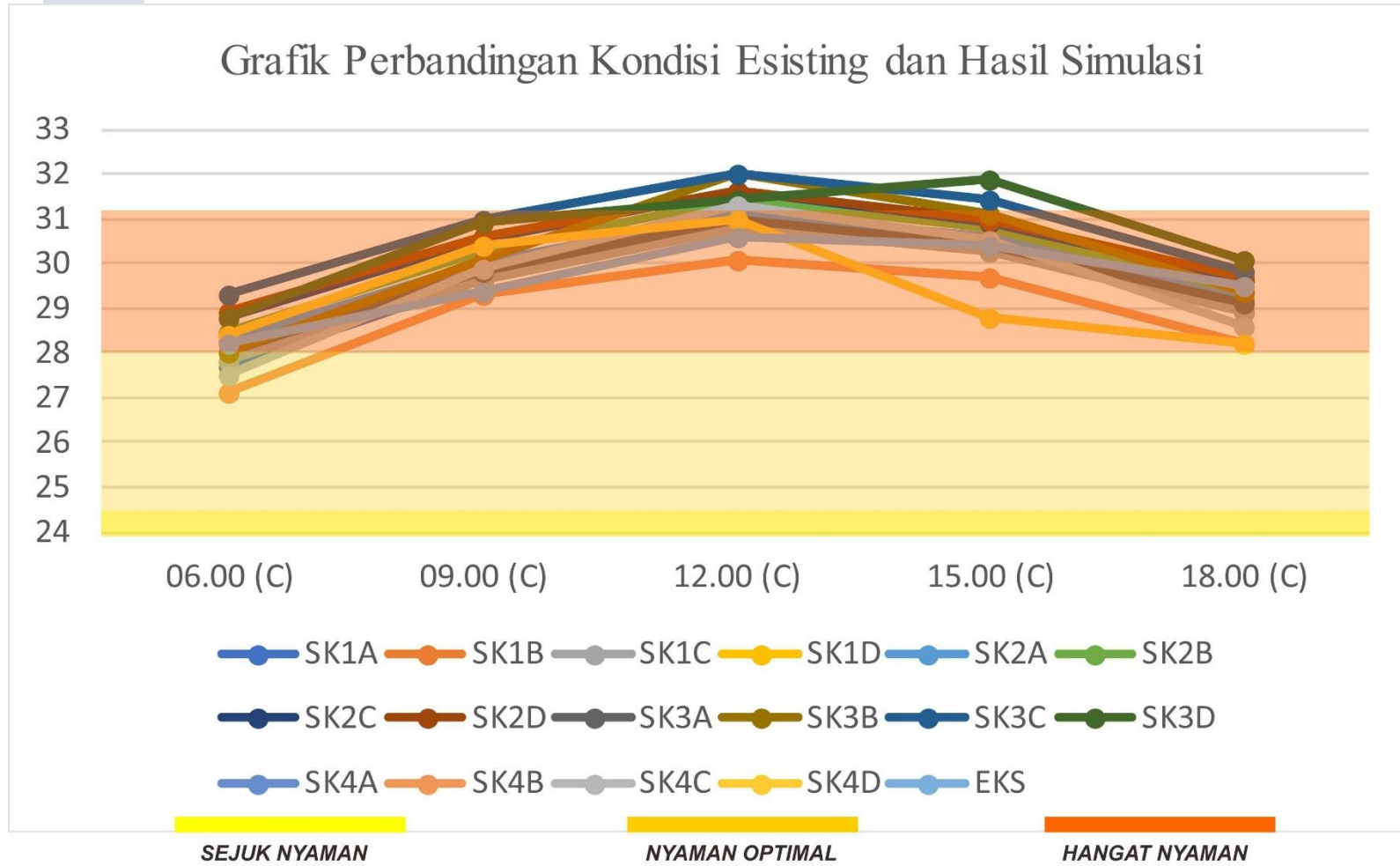


Gambar 4.49 Grafik hasil simulasi skenario 4

4.5.5 Tabulasi Hasil Rekomendasi Desain

Tabel 4.45 Perbandingan temperatur sebelum dan sesudah rekomendasi

Skenario	Sebelum						Sesudah						Penurunan Temperatur	Keterangan	
	06.00 (°C)	09.00 (°C)	12.00 (°C)	15.00 (°C)	18.00 (°C)	Rata-rata	06.00 (°C)	09.00 (°C)	12.00 (°C)	15.00 (°C)	18.00 (°C)	Rata-rata			
1	A	28,2	29,4	30,6	30,4	29,5	29,4	27,7	29,6	30,9	30,3	28,9	27,9	1,5	
	B							27,8	29,6	30,8	30,3	28,9	27,9	1,5	
	C							27,8	29,6	30,8	30,3	28,9	27,6	1,8	
	D							28,3	30	31,1	30,6	29,3	27,6	1,8	
2	A							28,3	30	31,1	30,6	29,2	27,9	1,5	
	B							28,5	30,3	31,4	30,8	29,4	27,9	1,5	
	C							28,8	30,5	31,6	30,9	29,6	27,9	1,5	
	D							28,9	30,6	31,6	31	29,7	27,9	1,5	
3	A							28	29,8	31	30,4	29,1	27,9	1,5	
	B							28	30,1	32	31,1	29,4	28,1	1,3	
	C							29,3	31	32	31,4	29,8	28,3	1,1	
	D							28,8	30,9	31,4	31,9	30,1	28,4	1	
4	A							27,1	29,3	30,1	29,7	28,2	26,5	2,9	
	B							27,1	29,3	30,1	29,7	28,2	26,7	2,7	
	C							27,5	29,9	31,3	30,5	28,6	27,6	1,8	
	D							28,4	30,4	31	28,8	28,2	27,4	2	



Gambar 4.50 Grafik perbandingan kondisi eksisting dan hasil simulasi

BAB 5

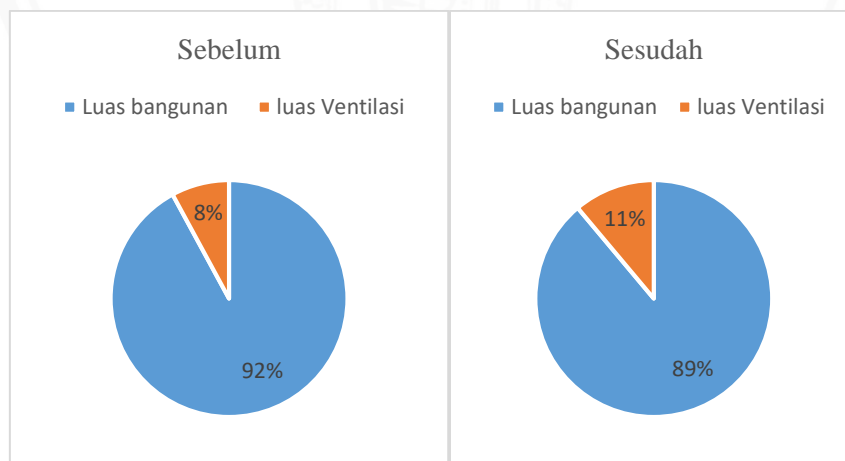
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Objek studi pada penelitian ini adalah gedung Islamic Center Pamekasan, dimana ruang *hall Islamic Center* merupakan massa utama dari fungsi ruang dengan dimensi ruang 48,00 x 48,00 m² dan pengukuran langsung pada objek studi dengan total 17 titik pengukuran, dengan rincian 17 titik pengukuran luar dan 10 titik pengukuran dalam. Modul pengukuran temperatur luar 13 x 13 m dan modul pengukuran temperatur dalam 14 x 14 m. Berdasarkan hasil pengukuran temperatur udara dalam dan luar hasil pengukuran tidak jauh berbeda dari setiap titiknya. Hal ini menunjukkan bahwa persebaran temperatur merata keseluruh ruangan. Hasil menunjukkan bahwa Islamic Center masih belum memenuhi standar yang telah ditentukan oleh KEMENKES RI. Sedangkan luas bukaanya tidak sesuai dengan SNI 03-6572-2001 yaitu maksimal 10% dari luas lantai keseluruhan. Berdasarkan hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Bukaan yang terdapat pada kondisi eksisting belum bekerja secara optimal. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan tekanan aliran udara yang masuk melalui ventilasi dan tidak berfungsinya ventilasi atap sehingga temperatur udara ruang dalam menjadi lebih panas dari pada temperatur udara luar. Penggunaan peralatan mekanik yang tidak sesuai dengan luas bangunan sehingga temperatur udara tidak turun.
2. Penambahan bukaan atap berupa jendela jalousi dengan sudut kemiringan yang berbeda-beda tujuannya untuk mengetahui berupa sudut kemirigan yang optimal dalam menurunkan temperatur udara. Selanjutnya pada bagian ventilasi dinding pada kondisi eksisting sistem bukaan ventilasi yaitu (*casement side-hung*), kinerja sistem bukaan tersebut belum optimal sehingga dirubah menjadi sistem bukaan (*vertical pivoted*). Sistem bukaan tersebut diharapkan mampu dapat mengoptimalkan sistem ventilasi alami.

3. Berdasarkan rekomendasi yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dengan perubahan sistem bukaan ventilasi dapat menurunkan temperatur ruang. penurunan temperatur berkisar antara 1 – 2,9°C pada setiap kombinasi antara ventilasi dinding dan ventilasi atap. Sedangkan temperatur rata-rata setelah dilakukan rekomendasi mengalami penurunan dari 29,8°C menjadi 26,5°C. Temperatur rata-rata terendah terdapat pada kombinasi skenario 4A dengan sudut kemiringan bukaan 90 derajat pada bukaan dinding dan 30 derajat pada bukaan atap dan temperatur tertinggi terdapat pada kombinasi skenario 3D dengan sudut kemiringan bukaan 60 derajat pada bukaan dinding dan jendela mati pada ventilasi atap. Sesuai dengan SNI temperatur yang ditunjukkan termasuk dalam kondisi antara nyaman optimal-hangat nyaman.
4. Sudut Kemiringan pada ventilasi dinding dan atap berpengaruh terhadap penurunan temperatur pada gedung Islamic Center Pamekasan. Semakin besar sudut bukaan maka semakin besar turunnya temperatur udara. Sedangkan untuk luas ventilasi kondisi eksisting sebesar 198 m² dengan standar ventilasi gedung sebesar 230,4 m². Pada kondisi tersebut bukaan ventilasi tidak sesuai dengan standar. Setelah mengalami rekomendasi desain luas bukaan ventilasi menjadi sebesar 288 m² dengan standar ventilasi gedung sebesar 230,4. Pada kondisi tersebut bukaan ventilasi sesuai dengan standar gedung. Rekayasa ventilasi alami yang sudah dianalisis diharapkan mampu dapat menurunkan temperatur dalam ruang dan meningkatkan kenyamanan pengguna ruang.



Gambar 5.1 Diagram perbandingan temperatur udara

5.2 Saran

Dengan adanya studi ini diharapkan mampu memberikan acuan untuk desain pemanfaatan ventilasi alami sebagai upaya untuk peningkatan performa termal bangunan (pendingin ruang) dengan memperhatikan hal-hal berikut:

1. Jenis bukaan ventilasi alami
2. Luas bukaan ventilasi alami terhadap luas lantai
3. Dimensi bukaan ventilasi alami
4. Sudut kemiringan bukaan pada bukaan ventilasi dinding dan ventilasi atap





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. (2005). *Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta., ASHRAE 1989. Handbook of Fundamental Chapter 8.* USA: ASHRAE.
- Becket, H. E., & Godfrey, J. A. (1974). *windows: Perforamance, Design amd Insulation.* New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Boutet, T. S. (1987). *Controlling air movement: A manual for architects and builders.* New York: Mc-graw-Hill.
- CIBSE. (1997). *Natural Ventilation in non-Domestic Building. Aplication Manual AM10.* London: the Chartered Insttuation of Building Services engineers.
- DEPAG. (1975). *Buku petunjuk Pelaksanaan Proyek Islamic Center di Seluruh Indonesia.* Jakarta: Departemen Agama RI.
- Fanger. (1972). *Thermal Comfort.* New York: Mc-Graw-Hill.
- Frick, H., & Pujo, L. S. (2002). *Ilmu kontruksi Perlengkapan dan Utilitas Bangunan. Cara Perlengkapan Bangunan.* Yogyakarta: Kanisius.
- Gazalba, S. (2006). *Etikan dan Estetika.* Jakarta: Pustaka A1 Husna.
- Lechner, N. (2014). *Heating, Cooling, Lighting 4rd.* New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Liddament. (1996). *A Guide to Energy Efficient Ventilation.* University of Warwick Science Park, Great Britain: Energy Agency.
- Lippsmeier. (1994). *Bangunan Tropis.* Jakarta: Erlangga.
- Moore, F. (1993). *Enviromental Control System: Heating, Coolong, Lighting.* New York: McGraw-Hill, Inc.
- Purwanto, L. (2005). Pengaruh Bentuk Atap tradisional di Jawa tengah untuk Peningkatan kenyamanan Termal Bangunan. *DIMENSI TEKNIK ARSITEKTUR Vol. 34, No. 2, Desember 2006, 154 - 160 .*
- Roaf, S. F., & Thomas, S. (2003). *Echohouse 2: A Design Guide .* Burlington: Architecture Press.

- Satwiko. (2009). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: ANDI.
- Smith, P. F. (2001). *Architecture in a climate of change*. Oxford: Architectural Press.
- SNI. (2001). *Tata cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengondisian Udara pada Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Snyder, J. C. (1989). *Pengantar Arsitektur*. Jakarta: Erlangga.
- Sugini. (2004). Pemaknaan Istilah-Istilah Kualitas Kenyamanan Termal Ruang Dalam Kaitan dengan Variabel Iklim Ruang. *LOGIKA*, 03-17.
- Szokolay. (2004). *Introduction to Architectural Science: The Basis Of Sustainable Design*. Oxford: Architectural Press
- Talarosha. (2005). Menciptakan Kenyamanan Termal Dalam Bangunan. *Sistem Teknik Industri Volume 6*, pp. 149-150.

