

**KINERJA BUKAAN VENTILASI ALAMI UNTUK MENURUNKAN
SUHU RUANG DALAM GEDUNG PASCASARJANA
FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**NAUVAL RISLA CENDIKA
NIM. 135060507111001**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Lingkup dan Pembahasan.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Kontribusi Penelitian	4
1.7 Sistematika Pembahasan	5
1.8 Kerangka Pemikiran.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Gedung Kuliah.....	9
2.2 Pengertian Kenyamanan Termal.....	9
2.2.1 Standar Kenyamanan Termal	11
2.2.2 Desain dan pengaruh orientasi bangunan terhadap matahari.....	12
2.2.3 Desain Bukaannya.....	13
2.3 Ventilasi Alami	14
2.3.1 Standar Ventilasi alami	15
2.3.2 Prinsip dasar ventilasi inlet dan outlet.....	15
2.3.3 Orientasi Ventilasi	17
2.3.4 Dimensi dan rasio ventilasi	18
2.3.5 Ventilasi Alami	19
2.3.6 Tipe-tipe dan jenis jendela berdasarkan cara kerja.....	21
2.3.7 Sistem Pelindung matahari pada bangunan	24
2.4 Tinjauan Studi Terdahulu	27
2.5 Kerangka Teoritik	28
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Lokasi dan Objek Penelitian.....	29



3.3	Fokus Penelitian dan Tanggal Pengukuran	31
3.4	Variabel Penelitian	32
3.5	Teknik Pengambilan Sampel Ruang	33
3.6	Teknik Pengambilan Data	33
3.6.1	Instrumen Pengukuran Lapangan	33
3.7	Metode Pengolahan Data	35
3.8	Validasi Hasil Simulasi	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Kondisi Iklim Kota Malang.....	38
4.2	Eksisting Lingkungan	39
4.2.1	Eksisting per lantai gedung pascasarjan fakultas Hukum.....	41
4.3	Analisa Bangunan	44
4.3.1	Bangunan terhadap pola angin	44
4.3.2	Kondisi pembayangan bangunan.....	46
4.3.3	Tata vegetasi.....	49
4.4	Identifikasi Objek Penelitian	51
4.5	Analisis Hasil Pengukuran	63
4.5.1	Data dan hasil analisis pengukuran	64
4.6	Simulasi eksisting dan analisis hasil	75
4.6.1	Validasi.....	82
4.6.2	Kesimpulan	84
4.7	Rekomendasi Modifikasi.....	85
4.7.1	Modifikasi – penambahan rasio	86
4.7.2	Modifikasi – penggantian jenis jendela	94
4.7.3	Modifikasi – pengaplikasian <i>shading device</i>	107
4.8	Simulasi rekomendasi Modifikasi	110
4.8.1	Modifikasi – penambahan rasio	110
4.8.2	Modifikasi – penggantian jenis jendela	119
4.8.3	Modifikasi – pengaplikasian <i>shading device</i>	129
4.8.4	Hasil modifikasi terhadap kenyamanan termal	135
4.8.5	Tampilan bangunan hasil modifikasi.....	138
BAB V PENUTUP.....		141
5.1	Kesimpulan.....	141
5.2	Saran.....	141



DAFTAR PUSTAKA..... xiii



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Mengenai Batas Kenyamanan Termal	11
Tabel 2.2 Tingkat Temperatur Nyaman Orang Indonesia	11
Tabel 2.3 Peningkatan Kecepatan Aliran Udara di Dalam Ruang.....	18
Tabel 2.4 Jenis Jendela dan Cara Kerjanya	21
Tabel 2.5 Tinjauan Studi Terdahulu	27
Tabel 4.1 Data Rekam Iklim Kota Malang.....	37
Tabel 4.2 Data Rekam Kelembaban Udara Kota Malang.....	38
Tabel 4.3 Data Rekam Kecepatan Angin Kota Malang.....	38
Tabel 4.4 Kondisi Pembayangan pada Bangunan.....	47
Tabel 4.5 Jenis, Letak, dan Dimensi Ventilasi Kelas Tipe A Lantai 3	54
Tabel 4.6 Jenis, Letak, dan Dimensi Ventilasi Kelas Tipe B Lantai 3	56
Tabel 4.7 Jenis, Letak, dan Dimensi Ventilasi Kelas Tipe C Lantai 3	58
Tabel 4.8 Jenis, Letak, dan Dimensi Ventilasi Kelas Tipe A Lantai 6.....	60
Tabel 4.9 Jenis, Letak, dan Dimensi Ventilasi Kelas Tipe B Lantai 6	61
Tabel 4.10 Jenis, Letak, dan Dimensi Ventilasi Kelas Tipe C Lantai 6	63
Tabel 4.11 Analisis Karakter dan Rasio Ventilasi terhadap Permukaan Lantai	63
Tabel 4.12 Data Pengukuran Suhu pada Lantai 3.....	65
Tabel 4.13 Rata-rata Hasil Pengukuran Suhu pada Lantai 3	66
Tabel 4.14 Data Pengukuran Suhu pada Lantai 6.....	67
Tabel 4.15 Rata-rata Hasil Pengukuran Suhu pada Lantai 6	68
Tabel 4.16 Data Pengukuran Kelembaban pada Lantai 3.....	69
Tabel 4.17 Rata-rata Hasil Pengukuran Kelembaban pada Lantai 3	69
Tabel 4.18 Data Pengukuran Kelembaban pada Lantai 6.....	70
Tabel 4.19 Rata-rata Hasil Pengukuran Kelembaban pada Lantai 6	71
Tabel 4.20 Data Pengukuran Kecepatan Angin pada Lantai 3	72
Tabel 4.21 Rata-rata Hasil Pengukuran Kecepatan Angin pada Lantai 3.....	73
Tabel 4.22 Data Pengukuran Kecepatan Angin pada Lantai 6	73
Tabel 4.23 Rata-rata Hasil Pengukuran Kecepatan Angin pada Lantai 6.....	74
Tabel 4.24 Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 3	76
Tabel 4.25 Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 3.....	77
Tabel 4.26 Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 3.....	78

Tabel 4.27 Simulasi Ruang Kelas Lantai 3 sesuai Waktu Pengukuran	79
Tabel 4.28 Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 6	79
Tabel 4.29 Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 6.....	80
Tabel 4.30 Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 6.....	82
Tabel 4.31 Simulasi Ruang Kelas Lantai 6 sesuai Waktu Pengukuran	82
Tabel 4.32 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Simulasi di Lantai 3	83
Tabel 4.33 Presentase Validasi Suhu Eksisting dengan Hasil Simulasi di Lantai 3...83	
Tabel 4.34 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Simulasi di Lantai 6.....	84
Tabel 4.35 Presentase Validasi Suhu Eksisting dengan Hasil Simulasi di Lantai 6...84	
Tabel 4.36 Besaran Kebutuhan Luas Bukaannya Ruang Tipe A Lantai 3	86
Tabel 4.37 Rangkuman Rasio	87
Tabel 4.38 Besaran Kebutuhan Luas Bukaannya Ruang Tipe B Lantai 3	87
Tabel 4.39 Rangkuman Rasio	88
Tabel 4.40 Besaran Kebutuhan Luas Bukaannya Ruang Tipe C Lantai 3	88
Tabel 4.41 Rangkuman Rasio	89
Tabel 4.42 Besaran Kebutuhan Luas Bukaannya Ruang Tipe A Lantai 6	90
Tabel 4.43 Rangkuman Rasio	91
Tabel 4.44 Besaran Kebutuhan Luas Bukaannya Ruang Tipe B Lantai 6	91
Tabel 4.45 Rangkuman Rasio	92
Tabel 4.46 Besaran Kebutuhan Luas Bukaannya Ruang Tipe C Lantai 6	92
Tabel 4.47 Rangkuman Rasio	93
Tabel 4.48 Analisis Aliran Udara Berdasarkan Jenis Jendela	95
Tabel 4.49 Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 3	111
Tabel 4.50 Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 3.....	112
Tabel 4.51 Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 3.....	113
Tabel 4.52 Simulasi pada Lantai 3 sesuai Waktu Pengukuran setelah Modifikasi ..114	
Tabel 4.53 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Simulasi Modifikasi.....114	
Tabel 4.54 Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 6	115
Tabel 4.55 Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 6.....	116
Tabel 4.56 Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 6.....	118
Tabel 4.57 Simulasi pada Lantai 6 sesuai Waktu Pengukuran setelah Modifikasi ..118	
Tabel 4.58 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Simulasi Modifikasi.....119	
Tabel 4.59 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 3	120

Tabel 4.60 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Modifikasi.....	121
Tabel 4.61 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 3	121
Tabel 4.62 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Modifikasi.....	122
Tabel 4.63 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 3	123
Tabel 4.64 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Modifikasi.....	123
Tabel 4.65 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 6.....	125
Tabel 4.66 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Modifikasi.....	125
Tabel 4.67 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 6	126
Tabel 4.68 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Modifikasi.....	127
Tabel 4.69 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 6	128
Tabel 4.70 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Hasil Modifikasi.....	128
Tabel 4.71 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 3	130
Tabel 4.72 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Modifikasi <i>Shading Device</i>	130
Tabel 4.73 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 3	131
Tabel 4.74 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Modifikasi <i>Shading Device</i>	131
Tabel 4.75 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 6.....	133
Tabel 4.76 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Modifikasi <i>Shading Device</i>	133
Tabel 4.77 Simulasi Modifikasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 6	134
Tabel 4.78 Perbandingan Suhu Eksisting dengan Modifikasi <i>Shading Device</i>	135
Tabel 4.79 Rangkuman Hasil Perbandingan Eksisting dengan Modifikasi Lt. 3	136
Tabel 4.80 Rangkuman Hasil Perbandingan Eksisting dengan Modifikasi Lt. 6	137
Tabel 4.81 Tampilan Bangunan Hasil Modifikasi.....	138



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

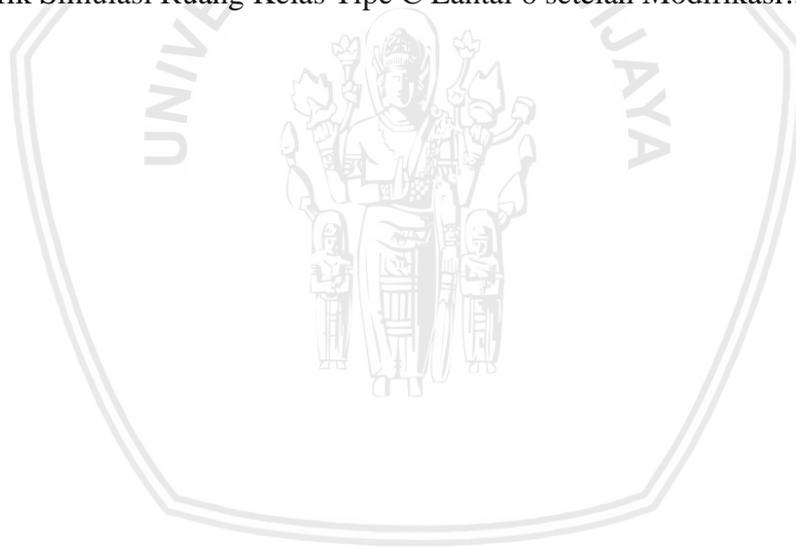
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Alur Pemikiran	7
Gambar 2.1 Pola Pergerakan Angin terhadap Bentuk Bangunan	12
Gambar 2.2 Udara Mengalir Menyebabkan Area yang Tekanan Positif dan Negatif	13
Gambar 2.3 Perbedaan Pola Perletakan Massa terhadap Angin	13
Gambar 2.4 Jenis Bukaannya yang Mempengaruhi Aliran Udara Masuk ke Ruangan ...	14
Gambar 2.5 Aliran Udara karena Perbedaan Berat Jenis Udara Luar dan Dalam	16
Gambar 2.6 Peran Ventilasi Silang dalam Sebuah Ruangan	16
Gambar 2.7 Posisi Bangunan terhadap Arah Datangnya Aliran Udara	17
Gambar 2.8 Pola Kecepatan Udara Berdasarkan Posisi <i>Inlet</i> terhadap <i>Outlet</i>	18
Gambar 2.9 Aliran Udara pada Bangunan	19
Gambar 2.10 Aliran Udara pada Bangunan (2)	20
Gambar 2.11 Difusi Radiasi Matahari Besar dengan Adanya Polusi	24
Gambar 2.12 Adanya Benda yang Memiliki Permukaan Pantul Tinggi pada Iklim ..	24
Gambar 2.13 Jenis-jenis <i>Shading Device</i> Pasif	25
Gambar 2.14 Jenis-jenis <i>Shading Device</i> terhadap Pergerakan Udara dalam Ruang.	26
Gambar 2.15 Kerangka Teoritik	28
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	29
Gambar 3.2 Tampak Depan dan Samping Kiri Bangunan	30
Gambar 3.3 Tampak Belakang dan Samping Kanan Bangunan	30
Gambar 3.4 Ruang-ruang yang Diteliti	31
Gambar 3.5 Ruang-ruang yang Diteliti	31
Gambar 3.6 <i>Dry and Wet Thermometer</i>	34
Gambar 3.7 <i>Anemometer</i>	34
Gambar 3.8 Alat Ukur Meteran / Roll	35
Gambar 4.1 <i>Site Plan</i>	40
Gambar 4.2 Batas Utara Objek Penelitian	40
Gambar 4.3 Batas Barat Objek Penelitian	40
Gambar 4.4 Batas Timur Objek Penelitian	40
Gambar 4.5 Batas Selatan Objek Penelitian	40
Gambar 4.6 Bentuk dan Titik Sudut Pandang Massa Lantai 3	41
Gambar 4.7 Bentuk dan Titik Sudut Pandang Massa Lantai 6	42

Gambar 4.8 Letak Fokus Penelitian pada Denah Lantai 3.....	42
Gambar 4.9 Letak Fokus Penelitian pada Denah Lantai 6.....	43
Gambar 4.10 Pola Pergerakan Angin dari Luar Bangunan.....	44
Gambar 4.11 Sirkulasi Udara pada Ruang Kelas Tipe C & Tipe D (Lantai 3 & 6) ...	45
Gambar 4.12 Sirkulasi Udara pada Ruang Kelas Tipe A & Tipe B (Lantai 3 & 6) ...	45
Gambar 4.13 Kedudukan Matahari yang Melintas di Atas Gedung.....	46
Gambar 4.14 Vegetasi pada sisi Timur Bangunan.....	49
Gambar 4.15 Vegetasi pada sisi Selatan Bangunan.....	50
Gambar 4.16 Vegetasi pada Belakang Gedung sebagai Taman Kecil.....	50
Gambar 4.17 Lokasi Ruang Kelas sebagai Objek Penelitian Lantai 3	51
Gambar 4.18 Lokasi Ruang Kelas sebagai Objek Penelitian Lantai 6	52
Gambar 4.19 <i>Keyplan</i> , Perspektif, dan Denah Ruang Kelas Tipe A Lantai 3.....	53
Gambar 4.20 <i>Keyplan</i> , Perspektif, dan Denah Ruang Kelas Tipe B Lantai 3	55
Gambar 4.21 <i>Keyplan</i> , Perspektif, dan Denah Ruang Kelas Tipe C Lantai 3	57
Gambar 4.22 <i>Keyplan</i> , Perspektif, dan Denah Ruang Kelas Tipe A Lantai 6.....	59
Gambar 4.23 <i>Keyplan</i> , Perspektif, dan Denah Ruang Kelas Tipe B Lantai 6	61
Gambar 4.24 <i>Keyplan</i> , Perspektif, dan Denah Ruang Kelas Tipe C Lantai 6	62
Gambar 4.25 Titik Pengukuran pada Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 3	64
Gambar 4.26 Titik Pengukuran pada Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 3	64
Gambar 4.27 Grafik Pengukuran Suhu Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 3.....	66
Gambar 4.28 Grafik Pengukuran Suhu Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 6.....	68
Gambar 4.29 Grafik Pengukuran Lembab Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 3..	70
Gambar 4.30 Grafik Pengukuran Lembab Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 6..	71
Gambar 4.31 Grafik Pengukuran Angin Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 3	73
Gambar 4.32 Grafik Pengukuran Angin Ruang Kelas Tipe A, B, dan C Lantai 6	74
Gambar 4.33 Grafik Simulasi pada Ruang Kelas Tipe A Lantai 3.....	75
Gambar 4.34 Grafik Simulasi pada Ruang Kelas Tipe B Lantai 3	76
Gambar 4.35 Grafik Simulasi pada Ruang Kelas Tipe C Lantai 3	78
Gambar 4.36 Grafik Simulasi pada Ruang Kelas Tipe A Lantai 6.....	79
Gambar 4.37 Grafik Simulasi pada Ruang Kelas Tipe B Lantai 6.....	80
Gambar 4.38 Grafik Simulasi pada Ruang Kelas Tipe C Lantai 6.....	81
Gambar 4.39 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Kelas Tipe A Lantai 3.....	86
Gambar 4.40 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Kelas Tipe B Lantai 3	88

Gambar 4.41 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Kelas Tipe C Lantai 3	89
Gambar 4.42 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Kelas Tipe A Lantai 6.....	90
Gambar 4.43 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Kelas Tipe B Lantai 6.....	91
Gambar 4.44 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Kelas Tipe C Lantai 6.....	93
Gambar 4.45 Aliran Udara Jendela <i>Awning</i> dan Jendela <i>Pivot</i>	104
Gambar 4.46 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe A Lt. 3.....	104
Gambar 4.47 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe B Lt. 3.....	105
Gambar 4.48 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe C Lt. 3.....	105
Gambar 4.49 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe A Lt. 6.....	106
Gambar 4.50 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe B Lt. 6.....	106
Gambar 4.51 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe C Lt. 6.....	107
Gambar 4.52 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe A Lt. 3 (sisi Barat) ...	108
Gambar 4.53 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe C Lt. 3 (sisi Barat) ...	108
Gambar 4.54 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe A Lt. 6 (sisi Barat) ...	109
Gambar 4.55 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe C Lt. 6 (sisi Barat) ...	109
Gambar 4.56 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Tipe A Lantai 3	110
Gambar 4.57 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 3 setelah Modifikasi.....	110
Gambar 4.58 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Tipe B Lantai 3	111
Gambar 4.59 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 3 setelah Modifikasi.....	112
Gambar 4.60 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Tipe C Lantai 3	113
Gambar 4.61 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 3 setelah Modifikasi.....	113
Gambar 4.62 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Tipe A Lantai 6.....	115
Gambar 4.63 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 6 setelah Modifikasi.....	115
Gambar 4.64 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Tipe B Lantai 6	116
Gambar 4.65 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 6 setelah Modifikasi.....	116
Gambar 4.66 Penambahan Jendela <i>Casement Side-hang</i> Tipe C Lantai 6	117
Gambar 4.67 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 6 setelah Modifikasi.....	117
Gambar 4.68 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe A Lt. 3.....	119
Gambar 4.69 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 3 setelah Modifikasi.....	120
Gambar 4.70 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe B Lt. 3.....	121
Gambar 4.71 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 3 setelah Modifikasi.....	121
Gambar 4.72 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe C Lt. 3.....	123
Gambar 4.73 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 3 setelah Modifikasi.....	123

Gambar 4.74 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe A Lt. 6.....	124
Gambar 4.75 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 6 setelah Modifikasi.....	125
Gambar 4.76 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe B Lt. 6.....	126
Gambar 4.77 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe B Lantai 6 setelah Modifikasi.....	126
Gambar 4.78 Penggantian Jendela <i>Awning</i> menjadi Jendela Putar Tipe C Lt. 6.....	128
Gambar 4.79 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 6 setelah Modifikasi.....	128
Gambar 4.80 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe A Lt. 3 (Barat)	129
Gambar 4.81 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 3 setelah Modifikasi.....	129
Gambar 4.82 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe C Lt. 3 (Barat).....	131
Gambar 4.83 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 3 setelah Modifikasi.....	131
Gambar 4.84 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe A Lt. 6 (Barat)	132
Gambar 4.85 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe A Lantai 6 setelah Modifikasi.....	132
Gambar 4.86 Pengaplikasian <i>Shading Device Eggcrate</i> Tipe C Lt. 6 (Barat).....	134
Gambar 4.87 Grafik Simulasi Ruang Kelas Tipe C Lantai 6 setelah Modifikasi.....	134



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenyamanan termal dibutuhkan oleh pengguna ruangan, terutama pengguna ruangan tersebut membutuhkan konsentrasi untuk pelaksanaan belajar mengajar. Sehingga, jika kenyamanan termal pada suatu ruangan kurang baik, maka dapat berpengaruh pada pola aktivitas pengguna dan menyebabkan ketidaknyamanan pengguna dalam melakukan aktivitas dan juga mengganggu konsentrasi belajar. Pada '*Manual of Tropical Housing and Building*' (Szokolay, 2014) menyebutkan kenyamanan tergantung pada variabel iklim (matahari/radiasinya, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin) dan beberapa faktor individual/subyektif seperti pakaian, aklimatisasi, usia dan jenis kelamin, tingkat kegemukan, tingkat kesehatan, jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi, serta warna kulit.

Definisi kenyamanan adalah interaksi dan reaksi manusia terhadap lingkungan yang bebas dari rasa negatif dan bersifat subyektif, terdiri dari kenyamanan psikis dan kenyamanan fisik. Kenyamanan psikis berhubungan dengan kejiwaan (rasa aman, tenang, gembira, dll.) yang terukur secara subyektif (kualitatif), sedangkan kenyamanan fisik meliputi kenyamanan visual, audial dan termal. Kajian termal bertujuan untuk memetakan rentang suhu atau zona nyaman terhadap kenyamanan pengguna bangunan. Pada bangunan, kenyamanan didefinisikan sebagai kondisi yang memberi sensasi menyenangkan atau tidak bagi pengguna bangunan tersebut (Karyono, 2007). Secara termal manusia dinyatakan nyaman apabila tidak menghendaki perubahan suhu lebih panas atau dingin dalam ruangan tersebut. Suhu udara, suhu radiant, kecepatan angin, kelembaban udara mempengaruhi tingkat kenyamanan termal, selain dari jenis pakaian dan aktivitas pengguna ruang.

Arah bangunan dan ventilasi pada ruangan mempengaruhi kenyamanan termal. Susanti dan Aulia (2013), menyatakan arah bangunan yang membelakangi atau menghadap matahari berpengaruh terhadap kenyamanan. Jumlah ventilasi dan perletakannya memiliki pengaruh terhadap kecepatan dan pertukaran udara di dalam ruangan yang berdampak pada tingkat kenyamanan termal ruang. Sistem ventilasi alami pada bangunan memiliki pengaruh yang besar bagi kenyamanan termal di dalam ruangan dikarenakan faktor angin dapat mengkompensasi temperatur udara yang tinggi di dalam ruang. Selain itu Lippsmeier (1980), bangunan yang berada di daerah tropis lembab sebaiknya memiliki orientasi yang tanggap terhadap arah angin dibandingkan perlindungan terhadap radiasi matahari. Seiring

kemajuan teknologi, dalam mengkondisikan ruangan agar nyaman bagi penggunaanya sering digunakan mesin penyejuk udara atau *Air Conditioner* (Satwiko, 2008). Aspek lain yang mendasari yaitu adanya penggunaan *air conditioner* sebagai penyelesaian termal bangunan, padahal belum diketahui secara pasti tingkat kenyamanan termal ruang dan kepuasan pengguna terhadap aspek kenyamanan termal ruang. Dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi sehingga dapat dipastikan apakah penyelesaian terhadap kenyamanan termal ruang harus menggunakan *air conditioner*.

Kasus yang diambil dalam penelitian ini adalah Gedung Pascasarjana Fakultas Hukum, bangunan mulai dibangun pada bulan Mei 2016 dan sampai saat ini masih belum selesai secara keseluruhan pada lantai sembilan ke atas sehingga belum difungsikan. Bangunan ini memiliki banyak kekurangan seperti pemasangan kolom struktur yang tidak tegak lurus dan sedikit miring beberapa derajat .

Massa bangunan berbentuk persegi panjang dengan sisi terpanjang bangunan berorientasi timur laut – barat daya. Terdapat banyak jendela bertipe bukaan awning dengan material kaca dan alumunium pada sisi terpanjang bangunan, rasio bukaan $\pm 40\%$ terhadap luas bidang. Desain fasad terhadap aspek tanggap iklim telah menggunakan pembayang sinar matahari sepanjang 60 cm pada bagian atas jendela dan pembayang vertikal dari bentuk fasadnya. Material finishing menggunakan plester dengan gradasi warna gelap pada lantai dasar, warna abu-abu pada dinding yang tidak memiliki bukaan dan warna putih pada dinding yang memiliki bukaan. Jenis bukaan ventilasi pada gedung berupa ventilasi mekanik yaitu transom pada bagian atas jendela sehingga pertukaran udara dengan ruang luar dapat terjadi tanpa bantuan penghawaan buatan, jenis bukaan yang berada pada kedua sisi ruang menyebabkan terjadinya ventilasi silang pada ruang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal ruang kuliah dan kepuasan pengguna ruang dengan menganalisa faktor – faktor penunjang kenyamanan termal. Gedung Pascasarjana Fakultas Hukum dioperasikan sebagai ruang kuliah dan praktek, dari kondisi eksisting yang ada telah terpasang *air conditioner* unit pada ruang-ruangnya. Beberapa hal yang mendasari terpilihnya sebagai objek kajian adalah karena gedung ini merupakan bangunan baru yang menampung banyak pengguna yang beragam dan belum dilakukannya kajian terhadap termal ruang. Aspek lain yang mendasari yaitu adanya penggunaan *air conditioner* sebagai penyelesaian termal bangunan, padahal belum diketahui tingkat kenyamanan termal ruang dan kepuasan pengguna terhadap aspek kenyamanan termal ruang. Kedua hal tersebut akanlah lebih baik jika telah diketahui sehingga dapat memastikan apakah penyelesaian terhadap kenyamanan termal ruang harus

menggunakan *air conditioner* atau dapat di rekayasa terkait ventilasi alami yang lebih baik, sehingga tidak menekankan penggunaan penghawaan buatan sebagai penyelesaian awal. Kondisi tipe bukaan pada gedung yang tidak mampu memasukkan angin ke dalam ruangan mengakibatkan hampir tidak adanya pergerakan udara di dalam ruangan sehingga dilakukan penelitian terkait kinerja ventilasi alami pada ruang. Kinerja dari ventilasi alami akan memberikan pengaruh terhadap kenyamanan termal.

1.2 Identifikasi Masalah

Pada identifikasi terhadap gedung pascasarjana fakultas hukum terdapat beberapa permasalahan terkait desain bangunan yang berpengaruh pada kenyamanan termal dan kinerja ventilasi alami ruang kelas:

- a. Suhu di dalam ruang kelas pada gedung pascasarjana cenderung tidak nyaman pada siang hari ketika tanpa menggunakan AC.
- b. Telah disediakan AC *central* pada ruang kuliah gedung tersebut mengindikasikan adanya penyelesaian tahap awal melalui penghawaan buatan.
- c. Tipe bukaan pada ruang kelas kurang mampu menangkap angin ke dalam ruangan dikarenakan arah angin pada tapak sejajar terhadap sisi bangunan.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada kajian studi ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana tingkat kenyamanan termal ruang kuliah gedung Pascasarjana Fakultas Hukum?
- b. Bagaimana kinerja ventilasi alami pada ruang kelas gedung Pascasarjana Fakultas Hukum?

1.4 Lingkup dan Pembahasan

Lokasi studi berada di gedung Pascasarjan Fakultas Hukum Universitas Brawijaya. Adapun lingkup dan batasan pembahasan agar tidak melebar dan kompleks adalah sebagai berikut:

- a. Objek yang diteliti merupakan ruang kuliah dan ruang praktik peradilan dengan tipe yang sama.

- b. Ruang kuliah terdapat pada lantai tiga sedangkan ruang praktik peradilan berada pada lantai enam.
- c. Pengukuran dilakukan pada tanggal 26 Maret 2019 – 28 Maret 2019 dengan kondisi cuaca beragam dari cerah, berawan dan hujan.
- d. Kenyamanan termal ruang dengan faktor yang diteliti adalah temperatur udara, kelembaban relatif dan kecepatan udara dan evaluasi terhadap kenyamanan temperatur udara daerah tropis
- e. Rekomendasi modifikasi desain berupa rekayasa bukaan yang menunjang kinerja ventilasi alami sebagai desain pasif pengendalian termal, terkait temperatur udara ruang.
- f. Hasil modifikasi desain dilakukan simulasi menggunakan aplikasi *Ecotect Analysis* 2011 dengan data iklim daerah Joyogrand, Kota Malang.

1.5 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah terkait kenyamanan termal dan kinerja elemen bukaan ruang kelas pada gedung Pascasarjana Fakultas Hukum, maka didapatkan beberapa tujuan.

- a. Mengetahui tingkat kenyamanan termal ruang kuliah gedung Pascasarjana Fakultas Hukum
- b. Mengetahui kinerja ventilasi alami pada ruang kelas gedung Pascasarjana Fakultas Hukum.

1.6 Kontribusi Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap beberapa pihak, diantaranya :

- a. Untuk umum, diharapkan penelitian ini mampu menjadi bahasan atau studi literatur dalam mencari tingkat kenyamanan termal bangunan terkait
- b. Terhadap fakultas Hukum, diharapkan hasil dan rekomendasi dari penelitian ini mampu menjadi acuan dalam tolak ukur tingkat kepuasan mahasiswa pada aspek kenyamanan termal ruang kelas.

- c. Terhadap peneliti sendiri, penelitian ini diharapkan mampu menjadi sarana pembelajaran dalam hal observasi, mengumpulkan data, analisa hingga memberikan gagasan rekomendasi terhadap suatu kasus.

1.7 Sistematika Pembahasan

Pada penelitian ini terdiri dari beberapa bab dan sub-bab sebagai penyusunnya, yang diuraikan sebagai berikut

A. Bab 1 Pendahuluan

1. Latar belakang

Pada sub-bab ini dijelaskan mengenai urgensitas penelitian, issue yang diangkat, originalitas studi dan kontribusi studi.

2. Identifikasi masalah

Merupakan media yang menjembatani antara latar belakang dan rumusan masalah, berisikan poin-poin penting yang terkait dengan permasalahan yang mengindikasikan pentingnya studi ini dilakukan dan menjadi awal penentuan rumusan masalah.

3. Rumusan masalah

Berisi permasalahan utama yang harus diselesaikan dalam studi/penelitian ini, dengan outputnya berupa solusi permasalahan yang dicapai dengan dasar teoritik, standar, regulasi dan analisis yang didasarkan pada kondisi lapangan

4. Lingkup dan pembahasan

Merupakan batasan pembahasan yang memungkinkan studi tidak melebar dan semakin kompleks, menjadikannya acuan fokus penelitian yang berisi batasan lokasi studi dan juga batasan substansi materi yang akan dibahas.

5. Tujuan penelitian

Memiliki tujuan penelitian yang menjawab rumusan masalah dengan bahasa yang seirama dengan rumusan masalah dan menjadi janji yang harus tepenuhi saat studi selesai dilakukan.

6. Kontribusi penelitian

Berisi manfaat, peran dan kegunaan jika studi ini selesai dilakukan dan menjadi parameter untuk mengetahui seberapa penting studi ini dilakukan.

7. Kerangka alur pemikiran

Merupakan gambaran penelitian yang dilakukan dalam bentuk diagram alur.

B. Bab II Tinjauan pustaka

Merupakan referensi – referensi atau sumber kepustakaan yang dilakukan melalui proses kajian literatur dapat berupa buku teks, jurnal, thesis, dll.

1. Teori

Berisikan definisi operasional maupun kajian umum / khusus terkait topik dan permasalahan yang ada.

2. Standar / regulasi

Berisikan peraturan pemerintah mengenai topik penelitian.

3. Komparasi

Merupakan komparasi riset terdahulu yang pernah dilakukan dengan lingkup riset terkait topik penelitian atau lokus penelitian yang sama dan dapat dijelaskan mengenai tingkat originalitasnya.

4. Kerangka teoritik

Merupakan bagan simpulan dari teori, regulasi dan komparasi yang mengerucut pada parameter operasional yang akan digunakan dalam studi.

C. Bab III Metode penelitian

Studi ini merupakan bentuk penelitian, bab ini berisi tentang bahan/materi/peralatan yang digunakan pada penelitian serta langkah kerja yang dilakukan pada saat pengambilan dan pengolahan data.

D. Bab IV Pembahasan

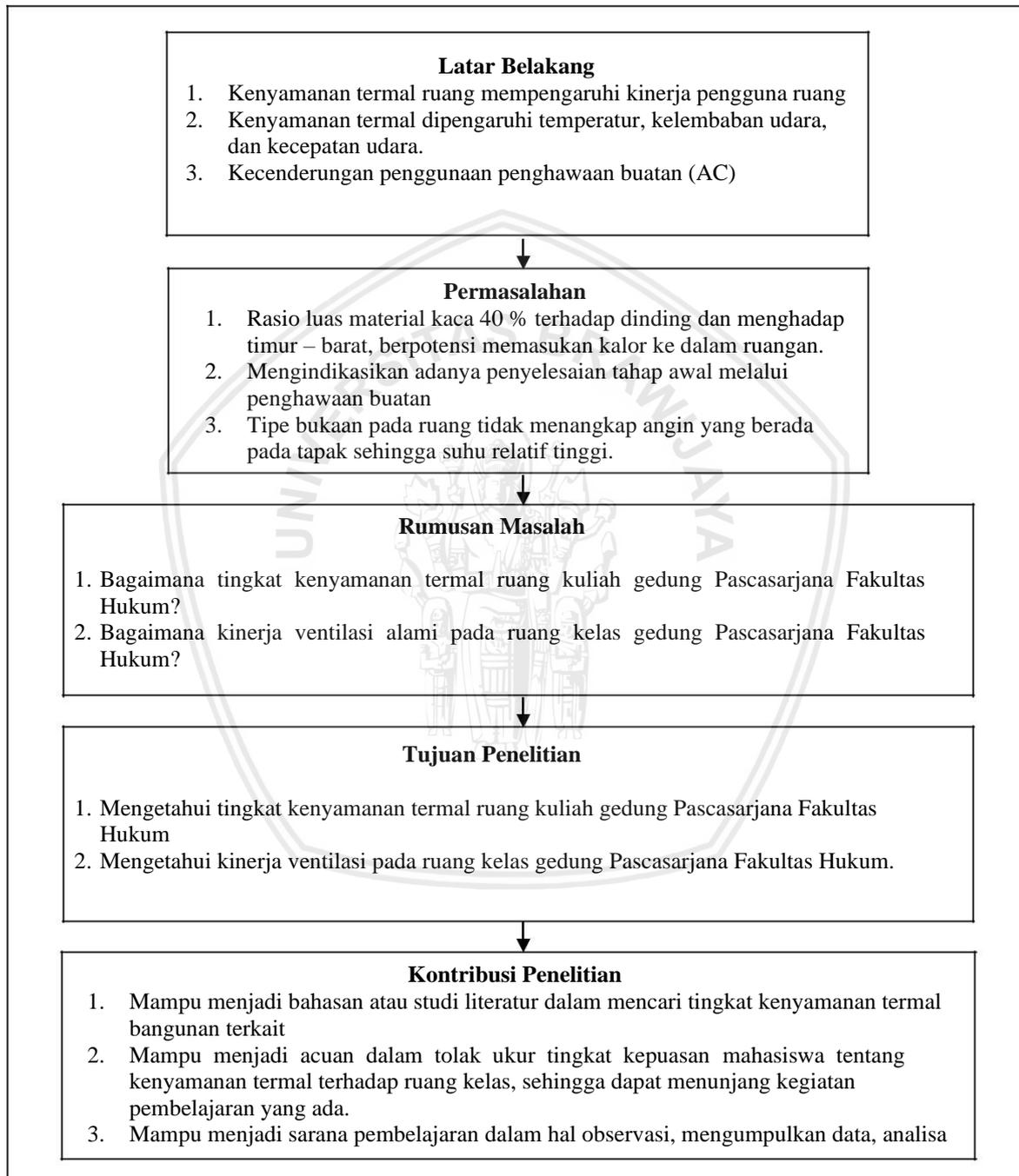
Berisi tentang data penelitian dan hasil yang didapat dari analisa/evaluasi yang dilakukan terhadap permasalahan kenyamanan termal pada ruang kelas gedung Pascasarjana Fakultas Hukum Universitas Brawijaya. Pembahasan pada bagian ini berupa perbandingan hasil yang ada dengan kesesuaian terhadap standar kenyamanan yang berlaku.

E. Bab V Kesimpulan dan saran

Berisi tentang kesimpulan terkait hasil analisa data, evaluasi kenyamanan ruang dan pengguna, serta memberikan saran dan rekomendasi yang dapat menunjang kenyamanan termal ruang sesuai dengan standar.

1.8 Kerangka Pemikiran

Alur pemikiran dengan pencarian topik dan isu yang ditunjang dengan orignalitas studi, kemudian dari permasalahan yang ada ditentukan tujuan dan manfaat studi



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gedung Kuliah

Gedung kuliah merupakan bangunan sebagai sarana pembelajaran dan administrasi akademik pada tingkatan perguruan tinggi, terdiri dari berbagai macam ruang diantaranya ruang kuliah, ruang akademik, ruang dosen, perpustakaan dan ruang – ruang penunjang. Ruang kuliah merupakan ruang pembelajaran teori atau praktik ringan seperti multimedia yang dimiliki oleh perguruan tinggi yang pada umumnya memiliki kapasitas pengguna hingga 40 orang, dengan karakteristik individu yang berbeda. Kenyamanan termal dan kualitas udara dalam ruangan kelas yang baik dapat memberi pengaruh positif tidak hanya pada kesehatan para siswa di dalamnya tetapi juga dapat membantu meningkatkan konsentrasi dan kinerja belajar siswa. Ketidakpuasan secara termal seperti ruangan kelas yang terasa panas atau dingin dapat diasosiasikan ke dalam stress fisik (secara termal) dan dapat menyebabkan para siswa di dalamnya menjadi sakit atau kurang berkonsentrasi. Oleh karena itu, kenyamanan termal di dalam kelas penting untuk diperhatikan karena kepadatan siswa yang tinggi di dalam kelas dapat memberi pengaruh negatif terhadap kinerja belajar siswa (Foong, 2008).

2.2 Pengertian Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai suatu kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal (Nugroho, 2006). Definisi yang lain menyebutkan sebagai lingkungan indoor dan faktor pribadi yang akan menghasilkan kondisi lingkungan termal yang dapat diterima sampai 80% atau lebih dari penghuni dalam sebuah ruang, namun tidak pernah tepat didefinisikan oleh standar, secara umum disepakati dalam komunitas riset kenyamanan termal yang diterima adalah identik dengan 'Kepuasan', dan kepuasan dikaitkan dengan sensasi panas 'sedikit hangat,' netral', dan 'Sedikit dingin'. Pemaknaan berdasarkan pada pendekatan psikologis lebih banyak digunakan oleh para pakar pada bidang termal.

Kenyamanan termal menurut Karyono (2001) adalah sensasi panas atau dingin sebagai wujud respon dari system peraba dan perasa dari kulit terhadap stimuli suhu di

sekitarnya dan dapat memberikan perasaan nyaman dan menyenangkan bagi penghuninya. Kenyamanan termal merupakan suatu pemikiran manusia dimana kepuasan didapat setelah menerima sebuah keadaan termal, keadaan ini dialami secara sadar maupun tidak (ASHRAE, 2009). Terdapat 5 faktor/aspek yang mempengaruhi termal, yaitu:

- a. **Temperatur udara**, temperatur udara atau juga disebut suhu udara merupakan aspek yang paling dominan dalam menentukan kenyamanan termal. Temperature udara pada satu daerah dengan daerah lainnya tidak sama, karena terdapat aspek seperti sudut jatuh sinar matahari, ketinggian wilayah, arah angin, arus laut, dan lama radiasi matahari. Satuan pengukuran temperature udara yang digunakan adalah Celcius, Fahrenheit, Reamur, dan Kelvin.
- b. **Radiasi matahari**, radiasi matahari adalah panas yang berasal dari proses thermonuklir matahari. Radiasi matahari juga menyebabkan semua ciri umum iklim yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Saat radiasi matahari yang menghasilkan yang menghasilkan energy panas jatuh pada selubung bangunan, mempengaruhi jumlah panas yang terdapat pada sebuah bangunan.
- c. **Kelembaban udara**, kelembaban udara adalah jumlah kandungan air yang terdapat dalam udara. Kelembaban udara juga sangat mempengaruhi kondisi iklim dan cuaca pada suatu daerah. Kandungan uap air di udara dapat berubah-ubah sesuai dengan tinggi – rendahnya suhu udara. Pada musim hujan suhu udara akan menurun sedangkan kelembaban meninggi, dan sebaliknya apabila suhu udara meninggi maka kelembaban udara semakin sedikit. Dengan kata lain kelembaban udara berbanding terbalik dengan suhu udara.
- d. **Kecepatan angin**, adalah kecepatan aliran udara yang bergerak secara horizontal pada ketinggian minimal dua meter di atas permukaan tanah. Angin terjadi karena adanya tekanan udara yang berbeda pada suatu area dengan area yang lain dan berada di sekitarnya. Kecepatan angin dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Aspek-aspek yang mempengaruhi kecepatan angin antara lain berupa gradient barometris, lokasi, dan waktu.
- e. **Aktifitas**, aktifitas yang terwadahi dalam suatu ruang yang didalamnya dilakukan oleh manusia, metabolismenya akan meningkat seiring dengan semakin tinggi intensitas aktifitas yang dilakukan, maka semakin besar pula peningkatan metabolisme yang terjadi di dalam tubuh sehingga energy dan panas semakin besar yang dikeluarkan.

Dalam fokus penelitian ini, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin merupakan faktor yang akan diteliti, dianalisa, dan membuat modifikasi terhadap tata

ventilasi untuk mencapai kebutuhan yang sesuai dengan standar kenyamanan termal. Tiga faktor tersebut memiliki tingkat kenyamanannya masing-masing, hal tersebut juga sebagai parameter kualitas tata ventilasi dalam ruangan pada sebuah ruangan

2.2.1 Standar kenyamanan termal

Batas – batas kenyamanan termal ditentukan melalui reaksi sejumlah orang terhadap faktor yang mempengaruhi kenyamanan. Kondisi iklim pada khatulistiwa memiliki batas kenyamanan antara 19°C TE - 26°C TE (temperatur efektif) dengan keadaan temperatur diatasnya seperti berikut (Lippsmeier, 1980):

1. Suhu 26°C TE, umumnya penghuni sudah mulai berkeringat.
2. Suhu 26°C TE - 30°C TE, daya tahan dan kemampuan kerja mulai menurun.
3. Suhu 33,5°C TE - 35,5 °C TE, kondisi lingkungan mulai sukar.
4. Suhu 35°C TE - 36°C TE, kondisi lingkungan tidak memungkinkan lagi.

Beberapa penelitian terkait batas – batas kenyamanan termal juga pernah dilakukan oleh beberapa peneliti dan dinyatakan dalam temperatur efektif sebagai berikut.

Tabel 2.1 Penelitian mengenai batas kenyamanan termal

Pengarang	Tempat	Batas Kenyamanan
ASHRAE	USA selatan (30° LU)	20,5 – 24,5°C TE
Rao	Calkutta (22° LU)	20 – 24,5 °C TE
Webb	Singapura (Khatulistiwa)	25 – 27 °C TE
Mom	Jakarta (6° LU)	20 – 26 °C TE
Ellis	Singapura (khatulistiwa)	22 – 26 °C TE

Sumber : Lippsmeier, 1980

Temperatur dalam ruangan yang sehat berdasarkan peraturan MENKES NO.261/MENKES/SK/II/1998 adalah temperatur ruangan yang berkisar antara 18°C -26°C. Selain itu, berdasarkan standar yang ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001, ada tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia yang dikategorikan atas tiga bagian.

Tabel 2.2 Tingkatan temperatur nyaman orang Indonesia

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

Sumber : SNI 03-6572 (2001)

Temperatur Efektif tidak sama dengan Suhu Tabung Kering yang ditunjukkan oleh termometer. Berdasarkan SNI 03-6572, 2001 mengenai ventilasi dan pengkondisian udara gedung, temperatur efektif (TE) diartikan sebagai indeks lingkungan yang terdiri dari temperatur dan kelembaban udara yang digabungkan dalam satu indeks, memiliki arti bahwa pada temperatur tertentu respon orang pada kondisi tersebut adalah sama. Meskipun memiliki temperatur dan kelembaban yang berbeda, tetapi kecepatan udara yang dimiliki harus sama.

Menurut Szokolay (2014), suhu netral diperlukan karena berhubungan dengan kenyamanan pengguna, hal ini dapat ditemukan dengan persamaan suhu netral sebagai berikut:

$$T_n = 17,6 + 0,31 T_{o.av}$$

Keterangan:

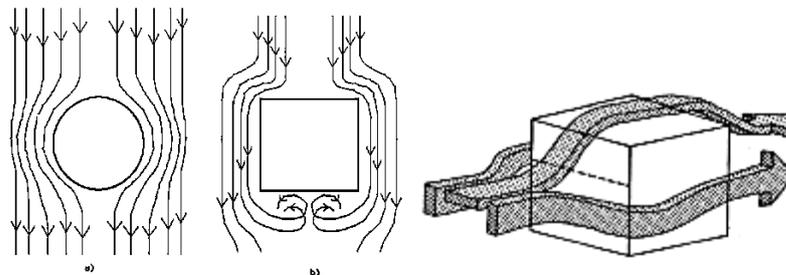
T_n : Suhu Netral (°C)

$T_{o.av}$: suhu rata-rata per bulan (°C)

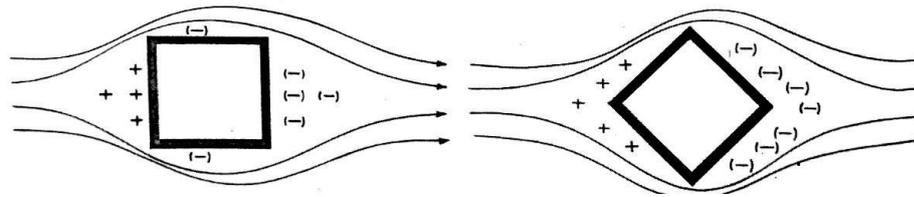
Kondisi rata-rata suhu netral dapat berubah-ubah mengikuti kondisi bulanan suatu daerah (Szokolay, 2014). Dari persamaan tersebut suhu netral menjadi batas dasar zona nyaman dengan rentang suhu 5° C diantara suhu netral terendah ($T_n - 2,5$) °C sampai suhu netral tertinggi adalah ($T_n + 2,5$) °C.

2.2.2 Desain dan pengaruh orientasi bangunan terhadap pergerakan matahari

Bentukan massa mempengaruhi aspek desain bangunan terhadap kenyamanan termal bangunan terutama pada laju angin. Bentuk massa yang tak memiliki sudut bangunan memungkinkan aliran udara bergerak melalui selubung bangunan tanpa terjadinya tabrakan yang menyebabkan bayangan angin.

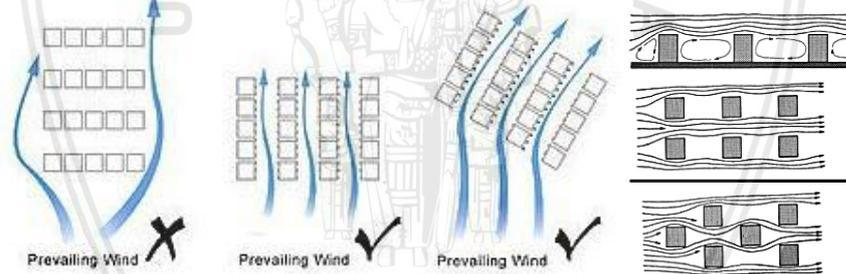


Gambar 2.1 Pola pergerakan angin terhadap bentuk bangunan
(Sumber:Lechner, 2007)



Gambar 2.2 Udara yang mengalir di sekitar bangunan
(Sumber: Lechner, 2007)

Selain itu, orientasi bangunan sangat menentukan jumlah radiasi matahari yang jatuh pada permukaan bangunan. Pada iklim tropis, fasad bangunan yang berorientasi timur-barat merupakan bagian yang paling banyak terkena radiasi matahari (Mangunwijaya, 1980). Pada umumnya, bangunan yang terbangun membujur dari timur sampai barat lebih menguntungkan daripada bangunan yang memanjang dari utara-selatan, karena menerima beban panas dari radiasi matahari sehingga mempengaruhi kondisi termal di dalam bangunan. Maka dari itu, orientasi bangunan sangat memberi pengaruh terhadap kondisi termal. Selain orientasi bangunan terhadap matahari orientasi terhadap arah laju angin ke dalam ruangan juga mempengaruhi kenyamanan termal bangunan ke dalam bangunan (Boutet, 1987).



Gambar 2.3 Perbedaan pola perletakan massa terhadap laju angin
(Sumber: (Boutet, 1987)

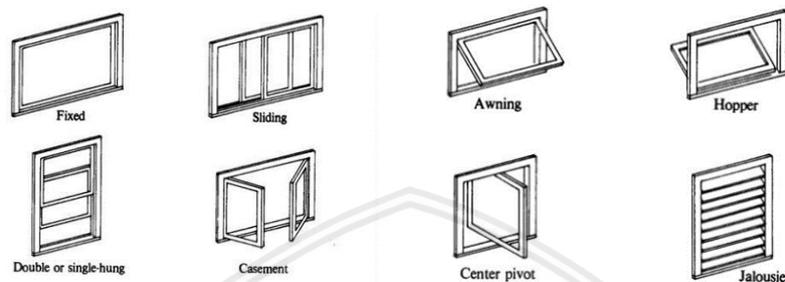
Dalam peletakan massa bangunan, apabila peletakan massa dibentuk pola seperti papan catur, maka akan menciptakan aliran udara yang merata dan bangunan tidak berada di bawah daerah bayangan angin. Atau membangun massa dalam posisi berjajar, dapat menyebabkan kantung-kantung turbulensi yang mengandung pergerakan udara kecil sehingga tercipta pola lompatan yang tidak biasa pada arus angin.

2.2.3 Desain bukaan

Bukaan berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam ruangan dan mengurangi tingkat kelembaban di dalam ruangan. Biasanya, bukaan yang baik direkomendasikan untuk terjadinya cross ventilation atau ventilasi siang, dimana dua bukaan berupa jendela atau pintu yang terletak saling berseberangan dalam suatu ruangan. Ventilasi ini bekerja dengan

memanfaatkan perbedaan zona bertekanan tinggi dan rendah yang tercipta oleh udara. Perbedaan tekanan pada kedua sisi bangunan akan menarik udara segar memasuki bangunan dari satu sisi dan mendorong udara pengab yang terperangkap dalam ruangan untuk keluar ruangan dari sisi lain.

Tipe bukaan yang berbeda juga memberi sudut pengarah yang berbeda dalam menentukan arah gerak aliran udara dalam ruang.



Gambar 2.4 Contoh jenis-jenis bukaan
(Sumber: Frick dan Pujo, 1998; Backet et all 1974)

Pada umumnya, di bangunan sekolah terdapat berbagai jenis dan bentuk ventilasi. Ventilasi pada ruangan-ruangan kelas berupa jendela, lubang angin atau looster, dan pintu yang berbagai macam tipenya.

2.3 Ventilasi Alami

Berdasarkan KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), ventilasi merupakan tempat udara dapat keluar dan masuk secara bebas, atau dapat juga diartikan angin yang bergerak melewati ruangan (Melaragno, 1982). Pada daerah yang beriklim tropis, hembusan angin diperlukan untuk mempercepat proses penguapan kulit pada tubuh pengguna sehingga ketidaknyamanan dapat dikurangi. Ventilasi alami adalah proses pergantian udara ruangan oleh udara segar dari luar ruangan tanpa melibatkan peralatan mekanis. Ventilasi alami bertujuan menyediakan udara segar ke dalam ruangan demi kesehatan penghuninya karena dapat mengurangi kadar polusi dalam udara, membantu menciptakan kenyamanan termal bagi penghuni, membantu pendinginan bangunan secara pasif, dan menghemat energi yang terpakai pada bangunan (Satwiko, 2004). Menurut cara membukanya, ventilasi alami ada dua macam, yaitu ventilasi alami yang terbuka permanen dan ventilasi alami temporer yang dapat dibuka dan ditutup.

Sebaiknya sebuah ruang mempunyai keduanya. Ventilasi permanen untuk menjamin pertukaran udara minimal setiap hari, sedangkan ventilasi temporer difungsikan apabila memerlukan kondisi penghawaan yang lebih baik, misalnya ketika jumlah penghuni ruang semakin banyak, atau ketika cuaca sangat panas. Contoh ventilasi alami yang terbuka

permanen adalah roster, sedangkan untuk ventilasi alami temporer yang dapat dibuka dan tutup adalah jendela, pintu, boven, dan jalusi/ kreyak. Dalam kaitannya dengan kenyamanan termal, ventilasi alami berfungsi meniupkan angin untuk mempercepat proses penguapan pada kulit dan mencegah ketidaknyaman yang disebabkan oleh kepanasan dan kelelahan kulit.

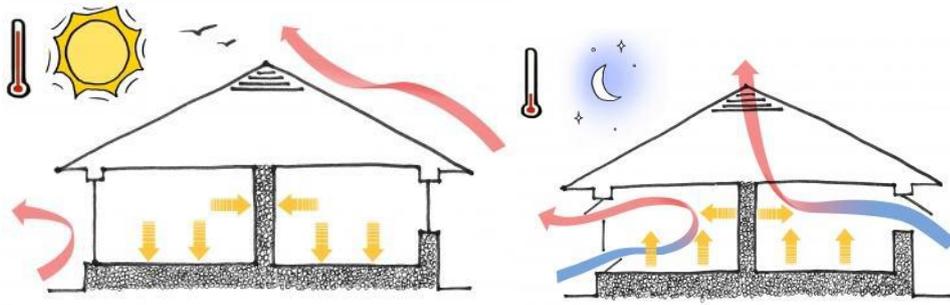
2.3.1 Standar ventilasi alami

Berdasarkan SNI 03-6572-2001, keadaan lingkungan yang mempengaruhi kenyamanan penghuni dalam suatu ruangan adalah sirkulasi udara. Suatu ruangan yang layak ditempati, misalkan kantor, pertokoan, pabrik, ruang kerja, kamar mandi, binatu dan ruangan lainnya untuk tujuan tertentu, harus dilengkapi dengan ventilasi. Ventilasi terbagi atas ventilasi alami dan ventilasi yang diambil dari ruang yang bersebelahan. Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disebabkan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi. Ventilasi alami yang disediakan harus terdiri dari bukaan permanen, jendela, pintu atau sarana lain yang dapat dibuka dengan kriteria sebagai berikut

- a. Jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 10% terhadap luas lantai ruangan yang membutuhkan ventilasi.
- b. Arahnya menghadap ke halaman berdinding dengan ukuran yang sesuai atau daerah yang terbuka ke atas.

2.3.2 Prinsip dasar ventilasi inlet dan outlet

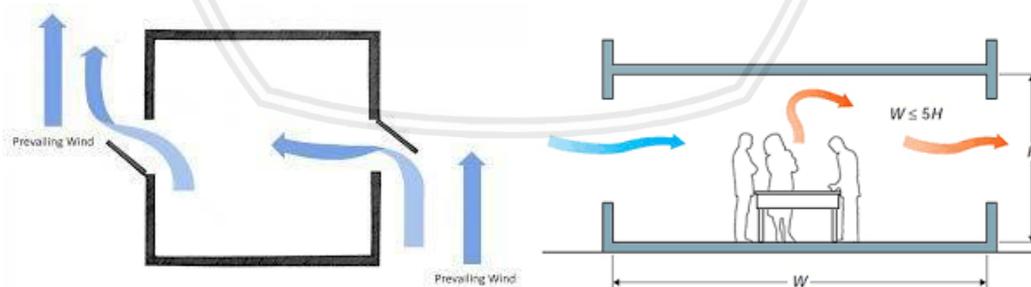
Prinsip dasar dari instalasi ventilasi pada sebuah bangunan adalah untuk membuat udara menjadi mudah bergerak dari dan ke dalam ruangan. Udara dapat mengalir dari tempat yang bersuhu rendah (dingin) ke tempat yang bersuhu tinggi (panas). Dari hal ini dapat diasumsikan bahwa kita memerlukan udara dingin yang berada di luar bangunan untuk dialirkan ke dalam bangunan yang bersuhu tinggi atau panas. Dalam hal ini, pepohonan di sekitar bangunan dapat dimanfaatkan sebagai sumber mengalirnya udara. Dengan demikian, ventilasi udara yang terinstalasi di bangunan sebaiknya mengarah ke ruang terbuka dengan pepohonan.



Gambar 2.5 Aliran udara terjadi karena perbedaan berat jenis udara luar dan dalam bangunan
(Sumber : Moore, 1993).

Prinsip utama dari instalasi ventilasi adalah menggerakkan udara panas, kotor, dan yang terperangkap di dalam sebuah ruang, lalu menggantikannya dengan udara bersih. Sistem ventilasi merupakan fasilitas yang sangat penting menurut ILO (1991) dalam upaya menciptakan udara yang sehat pada suatu lingkungan aktifitas, dan ventilasi digunakan untuk memberikan kondisi sejuk atau panas dan lembab di lingkungan aktifitas. Fungsi lain dari ventilasi adalah untuk meminimalisir konsentrasi debu dan gas-gas yang dapat menyebabkan racun, peledakan, dan kebakaran

Berdasarkan prinsip aliran udara, terdapat dua cara untuk mengalirkan udara, yaitu dengan ventilasi horisontal yang berarti aliran udara secara mendatar, dan ventilasi vertikal yaitu aliran udara mengalir dari bawah menuju ke atas dimana tekanan udara lebih panas. Penempatan lubang ventilasi harus diperhatikan dengan arah datangnya angin. Apabila sebuah ruangan hanya memiliki satu sisi bukaan, maka akan memungkinkan timbulnya kantong udara.



Gambar 2.6 Peran ventilasi silang dalam sebuah ruangan
(Sumber : Moore, 1993).

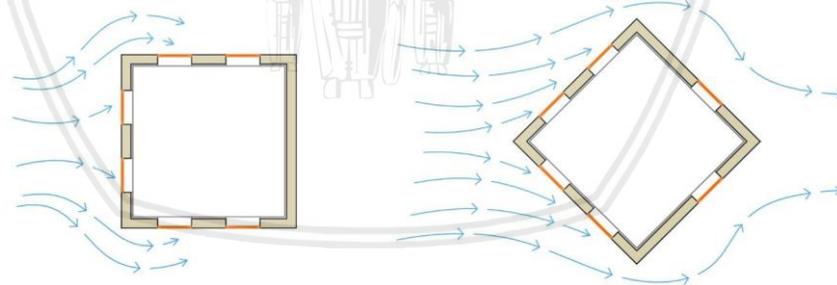
Ventilasi yang baik adalah yang memiliki dua sisi bukaan yang berlawanan arah sehingga dapat terjadi cross ventilation, sehingga udara yang masuk (inlet) di satu sisi bukaan menyebar ke penjuru ruangan yang pada akhirnya keluar (outlet) pada bukaan di sisi lainnya yang berseberangan. Pada umumnya, besar lubang ventilasi yang meliputi bukaan pintu dan jendela yang baik untuk kapasitas ruangan adalah sepertiga dari luas lantai

ruangan. Dan jalur aliran udara yang masuk dan keluar setidaknya harus memiliki ukuran yang sama, apabila tidak maka jalur inlet harus berukuran lebih besar agar kecepatan aliran udara maksimal. Namun, lubang inlet tidak selalu menentukan kecepatan aliran, tetapi juga menentukan pola aliran udara yang masuk ke dalam ruangan. Sebaliknya, penempatan lubang outlet memiliki efek yang relatif kecil pada hal kecepatan dan pola aliran udara (Moore, 1993).

Selain dari prinsip udara, secara umum kita mengenal beberapa bentuk ventilasi, diantaranya ventilasi alami dan ventilasi buatan, bentuk dan tipe jendela, dan orientasi ventilasi. Hal ini akan dijelaskan pada sub bab berikut.

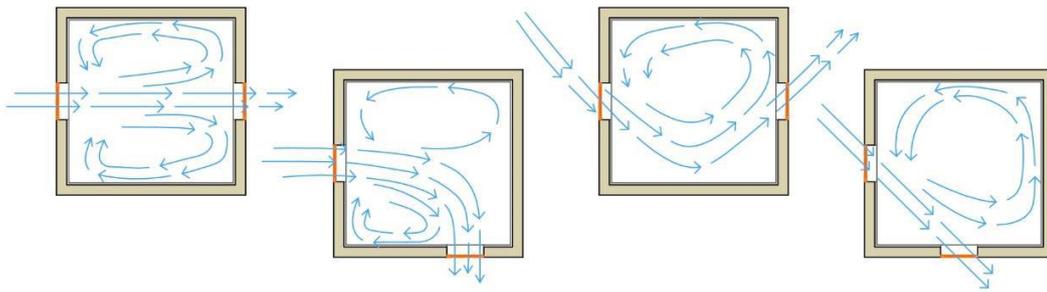
2.3.3 Orientasi Ventilasi

Bukaan berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam ruangan dan mengurangi tingkat kelembaban di dalam ruangan. Biasanya, bukaan yang baik direkomendasikan untuk terjadinya cross ventilation atau ventilasi siang, dimana dua bukaan berupa jendela atau pintu yang terletak saling berhadapan dalam suatu ruangan. Ventilasi ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan zona bertekanan tinggi dan rendah yang tercipta oleh udara. Perbedaan tekanan pada kedua sisi bangunan akan menarik udara segar memasuki bangunan dari satu sisi dan mendorong udara pengab yang terperangkap dalam ruangan untuk keluar ruangan dari sisi lain



Gambar 2.7 posisi bangunan terhadap arah datangnya aliran udara
(Sumber : Lippsmeier, 1980)

Posisi bangunan yang melintang terhadap arah datangnya angin primer sangat dibutuhkan untuk penurunan suhu udara. Posisi, jenis dan ukuran bukaan pada sisi bawah dan atas bangunan dapat menciptakan peningkatan efek ventilasi silang di dalam ruang sehingga pergantian udara pengab dan kelembaban dalam ruangan dapat dihindari. Selain itu posisi peletakan dan orientasi lubang inlet outlet juga perlu diperhatikan, dimana aliran udara yang bergerak datang dapat mengakibatkan perbedaan arah dari kecepatan gerak udara.



Gambar 2.8 Pola kecepatan udara berdasarkan posisi inlet terhadap outlet
(Sumber : Melaragno, 1982)

Pada model dasar ruangan yang berbentuk segi empat dapat diletakkan posisi inlet outlet seperti pada gambar diatas. Didentifikasi:

- Posisi inlet outlet berhadapan, terletak pada dua sisi dinding yang berhadapan baik letaknya tepat berhadapan atau terletak di sisi sudut yang berseberangan. Jika letak lubang tepat berhadapan maka aliran angin yang memasuki ruangan akan bergerak lurus dan langsung keluar melalui outlet tanpa ada pembelokan aliran yang signifikan. Namun apabila letak lubang berada di sudut atau terletak tidak langsung berhadapan maka ada kesempatan aliran udara untuk berbelok mengisi ruangan.
- Posisi inlet outlet bersebelahan, yaitu posisi inlet yang terletak pada sisi dinding yang tegak lurus dengan sisi dinding letak outlet
- Posisi inlet outlet sisi sama adalah posisi inlet outlet yang terletak pada sisi dinding yang sama dan lubangnya bersebelahan

2.3.4 Dimensi dan rasio ventilasi

Hubungan antara dimensi dan rasio ventilasi terhadap pergerakan aliran udara di dalam ruangan adalah meliputi laju dan penggantian udara atau air flow and air changes. Makin luas dimensi inlet maka laju dan pergantian udara makin tinggi. Diperlukan luas bukaan minimal untuk lubang inlet dengan nilai tertentu agar pergerakan sirkulasi udara berjalan dengan baik. Luas tersebut adalah rata-rata besaran ventilasi pada suatu ruangan di lingkungan dengan iklim tropis basah dan kondisi kecepatan udara normal berkisar 0,6 m/s sampai dengan 1,5 m/s. Selanjutnya diperjelas dengan tabel peningkatan kecepatan aliran udara berdasarkan rasio luas bukaan ventilasi (ASHRAE, 1981 Fundamentals p. 22. 7)

Tabel 2.3 Peningkatan kecepatan aliran udara di dalam ruangan berdasarkan rasio outlet inlet

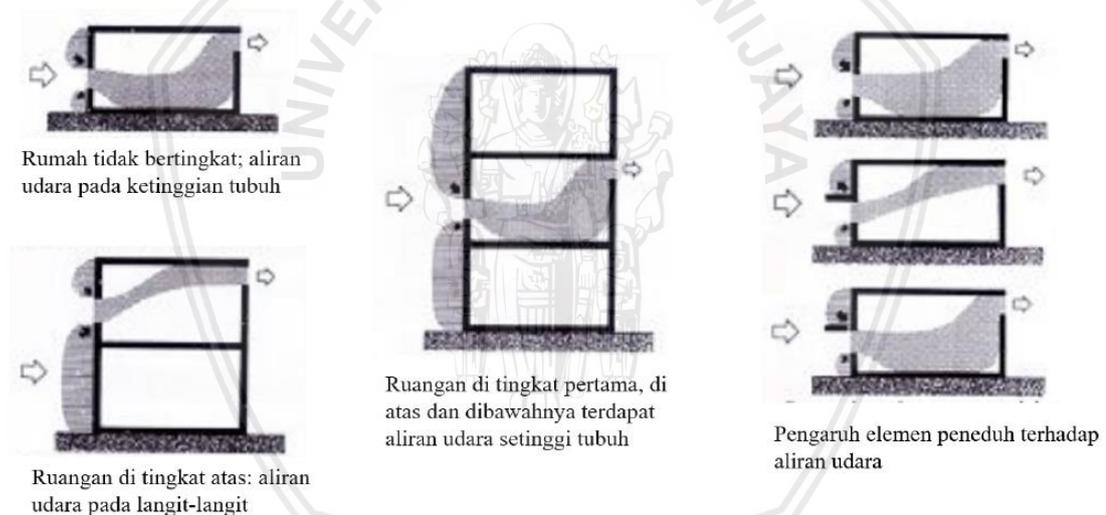
RASIO	PENINGKATAN (%)
1 : 1	0
1,5 : 1	17,5
2 : 1	26

2,5 : 1	31
3 : 1	34
3,5 : 1	36
4 : 1	37
6 : 1	38

(Sumber :ASHRAE, 1981 Fundamentals p. 22. 7)

2.3.5 Ventilasi Alami

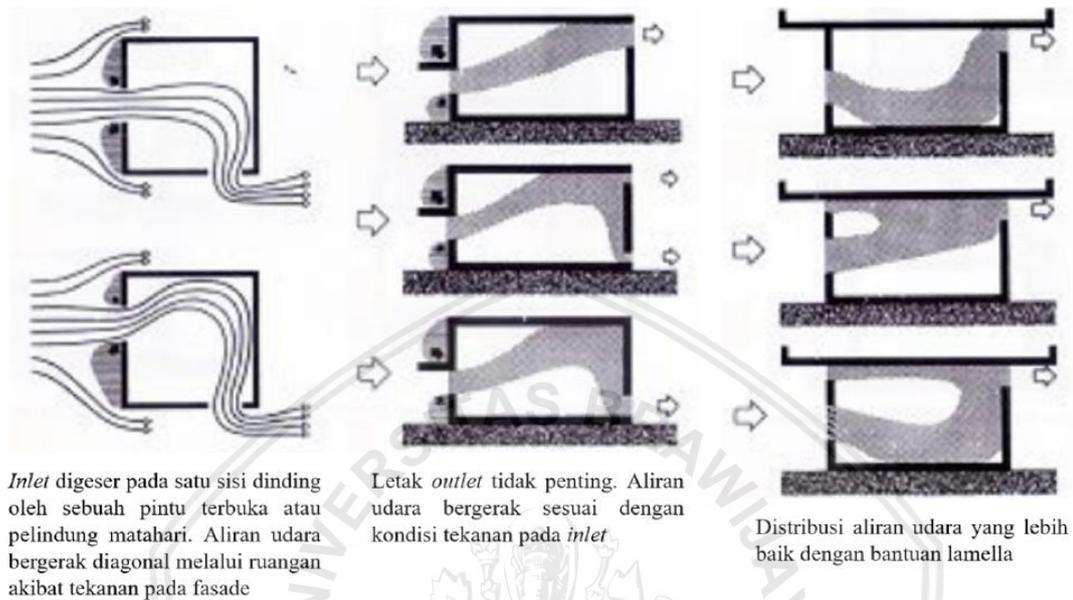
Ventilasi alami, atau natural ventilation adalah sebuah pertukaran udara secara alami dengan tidak menggunakan alat-alat mekanik bantuan seperti air conditioner atau kipas angin atau dengan kata lain tidak menggunakan energi tambahan. Ventilasi alami bekerja sebagai jalan masuk dan keluar pertukaran udara yang ada di dalam ruangan. Sesuai dengan jenisnya yaitu ventilasi alami, maka jenis ini menawarkan ventilasi yang hemat, sehat, dan nyaman.



Gambar 2.9 Aliran udara pada bangunan
(Sumber : Lippsmeier, 1994)

Untuk terwujudnya ventilasi alami yang baik, terdapat beberapa syarat awal, diantaranya: udara luar ruangan yang sehat (bebas dari debu, polutan lain yang mengganggu), suhu udara pada luar ruangan tidak lebih dari 28°C, pada lingkungan bangunan tidak terdapat banyak bangunan yang menghimpit sehingga tidak menghalangi aliran udara horizontal agar udara berhembus lancar, dan lingkungan tidak di dalam kebisingan. Sedangkan untuk standar luas ventilasi alami (Suma^omur, 1987) adalah 20% dari luas lantai ruangan. Ventilasi alami bukan sebagai upaya efektif apabila digunakan sebagai cara untuk mengurangi emisi debu, gas dan vapours dalam ruangan. Hal ini

dikarenakan dengan penentuan parameter yang diketahui yaitu kecepatan angin, tekanan air pada luar bangunan, arah angin, radiasi, dan besar pengaruh lubang yang terdapat pada dinding dan atap. Akan lebih efektif apabila ventilasi alami bertujuan untuk memberi kenyamanan dan menciptakan ruang yang segar pada ruangan



Gambar 2.11 Aliran udara pada bangunan
(Sumber : Lippsmeier, 1994)

Ventilasi yang diberikan pada ruang atap dan plafon juga sangat diperlukan agar tidak terjadi akumulasi panas pada ruangan. Panas yang ada akan ditransmisikan ke ruang di bawah plafon. Ventilasi atap sangat dibutuhkan untuk mencapai suhu yang rendah.

Apabila semua syarat dan standar di atas telah terpenuhi, maka ventilasi alami memiliki nilai-nilai positif, diantaranya : hemat energi; kesan alami yang diperoleh dari penghubungan iklim antara luar bangunan dan dalam ruangan; lebih ekonomis dikarenakan biaya pelaksanaan dan perawatan lebih relatif murah dibanding dengan ventilasi buatan; dan tidak menggunakan mesin atau alat bantu.

Disamping nilai positif dari ventilasi alami, terdapat nilai negatif, diantaranya: pengaturan suhu, kelembaban, kualitas udara (polutan udara), kecepatan angin yang tidak dapat diatur dan sulit dicegah; gangguan serangga; gangguan lingkungan bangunan seperti kebisingan; dan bukaan yang mungkin dapat beresiko terhadap keamanan.

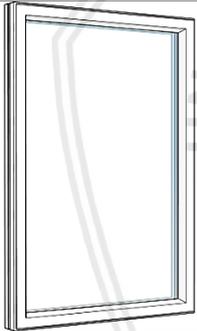
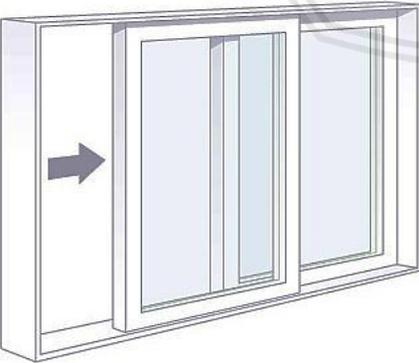
2.3.6 Tipe-tipe dan jenis jendela berdasarkan cara kerja

Terdapat banyak jenis jendela yang bervariasi dengan tipe dasar sampai kombinasi dalam mengatur aliran udara, jendela dikelompokkan berdasarkan cara kerjanya sebagai berikut,

- Tipe gantung : peletakkan engsel jendela yang terletak di atas (menggantung), gantung samping, atau gantung bawah.
- Tipe geser : daun jendela memiliki roda dan pada kusen terdapat rel untuk menggeser daun jendela membuka menutup secara horizontal atau vertical
- Tipe putar : biasanya tuas putar diletakkan di tengah daun jendela dan menggantung di atas atau di sisi samping

Berikut jenis-jenis jendela dengan cara kerja dan besar kemampuan mengalirkan udara,

Tabel 2.4 jenis-jenis jendela dan cara kerjanya

Jenis Jendela	Keterangan
 <p data-bbox="352 1305 603 1335"><i>Fixed Window (0%)</i></p>	<p>Fixed window atau yang biasa disebut dengan jendela mati adalah jendela yang tidak memiliki lubang ventilasi dan bermaterial kaca penuh yang fungsinya hanya untuk memasukkan sumber cahaya sehingga menerangi ruangan dan jendela ini tidak dapat meneruskan udara yang artinya 0% udara tidak dapat bersikulasi.</p>
 <p data-bbox="344 1800 611 1830"><i>Sliding window (45%)</i></p>	<p>Sliding window atau jendela geser, adalah jendela yang cara membukanya dengan menggeser secara horizontal pada satu daun pintu, dan satu daun pintu lainnya menjadi jendela mati. Pada umumnya, sliding window memiliki rel di bawah atau di atas daun pintu jendela yang menempel pada kusen jendela. Jendela ini mampu dilalui udara masuk maupun keluar atau bersikulasi sebesar 45%.</p>



Double hung window (45%)

Double hung window, jendela dengan daun pintu ganda ini disusun secara vertikal dan cara membukanya adalah dengan menggeser salah satu daun jendela secara vertikal.



Single hung window (45%)

Single hung, jendela yang secara prinsip kerjanya sama dengan double hung window namun hanya memiliki satu daun jendela yang dapat digeser, sehingga single hung hanya dapat membuka 50% dari total luas bukaan. Kedua jendela ini mampu menangkap aliran angin sebesar 45%, cukup baik untuk diletakkan dengan searah arah datangnya aliran angin.



Casement Window (90%)

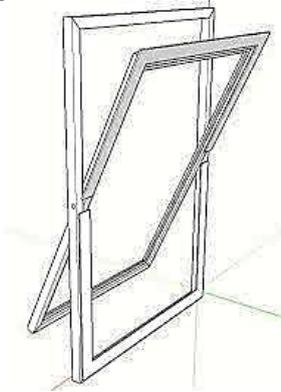
Jendela ini merupakan jendela ayun dan memiliki satu atau dua daun jendela yang dapat dibuka keduanya keluar atau ke dalam karena memiliki engsel di tiap satu sisi daun jendela. Jendela ini mampu menyediakan bukaan 100% dan mengalirkan udara sebesar 90%, sehingga jendela ini termasuk sangat baik untuk digunakan sebagai penghawaan alami.



**Awning Window (75%) dan
Hopper Window (45%)**

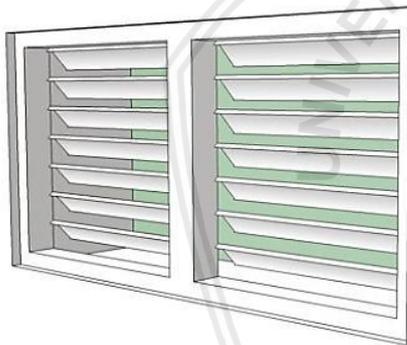
Prinsip kerja dari jendela ini yaitu sama dengan jendela tipe casement, perbedaannya terdapat pada peletakan engsel daun jendela yang terletak pada sisi atas daun jendela (awning) dan pada sisi bawah (hopper). Arah terbuka dari jendela ini adalah keluar, dan dengan adanya sudut pada bukaan daun pintu dapat menangkap udara sesuai dengan kebutuhan. Namun, tipe awning lebih baik dalam menangkap 75% udara dibandingkan tipe hopper yang hanya mampu menangkap 45% udara. Hal ini

dikarenakan bahwa udara mengalir dari bawah menuju atas, sehingga jendela awning yang bukaannya mengarah ke bawah lebih mudah menangkap udara.



Pivot Window (80%)

Jendela Pivot adalah jendela yang kerjanya dengan cara diputar karena memiliki engsel di tengah. Jendela dapat diputar 90 derajat atau 180 derajat secara vertikal atau horizontal sehingga udara yang dapat ditangkap dari sisi atas dan bawah putaran engsel dan mampu menangkap 80% udara.



Jalousie Window (90%)

Jendela Jalousie memiliki sirip-sirip panjang horizontal yang tersusun rapat atau yang disebut kisi-kisi jendela. Biasanya di Indonesia disebut dengan jendela nako (kisi terbuat dari kaca atau partisi kayu). Udara yang dapat ditangkap sebesar 90%, sehingga jendela ini baik untuk mengatur penghawaan



French Window (45%)

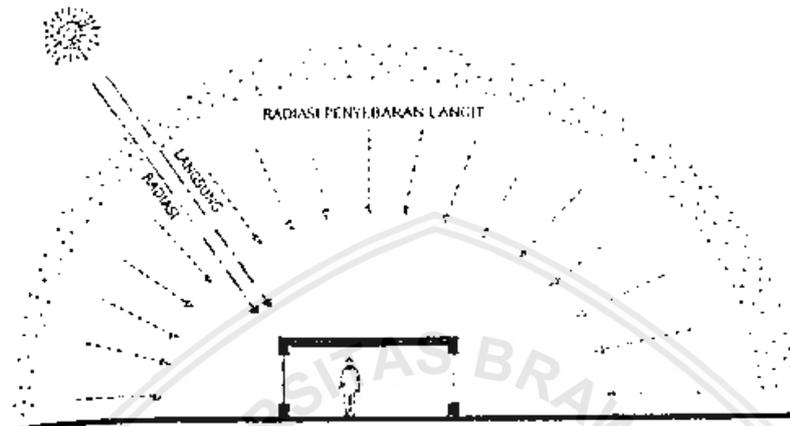
Jendela yang merangkap fungsi sebagai pintu ini memiliki bukaan yang besar dan prinsip kerjanya sama dengan jendela casement, dapat membuka ke arah dalam maupun keluar. Namun jendela ini tidak dapat meneruskan udara masuk apabila jendela pintu tersebut dalam keadaan tertutup, dan ketika dibuka satu sisinya dapat menangkap udara sebanyak 45% apabila keduanya dibuka menangkap 90% udara. Pada umumnya jendela ini bermaterial kayu atau aluminum sebagai rangka atau daun pintunya, dan kaca yang mengisi bingkai daun.

(Sumber: Frick dan Pujo, 1998; Backet et all 1974)

2.3.7 Sistem pelindung matahari pada bangunan

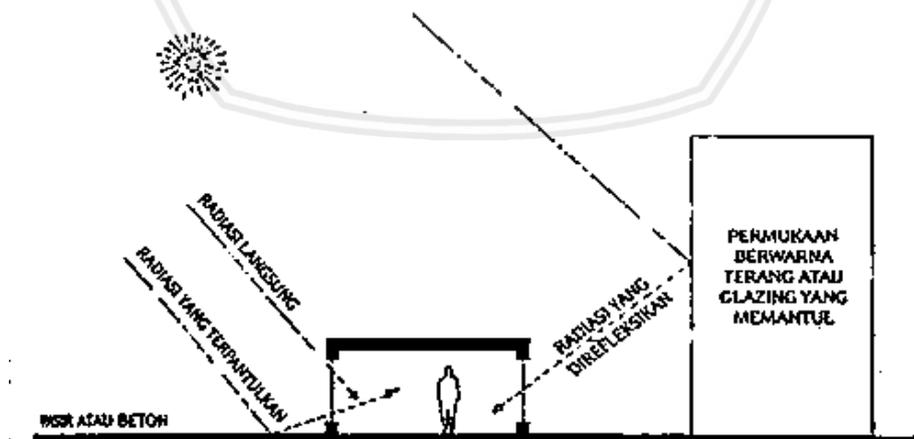
a. *Shading device*

Peneduh, *Shading Device*, *Sun Shading* pada umumnya memiliki tujuan yang sama yaitu sebagai alat yang dapat menolak panas matahari untuk mendinginkan bangunan sehingga mencapai kenyamanan termal ruangan di dalamnya (Lechner, 2001).



Gambar 2.12 Diffuse radiasi matahari besar dengan adanya kondisi sekitarnya terdapat polusi
(Sumber : Lechner, 2001)

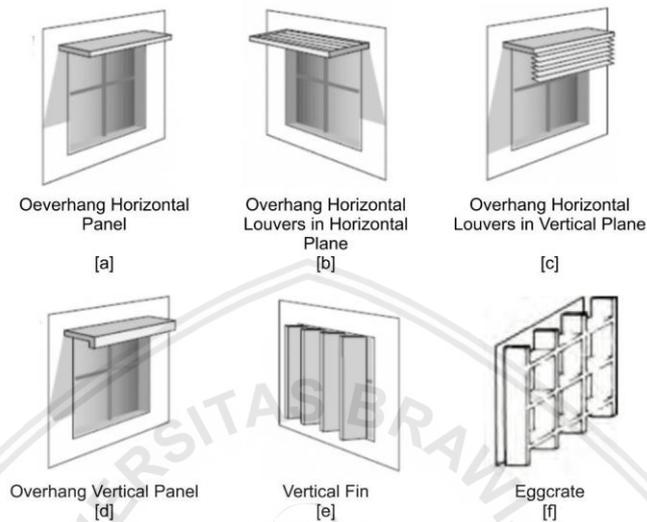
Daerah yang terpapar banyak sinar matahari dan polusi debu dari lingkungan sekitarnya juga menyebabkan diffuse radiasi. Selain itu, pemakaian perkerasan tanah berupa paving beton, dinding dengan bercat warna putih, dan segala benda atau bahan yang memiliki permukaan dengan daya pantul tinggi, mengakibatkan pantulan radiasi dari matahari ke arah jendela.



Gambar 2.13 Proses pantulan matahari
(Sumber : Lechner, 2001)

Alat peneduh diatur tentang jenis, ukuran, dan lokasinya sesuai dengan ukuran komponen langsung, bias radiasi, dan komponen pantul beban radiasi matahari. Cara yang

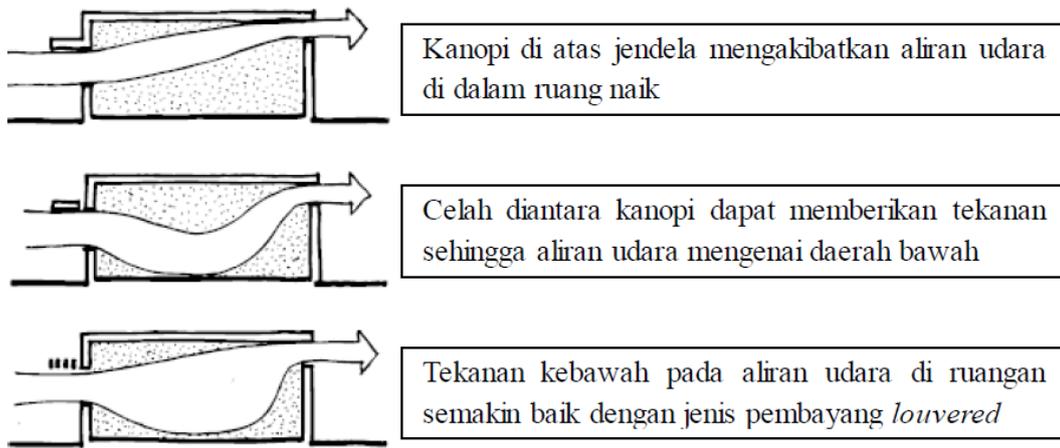
baik untuk mengurangi sifat pemantul dari permukaan bahan yang daya pantulnya tinggi adalah dengan menggunakan vegetasi sebagai penghalang. Namun apabila sudut pandang yang lebar dari komponen cahaya langit maka digunakanlah perangkat alat peneduh tambahan di dekat jendela. Hal ini sangat efektif dalam mengurangi silau dari sinar matahari.



Gambar 2.14 Berbagai jenis dan macam shading device pasif
Sumber: Lechner, 2015

Peneduh yang baik akan menghalangi panas dari matahari secara maksimal, namun tetap menjaga aliran udara dari luar bangunan untuk masuk ke dalam bangunan mengalir dengan baik. Terdapat berbagai jenis, macam, bentuk dari shading device yang diantaranya ada berbentuk horizontal yang memberikan peneduhan berdasar sudut datang matahari, terkhususnya untuk orientasi jendela yang menghadap utara dan selatan. Bentuk vertical memberikan peneduhan berdasarkan dari sudut pantul sinar matahari, bentuk ini efektif digunakan untuk jendela yang berorientasi hadap ke arah timur dan barat. Egg-crate bentuk ini merupakan gabungan dari karakteristik bentuk shading device horizontal dan vertical.

Bentuk shading device juga memberi pengaruh terhadap pola aliran udara yang berbeda – beda pada ruangan. Penggunaan kanopi pada bukaan inlet akan mengalirkan udara ke atas dibandingkan bukaan inlet tanpa kanopi. Jenis kanopi dengan memberikan jarak akan mengakibatkan tekanan kebawah pada aliran udara di dalam ruangan, sedangkan kanopi berjenis louvre akan meningkatkan tekanan udara kebawah menjadi lebih besar dan menjangkau area yang lebih luas.



Gambar 2.15 Jenis shading devices terhadap pergerakan udara dalam ruang
Sumber: Szokolay, 2008



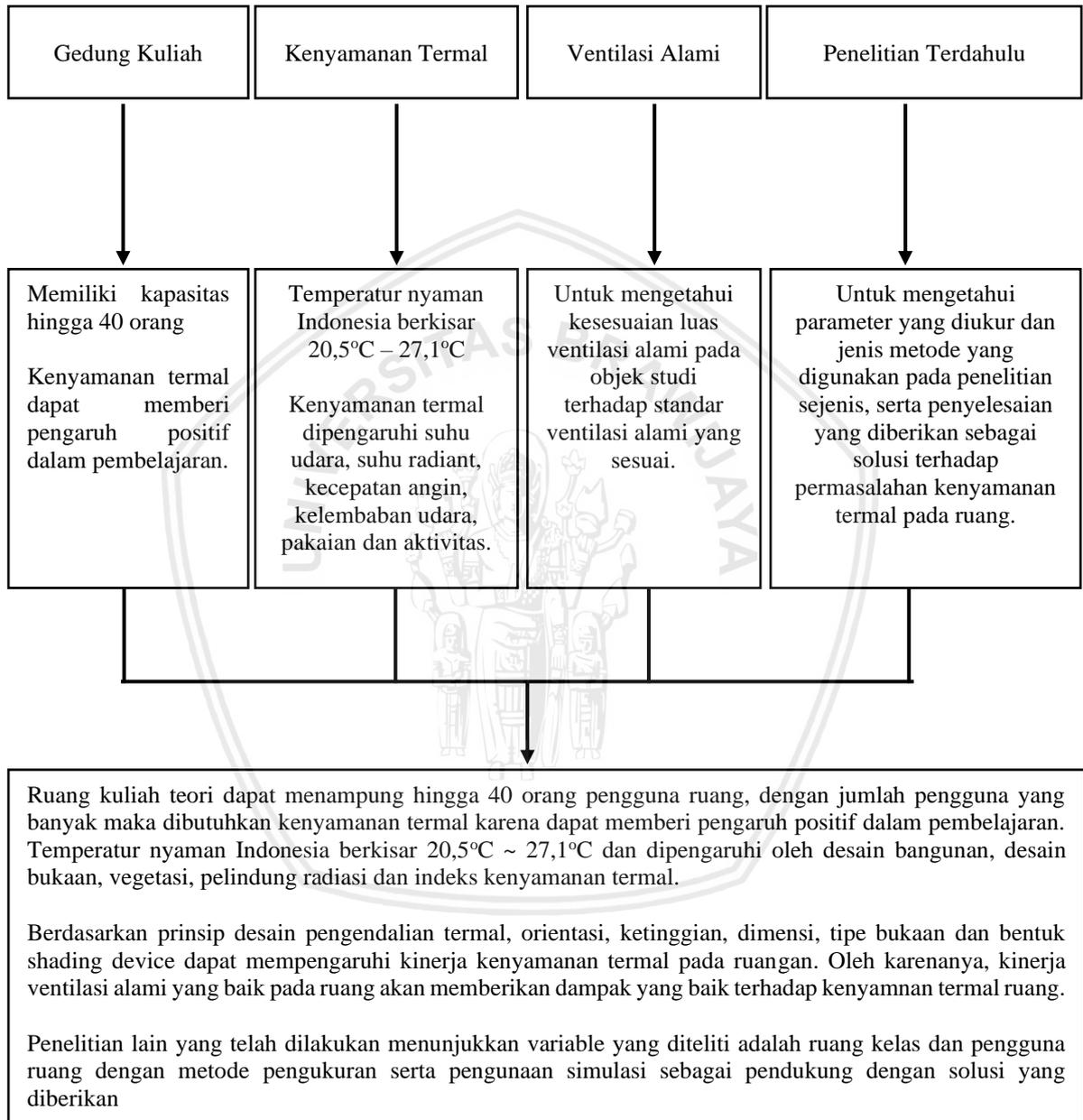
2.4 Tinjauan Studi Terdahulu

No	Judul	Parameter	Metode	Kontribusi pada Penelitian
1	Kinerja Sistem Ventilasi Alami Ruang Kuliah (Hamzah B., et al. (2016)	Iklim mikro, dimensi ruang kuliah, luas bukaan ventilasi	Metode kuantitatif; Survei pengukuran data lapangan Metode simulasi; Eksperimen CFD (Solidworks)	Posisi dan luas bukaan ventilasi alami sangat menentukan pergerakan udara di dalam ruang kelas. Bukaan pada dua sisi dinding yang bersebelahan memberikan dampak yang baik pada pergerakan udara di dalam ruang karena terjadi ventilasi silang pada ruangan.
2	Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Kelas Mahasiswa (Studi Kasus Ruang Kelas 303 Jurusan Teknik Mesin UNS) (Budisantosa B. (2014)	Suhu, kelembaban, kecepatan angin. Penggunaan kipas angin untuk pendinginan ruangan.	Metode kuantitatif Survei pengukuran data lapangan Pengambilan Kuisioner	Penggunaan ventilasi jendela dan kipas angin guna pendinginan ruangan dan material ruang mayoritas adalah kayu membuat ruangan memiliki suhu yang tinggi. Lalu mengevaluasi kenyamanan termal pada ruang tersebut dan mengetahui tingkat kepuasan pengguna ruang terhadap kenyamanan termal.



2.5 Kerangka Teoritik

Kerangka ini berisikan bagan mengenai teori teori yang digunakan serta variable variable yang akan diteliti. Teori yang digunakan berupa studi literatur mengenai teori umum dan khusus serta peraturan yang berlaku, ditunjang dengan tinjauan riset terdahulu



BAB III

Metode Penelitian

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dengan judul “Kinerja Buka-an Ventilasi Alami terhadap Suhu Udara Gedung Pascasarjana Fakultas Hukum” ini dilaksanakan untuk menilai pengaruh bukaan terhadap kenyamanan termal di ruang kelas pada Gedung Pascasarjana Fakultas Hukum. Metode penelitian yang akan diterapkan adalah metode penelitian analisis deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif.

Penelitian deskriptif adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui variabel mandiri, baik satu variabel atau lebih (independent) tanpa membuat perbandingan atau menghubungkan variabel yang lain. Tujuan dari metode deskriptif menurut Rakhmat (2001:22), adalah untuk melukiskan secara sistematis fakta atau karakteristik populasi tertentu atau bidang tertentu secara factual dan cermat.

Menurut Diah (2011), penelitian evaluatif memiliki dua kegiatan utama yaitu pengukuran atau pengambilan data serta membandingkan hasil pengukuran dan pengumpulan data dengan standar yang digunakan. Berdasarkan hasil perbandingan ini maka akan didapatkan kesimpulan bahwa suatu kegiatan yang dilakukan itu layak atau tidak, relevan atau tidak, efisien dan efektif atau tidak dan akan dilakukan modifikasi jika ada kurang sesuai.

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Lokasi dan Objek yang akan diteliti adalah ruang kuliah gedung Pascasarjana Fakultas Hukum Lantai 3 dan 6, Universitas Brawijaya yang berlokasi di Jl. Jalan Veteran, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur.



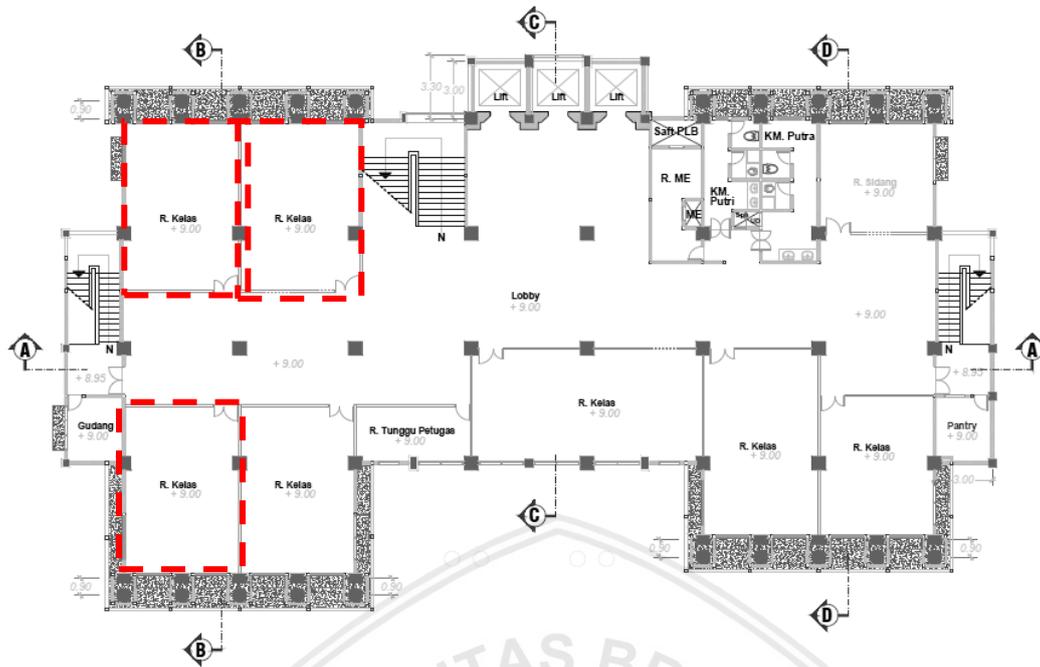
*Gambar 3.1 Lokasi penelitian
Sumber: Google Map, 2019*



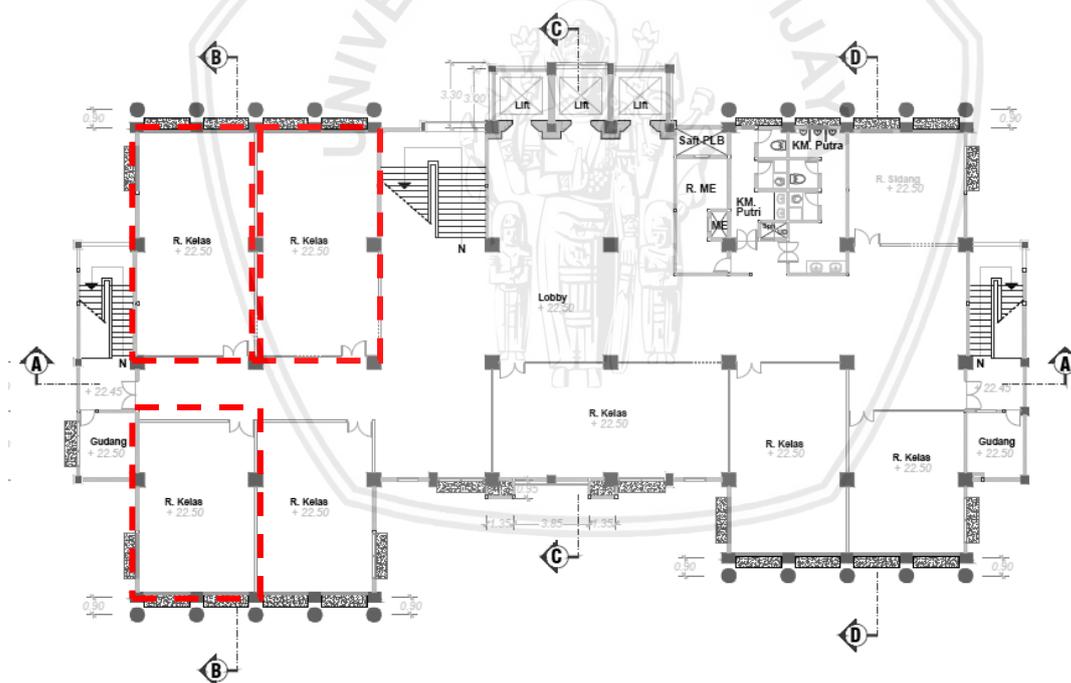
*Gambar 3.2 Tampak Depan dan Samping Kiri Bangunan
(Sumber: Gambar kerja gedung Pascasarjana Fakultas Hukum)*



*Gambar 3.3 Tampak Samping Kanan dan Belakang Bangunan
(Sumber: Gambar kerja gedung Pascasarjana Fakultas Hukum)*



Gambar 3.4 Denah Lantai 3 dengan ruang – ruang yang akan diteliti
(Sumber: Gambar kerja gedung Pascasarjana Fakultas Hukum)



Gambar 3.5 Denah Lantai 6 dengan ruang – ruang yang akan diteliti
(Sumber: Gambar kerja gedung Pascasarjana Fakultas Hukum)

3.3 Fokus Penelitian dan Tanggal Pengukuran Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada ruang kelas yang terpilih berdasarkan kondisi ruang kelas yang tidak terbayangi oleh naungan sekitarnya seperti vegetasi dan atap. Pembagian ruang kelas yang akan diteliti ini terbagi menjadi 3 ruang yang memiliki orientasi bukaan

yang berbeda pada tiap ruangnya. Ruang kelas yang akan diteliti pada lantai tiga terbagi yaitu sebagai berikut:

- a. Ruang C 3.4 sebagai tipe A
- b. Ruang C 3.6 sebagai tipe B
- c. Ruang C 3.7 sebagai tipe C

Sedangkan pada lantai 6 ruang yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

- a. R. Pengadilan Umum 2 sebagai tipe A
- b. R. Lab Perancangan Undang – undang sebagai tipe B
- c. R. Pengadilan Umum 3, sebagai tipe C

Masing – masing ruang tersebut memiliki perbedaan jenis bukaan, orientasi bukaan dan dimensi ruangan. Pemilihan ruang pada lantai 3 dan lantai 6 untuk membedakan ketinggian ruang pada Gedung ini yaitu lantai 3 yang mewakili ketinggian rendah dan ketinggian sedang untuk lantai 6.

Waktu penelitian ini diambil pada tanggal 26 Maret 2019 sampai 28 Maret 2019 yang berdasarkan jadwal kuliah pada pengguna Gedung Pascasarjana ini yaitu kuliah pagi, siang dan sore hari. Kondisi cuaca pada saat pengambilan data bervariasi dari cerah, mendung sampai hujan.

3.4 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat dua variabel yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kondisi termal eksisting yang dapat diukur dan berubah sesuai dengan kondisi sekitar, data dari variabel terikat yaitu berupa suhu udara interior dan eksisting, kelembaban udara, dan kecepatan udara yang diambil dengan menggunakan alat dan wawancara singkat dengan pengguna ruang sebagai pendukung data. Sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini merupakan penyebab dari variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah dari model dan besaran ventilasi, shading device atau elemen pembayang pada bangunan.

Dari data-data yang telah terhimpun tersebut kemudian dianalisa dan disintesis sehingga mendapatkan hasil dan kesimpulan yaitu selisih ruang luar dan ruang dalam bangunan terhadap penelitian ini yang kemudian didapat rekomendasi untuk memodifikasi yang terkait sebagai pemecahan masalah yang telah dirumuskan. Hasil modifikasi diambil dari hasil simulasi modifikasi yang memiliki suhu terendah sebagai upaya yang berhasil untuk menurunkan suhu ruangan yang mendekati dengan suhu nyaman Kota Malang. Maka perolehan hasil modifikasi tersebut dapat diterapkan pada eksisting.

3.5 Teknik Pengambilan Sampel Ruang

Sampel adalah sebagian dari populasi dari yang akan diteliti. Populasi pada penelitian ini adalah ruang kelas yang terdapat pada Gedung Pascasarjana Fakultas Hukum yaitu Ruang C 3.4, Ruang C 3.6, dan Ruang C 3.7 pada lantai 3 sedangkan pada lantai 6 ruang yang akan diteliti adalah R. Pengadilan Umum 2, R. Pengadilan Umum 3, dan R. Lab Perancangan Undang – undang. Penentuan jumlah ruang pada tiap lantainya ini berdasarkan perbedaan orientasi ruang, jenis bukaan, jumlah bukaan, shading device dan orientasi bukaan.

3.6 Teknik Pengambilan Data

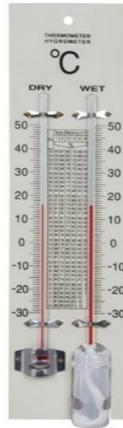
Data diperoleh dari observasi yang dilakukan melalui pengamatan dengan cara mengukur kondisi termal yaitu,

- a. suhu,
- b. kecepatan angin,
- c. kelembaban udara, dan

data ruangan di dalam ruangan menggunakan alat ukur. Alat-alat yang digunakan adalah thermometer sebagai pengukur suhu ruangan, anemometer untuk mengukur kecepatan angin, hygrometer yang digunakan untuk mengukur kelembaban udara, dan alat ukur panjang manual berupa meteran roll dan meteran digital untuk mengukur dimensi ruangan kelas dan dimensi ventilasi.

3.7 Instrumen Pengukuran Lapangan

Termometer digunakan untuk mengukur suhu udara di dalam ruang kelas. Termometer memiliki satuan yaitu Celcius dan Fahrenheit. Peneliti menggunakan standar satuan Celcius yang sesuai dengan standar SNI. Termometer yang digunakan adalah thermometer manual yang menggunakan Dry & Wet Termometer yang dapat menghitung kelembaban udara.



Gambar 3.6 Dry & Wet Thermometer

Sumber: Google

Anemometer merupakan alat pengukur kecepatan angin dan tekanan angin yang terjadi di dalam ruangan dan luar ruangan. Anemometer memiliki tiga skala pengukuran yaitu meter/detik, kilometer/jam, dan knot. Satuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah meter per detik, karena penggunaan alat ini adalah di dalam ruangan.



Gambar 3.7 Anemometer

Sumber: Google

Meteran roll atau pita ukur merupakan alat untuk mengukur panjang atau jarak. Selain itu dapat digunakan sebagai pengukuran sudut, membuat sudut siku-siku, dan membuat lingkaran. Pada ujung pita dilengkapi dengan pengait. Meteran ini memiliki ketelitian pengukuran hingga 0,5 milimeter. Satuan yang terdapat pada meteran yaitu milimeter, sentimeter, feet (kaki), inchi. Sedangkan meteran digital atau laser distance meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jarak baik vertikal maupun horizontal tertentu, khususnya titik pengukuran yang tidak tergapai oleh pita ukur manual namun terdapat bidang pemantul yang menjadi titik ukur laser. Alat ini tergolong mudah digunakan, bebas interferensi atau kendala dengan presisi tinggi +1,5 milimeter akurasi. Alat

ini menggunakan teori pythagoras ketika mengukur jarak atau panjang secara tak langsung apabila pengukuran manual cukup mustahil.



Gambar 3.8 Alat ukur meteran roll

Sumber: Google

Ketiga alat di atas digunakan untuk mengetahui nilai suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin di dalam dan di luar ruang, serta alat untuk mengukur variabel bebas penelitian. Pengukuran variabel terikat dilakukan di 3 titik ruang yang menyebar secara rata di dalam ruang dan satu titik ukur di luar ruang. Titik-titik pengukuran tersebut merupakan titik seimbang dan konstan aliran udara yang terjadi di dalam sebuah ruang.

Langkah-langkah pengukuran data di ruangan:

- a. Mengukur fisik ruang kelas dan membuat sketsa denah ruangan terhadap perabot di dalam ruang kelas dan sketsa dimensi tiap elemen ruangan.
- b. Mengukur faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruang pada setiap titik yang sudah ditentukan dan dilakukan pada waktu yang ditetapkan yaitu pada pukul 08.00 pagi hingga pukul 16.00 sore.
- c. Dokumentasi terhadap kondisi ruang kelas dengan media foto dan lain-lain.

3.8 Metode Pengolahan Data

Dari data-data yang telah didapat dari hasil pengukuran pada objek penelitian, data-data tersebut selanjutnya dianalisa dengan mengacu kepada standar-standar kenyamanan termal SNI, selain itu juga dianalisis menggunakan *software Ecotect*. *Ecotect Software* adalah sebuah software yang digunakan untuk membantu menghitung studi penghawaan, pencahayaan, akustik, kenyamanan termal pada bangunan. Di dalam penelitian *software* tersebut berperan penting untuk mendapatkan hasil pengukuran yang tersistematis dan berurutan sesuai waktu pengukuran.

Dari hasil analisa pengukuran yang dibandingkan dengan standar-standar kenyamanan termal dan hasil analisis, akan menjadi sintesis mulai dari variabel terikat dan bebas yang mempengaruhi kenyamanan termal pada ruang kelas. Dari data-data yang telah

terhimpun tersebut kemudian dianalisa dan disintesis sehingga mendapatkan hasil dan kesimpulan terhadap penelitian ini yang kemudian didapat rekomendasi untuk memodifikasi yang terkait sebagai pemecahan masalah yang telah dirumuskan. Hasil modifikasi diambil dari hasil simulasi modifikasi yang memiliki suhu terendah sebagai upaya yang berhasil untuk menurunkan suhu ruangan yang mendekati dengan suhu nyaman Kota Malang. Maka perolehan hasil modifikasi tersebut dapat diterapkan pada eksisting.

Selanjutnya didapat poin-poin yang memerlukan evaluasi dan kemudian direkomendasikan modifikasi desain ventilasi-ventilasi hasil dari simulasi yang telah valid, hal tersebut sebagai upaya meningkatkan kualitas kenyamanan termal pada ruang kelas

3.9 Validasi Hasil Simulasi

Validasi adalah membandingkan output dari model yang disimulasikan dengan output eksisting. Tujuannya adalah untuk menghasilkan suatu rekomendasi desain yang representative terhadap eksisting untuk dapat digunakan sebagai pengganti dari desain lama yang kurang sesuai.

Validasi hasil simulasi ditentukan dengan mengetahui berapa prosentasi selisih tersebut dapat digunakan persamaan berikut ini.

$$x (\%) = \left[\left(\frac{e - s}{e} \right) \times 100 \% \right]$$

Keterangan :
 e : Suhu eksisting
 s : Suhu simulasi

“x” pada persamaan di atas merupakan hasil prosentase dari selisih antara simulasi dan kondisi eksisting, “e” adalah suhu pada output simulasi dalam °C, dan “s” adalah suhu pada data pengukuran eksisting.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Iklim Kota Malang

Perubahan iklim di dalam kota Malang yang dirasakan salah satunya adalah peningkatan suhu dalam beberapa tahun terakhir. Kota Malang yang dikenal sejuk sekarang mulai bersuhu panas, berkurangnya lahan terbuka hijau yang berubah menjadi lahan terbangun mempengaruhi iklim mikro kota.

Berikut data rekam iklim yang didapat dari BMKG Stasiun Karangploso Kota Malang dalam satu tahun terakhir yang meliputi suhu, kecepatan angin, dan kelembaban udara.

Tabel 4.1 Data rekam iklim Kota Malang

Bulan	Suhu Udara (°C)		
	Minimal	Maksimal	Rata - rata
Januari	21.1	28.5	23.6
Februari	21.3	28.6	23.9
Maret	20.6	28.9	23.7
April	20.9	28.9	24.0
Mei	20.2	29.1	23.8
Juni	20.2	28.4	23.1
Juli	19.1	27.4	22.3
Agustus	18.8	27.8	22.4
September	19.2	29.7	23.4
Oktober	21.2	29.6	24.5
November	20.9	28.8	24.1
Desember	20.9	28.6	24.0

(Sumber : Data Klimatologi Karangploso, 2017)

Pada tabel data suhu udara Kota Malang di atas, terlihat bahwa suhu terendah yang dicapai adalah pada bulan Juli, sedangkan suhu tertinggi ketika pada bulan Oktober. Suhu menurun dengan diiringi perubahan cuaca adalah disebabkan karena akan memasuki musim kemarau didukung dengan letak koordinat 112,06 - 112,07 Bujur Timur dan 7,06 - 8,02 Lintang Selatan ini ketika pada bulan dengan suhu terendah posisi matahari terletak di belahan bumi bagian utara. Sehingga kondisi ini menyebabkan pembentukan awan sangat minim. Tidak ada awan yang menghalangi atau menyerap panas yang dilepaskan oleh bumi,

maka panas tersebut lepas ke luar angkasa sehingga permukaan bumi menjadi lebih dingin. Dengan datangnya musim kemarau, maka intensitas hujan akan semakin berkurang.

Tabel 4.2 Data rekam Kelembaban udara Kota Malang

Bulan	Lembab Nisbi (%)		
	Minimal	Maksimal	Rata - rata
Januari	58.0	98.0	86.0
Februari	37.0	98.0	82.0
Maret	57.0	98.0	83.0
April	51.0	96.0	82.0
Mei	46.0	96.0	76.0
Juni	47.0	95.0	79.0
Juli	46.0	98.0	78.0
Agustus	27.0	93.0	75.0
September	35.0	98.0	72.0
Oktober	32.0	93.0	77.0
November	45.0	98.0	83.0
Desember	48.0	98.0	82.0

(Sumber : Data Klimatologi Karangploso, 2017)

Pada data kelembaban Kota Malang pada tahun 2017 silam, rata-rata kelembaban tertinggi adalah ketika bulan November dan Desember yang berarti konsentrasi uap air di udara tinggi. Dan kelembaban udara terendah terjadi pada bulan September dan jika dihubungkan dengan kondisi suhu bulan September, maka kondisi udara pada bulan September 2017 adalah kering panas. Jika dibandingkan dengan bulan-bulan lainnya diluar bulan September, November, Desember, kondisi kelembaban udara Kota Malang tergolong ke dalam kelembaban normal yaitu pada kisaran kelembaban 73%-79%. Hal tersebut sangat mempengaruhi termal udara, apabila tidak seimbang dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal.

Tabel 4.3 Data rekam kecepatan angin Kota Malang

Bulan	Kecepatan angin (km/jam)		
	Maksimal	Rata - rata	Arah Datang Angin
Januari	2.16	0.67	Utara
Februari	2.85	1.00	Utara
Maret	2.28	0.78	Utara
April	2.36	0.75	Utara
Mei	2.19	0.91	Utara

Juni	2.53	0.99	Utara
Juli	2.54	1.00	Selatan
Agustus	2.85	1.34	Selatan
September	2.63	1.28	Selatan
Oktober	2.58	1.13	Selatan
November	2.41	0.66	Utara
Desember	2.39	0.82	Utara

(Sumber : Data Klimatologi Karangploso, 2017)

Kecepatan angin pada tahun 2017 rata-rata kecepatan tertinggi adalah pada bulan Agustus sebesar 1,34 m/s, pada bulan Agustus arah angin berasal dari selatan, sehingga hal ini sangat mempengaruhi pergerakan angin pada sekitar bangunan eksisting.

Data kondisi suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dapat digunakan sebagai patokan dan data suhu tersebut dapat digunakan untuk mencari suhu netral Kota Malang pada saat dilakukan penelitian yaitu bulan Maret dengan persamaan Szokolay, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_n &= 17,6 + 0,31 \text{ (suhu rata - rata per bulan)} \\
 &= 17,6 + 0,31 \text{ (23,7 } ^\circ\text{C)} \\
 &= 24,95 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Maka, suhu netral Kota Malang berdasarkan hasil persamaan dari Szokolay adalah berada pada titik 24,95 °C. Titik terendah suhu netral ($T_n - 2,5^\circ\text{C}$) yaitu di titik 22,45 °C dan titik tertinggi suhu netral adalah ($T_n + 2,5^\circ\text{C}$) berada di titik 27,45°C. Berdasarkan data BMKG, suhu rata-rata Kota Malang pada bulan Maret adalah 23,7 °C, yang berarti suhu Kota Malang masih berada di ambang suhu nyaman kota.

Adapun pengambilan data penelitian dilakukan pada tanggal 26 Maret 2019, dimana pada bulan yang sama tahun 2017 didapat data bahwa rata-rata suhu pada bulan tersebut adalah 23,7 °C, dengan kecepatan anginnya adalah 0,78 m/s dari arah utara yang termasuk kecepatan rendah di bawah normal, dan kelembaban nisbi rata-rata 83 %.

4.2 Eksisting Lingkungan

Bangunan Pascasarjana Fakultas Hukum Universitas Brawijaya mulai dibangun pada tahun 2015 ini terletak di jalan MT. Haryono ini yang terletak pada sebelah utara bangunan lama Fakultas Hukum. Bangunan yang memiliki 10 lantai ini digunakan bagi mahasiswa pascasarjana maupun mahasiswa S1 hukum. Batasan pada Gedung pascasarjana

terdapat beberapa bangunan tinggi seperti batas Barat berupa Gedung baru Teknik Industri dan Bangunan Fakultas Ilmu Administrasi pada batas Timur. Sedangkan pada batas Selatan berupa Gedung A Fakultas Hukum dan Widyaloka yang termasuk bangunan sedang.



Gambar 4.1 Siteplan dan Bangunan – bangunan sekitar

Bangunan yang ada di sekitar objek penelitian mempengaruhi pergerakan angin yang masuk dan keluar. Terutama banyak bangunan tinggi seperti Gedung Teknik industri yang baru dan Fakultas Ilmu Administrasi. Hal ini dapat mempengaruhi pergerakan angin pada objek penelitian.



Gambar 4.2 Batas utara objek penelitian



Gambar 4.3 Batas barat objek penelitian



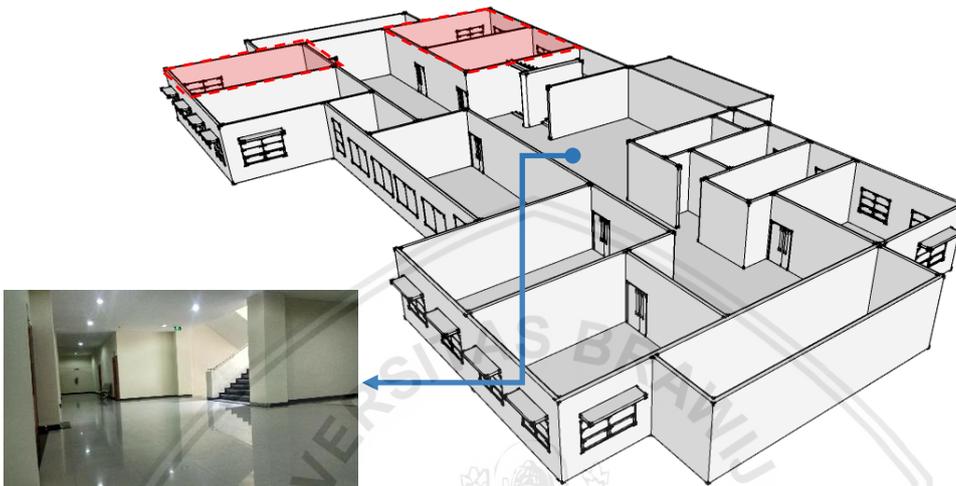
Gambar 4.4 Batas timur objek penelitian



Gambar 4.5 Batas selatan objek penelitian

4.2.1 Eksisting per Lantai Gedung Pascasarjana Fakultas Hukum

Bangunan baru Fakultas hukum ini terdiri dari 11 lantai berbentuk menyerupai bentuk persegi . Di depan Gedung ini terdapat Gedung lama fakultas hukum dengan jumlah lantai setengahnya dari objek penelitian.



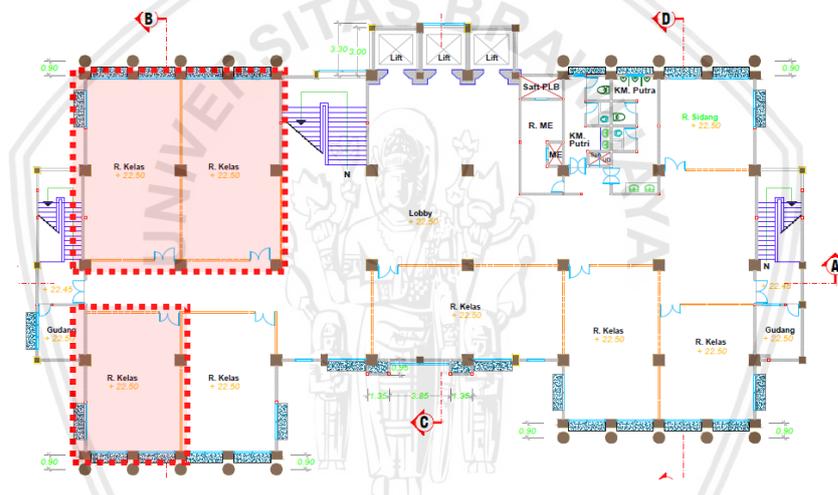
Gambar 4.6 Bentuk dan titik sudut pandang massa lantai 3

Gedung Pascasarjana fakultas hukum ini merupakan Gedung baru yang digunakan untuk mahasiswa pascasarjana atau S2 maupun S3 ini berjumlah 11 lantai. Penggunaan tiap lantai sebagian besar terdiri dari kelas, ruang dosen, pengajaran dan lain sebagainya seperti Gedung kuliah pada umumnya.

Lantai 3 pada Gedung ini terdiri dari 6 kelas dengan ukuran yang beragam, ruang petugas, dan juga kamar mandi. Dimensi kelas pada lantai ini dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan jumlah mahasiswa yang akan melaksanakan kuliah/ diskusi. 3 jenis tersebut diantaranya yaitu kelas dengan ukuran 6 m x 9 m terdapat 4 ruang, kelas dengan ukuran 12 m x 6 m yang merupakan kelas terbesar pada lantai ini, sedangkan kelas ukuran 6 m x 6 m merupakan kelas untuk diskusi dengan dosen.

Pengambilan sampel pada lantai 3 ini dipilih berdasarkan segi dimensi, orientasi bukaan jumlah bukaan dan jenis ventilasi pada masing - masing kelas yang dijadikan sampel. Pembagian sampel ini dibagi menjadi 3 tipe kelas antara lain: R. C.3.7 sebagai kelas tipe A, R. C.3.8 sebagai kelas tipe B, dan R. C.3.6 sebagai kelas tipe C. Kelas A dan kelas B memiliki dimensi yang sama yaitu 6 m x 9 m dan orientasinya menghadap ke selatan, namun kedua kelas ini memiliki jumlah ventilasi yang berbeda. Kelas A ini mempunyai 3 ventilasi dengan jenis yang sama dan salah satu ventilasi orientasinya ke arah barat sedangkan yang lainnya menghadap ke arah selatan.

Selanjutnya kelas C ini memiliki dimensi yang sama dengan kelas A dan B, tetapi orientasinya menghadap ke arah utara dan memiliki jumlah ventilasi yang sama dengan kelas A.



Gambar 4.9 Letak fokus penelitian pada denah lantai 6

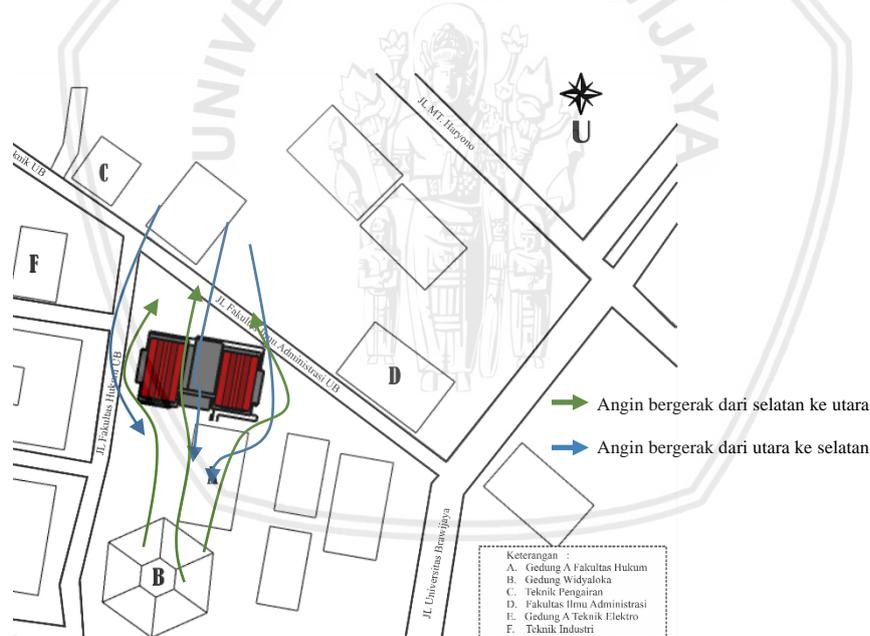
Pada lantai 6 ini pengambilan sampel kelas hampir sama dengan lantai 3 yaitu 3 kelas yang masing – masing memiliki orientasi, dimensi dan jenis jendela berbeda. Untuk lantai ini terbagi menjadi 4 jenis kelas yaitu R. peradilan umum 3 sebagai kelas tipe A, Lab. Perancangan kontrak dan undang – undang sebagai kelas tipe B, dan R. peradilan umum 2 sebagai kelas tipe C. Dimensi pada kelas tipe C merupakan yang paling kecil dibandingkan dengan 2 kelas lainnya yaitu seluas 6 m x 9 m, sedangkan ketiga tipe kelas memiliki luas 12 m x 6 m. Semua tipe kelas memiliki jenis ventilasi yang sama pada salah satu sisinya, namun memiliki perbedaan orientasi. Hal ini dapat dilihat pada denah diatas tiap kelasnya terdapat dua sampai tiga buah ventilasi. Pada tiap ventilasi juga dilengkapi dengan shading device sepanjang 60 cm.

4.3 Analisa Bangunan

Bangunan di dalam tapak terbujuk dari barat sampai timur dan bangunan tersebut dikeliling beberapa bangunan tinggi. Sekitar bangunan juga terdapat beberapa vegetasi sebagai peneduh, pemecah angin sebagai filter sehingga angin kencang tidak langsung masuk ke dalam bangunan.

4.3.1 Bangunan terhadap pola angin

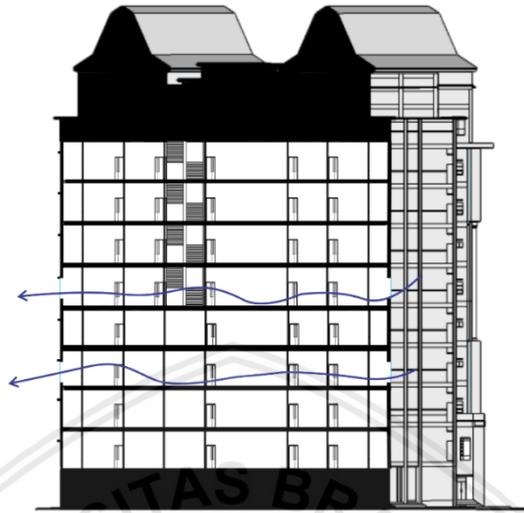
Angin memiliki salah satu faktor penting yang memberi pengaruh terhadap besarnya tekanan dan masuknya pada bangunan ketika angin bergerak, yaitu kecepatan angin atau udara. Besarnya kecepatan angin berbeda – beda untuk setiap letak geografi. Menurut data pergerakan angin yang didapat dari BMKG Karangploso tahun 2017, angin di Kota Malang pada bulan Juli-Oktober berhembus dari arah selatan-tenggara ke arah barat laut-utara dengan rata-rata berkecepatan 2,2 m/s. Dan pada bulan November hingga Juni angin bertiup sebaliknya dari arah utara menuju ke selatan-tenggara dengan kecepatan rata-rata 1,8 m/s.



Gambar 4.10 Pola pergerakan angin dari luar bangunan

Pada eksisting, angin berhembus dan masuk ke bangunan sisi selatan dengan baik sehingga terjadi *cross ventilation* dibandingkan dengan sisi barat dan timur bangunan yang kurang optimal. Aliran angin pada bangunan sisi utara terjadi cukup optimal yang masuk melewati ruang – ruang pada sisi tersebut. Untuk simulasi angin yang dilakukan perlu diperhatikan kecepatan angin dan arah angin terhadap ruang kelas yang diteliti. Selain itu untuk mengatur tekanan dan arah angin yang kurang baik bisa dengan membuat dan menata

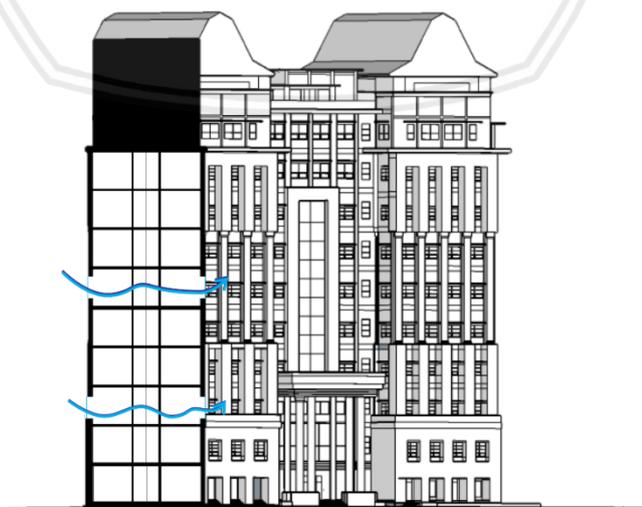
vegetasi eksisting yang berfungsi sebagai tanggul atau perisai, dan menggunakan material bangunan yang dapat membantu pergerakan angin menjadi lebih baik.



Gambar 4.11 Sirkulasi udara pada Ruang kelas Tipe C dan Tipe D (Lantai 3 dan 6)

Aliran angin yang berasal dari utara bangunan, masuk ke dalam ruangan melalui jendela ventilasi. Pada lantai tiga, kelas tipe C, aliran udara cukup optimal karena inlet sisi barat dapat mengalir ke arah outlet pada ventilasi hopper pada sisi selatan.

Pada lantai enam, kelas tipe C, sama dengan kelas tipe C pada lantai tiga dengan aliran angin yang cukup optimal, namun tidak sampai terjadi cross ventilation karena letak ventilasi yang hanya ada di sisi barat dan sisi selatan sehingga aliran angin lebih optimal pada sisi barat daya kelas.



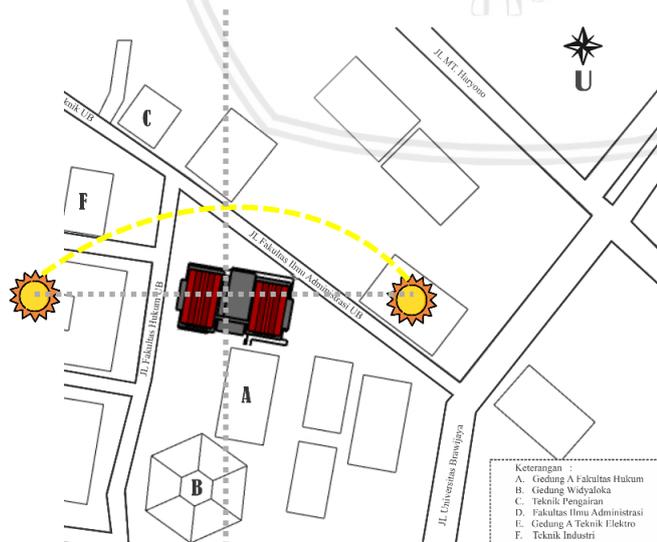
Gambar 4.12 Sirkulasi udara pada Ruang kelas Tipe A dan Tipe B (Lantai 3 dan 6)

Aliran angin yang berasal dari utara bangunan, masuk ke dalam ruangan melalui jendela ventilasi. Pada lantai tiga, kelas tipe A, aliran angin pada kelas ini cukup optimal karena letak *inlet-outlet* yang bersebelahan yaitu pada sisi barat dan sisi utara. Hal ini menyebabkan aliran angin lebih optimal pada pojok kelas ke arah barat laut. Sedangkan untuk kelas tipe B, aliran udara kurang optimal disebabkan oleh letak inlet – outlet yang terletak pada sisi selatan.

Sedangkan pada lantai 6, kelas tipe A, aliran angin cukup optimal dikarenakan letak ventilasinya berada di sisi barat dan utara. Inlet – outlet yang digunakan pada kelas ini bersebelahan pada denah. Namun kelas tipe B, aliran anginnya kurang optimal karena tidak terjadi *cross ventilation* dikarenakan letak *inlet – outlet* hanya berada pada satu sisi utara saja.

4.3.2 Kondisi pembayangan bangunan

Pada fisik eksterior bangunan, tiap sisi ruang kelas berhadapan dengan ruang luar. Lokasi dari objek penelitian ini terletak di $7^{\circ}57'0''S$ $112^{\circ}36'49''E$. Sirkulasi masuk untuk ke bangunan ini adalah melalui sisi selatan yang menghadap bangunan Fakultas Hukum yang lama. Arah hadapnya adalah condong ke arah timur laut. Gedung ini mendapatkan penyinaran matahari yang kurang baik, dimana matahari mulai menyinari bangunan dari sisi timur pada pagi hari dengan rentang pukul 06.00 – 09.00 dan bergerak ke atas gedung pada rentang waktu 10.00 – 13.00 dan mulai turun ke arah barat dari pukul 14.00 – 17.00.



Gambar 4.13 Kedudukan matahari yang melintas di atas gedung

Hal tersebut mempengaruhi pembayangan terhadap gedung dan panas matahari yang masuk ke dalam ruang – ruang. Terutama pada zona bangunan sisi timur yang di dalamnya terdapat ruang kelas tipe A dan C.

Tabel 4.4 Kondisi Pembayangan pada gedung

Waktu	Hasil Pembayangan Gedung	Tanggapan
	 <p data-bbox="338 1043 608 1077">Tampak Barat Bangunan</p>	<p data-bbox="967 510 1386 723">Pada pukul 8 pagi, posisi matahari bergerak dari timur dan naik ke atas. Pada saat jam tersebut, matahari tidak menyinari secara optimal pada sisi barat bangunan</p> <p data-bbox="967 734 1386 904">Pada jam tersebut panas matahari hanya dapat masuk ke dalam ruangan kelas yang terletak di sisi timur bangunan.</p>
	 <p data-bbox="338 1433 608 1467">Tampak Timur Bangunan</p>	<p data-bbox="967 1097 1386 1352">Pada sisi selatan bangunan ini cahaya matahari tidak dapat masuk karena jendela pada sisi ini tertutup pilar atau kolom. Hal ini menyebabkan kurangnya paparan matahari pada sisi ini.</p>
	 <p data-bbox="338 1827 608 1861">Tampak Utara Bangunan</p>	<p data-bbox="967 1482 1386 1695">Pada sisi ini sama dengan sisi selatan yang tidak terpapar matahari akibat terhalangi oleh pilar dan kolom diantara jendela – jendela tiap ruangnya.</p>



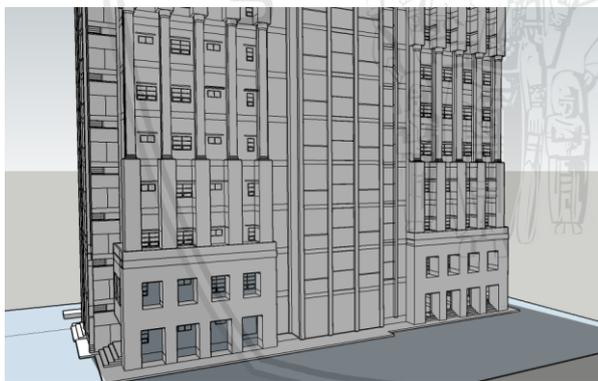
Tampak Barat Bangunan

Pada pukul 11, posisi matahari mulai berada tepat diatas bangunan. Pada saat jam tersebut, matahari mulai menyinari dan membayangi sisi selatan gedung. Pada saat jam tersebut panas matahari yang masuk ke dalam ruangan kelas akan meningkatkan suhu ruang.



Tampak Timur Bangunan

Pada sisi selatan gedung ini mulai terpapar matahari sehingga suhu pada ruang tipe C akan meningkat. Kedua tipe kelas ini memiliki jendela yang berorientasi ke arah selatan sehingga akan mendapatkan penyinaran langsung ketika jam 11.



Tampak Utara Bangunan

Pada sisi utara bangunan kelas tipe A dan B baik lantai tiga dan enam ini tidak menerima paparan sinar matahari sehingga suhu pada kedua tipe tidak terlalu meningkat secara signifikan dibandingkan kelas tipe C.

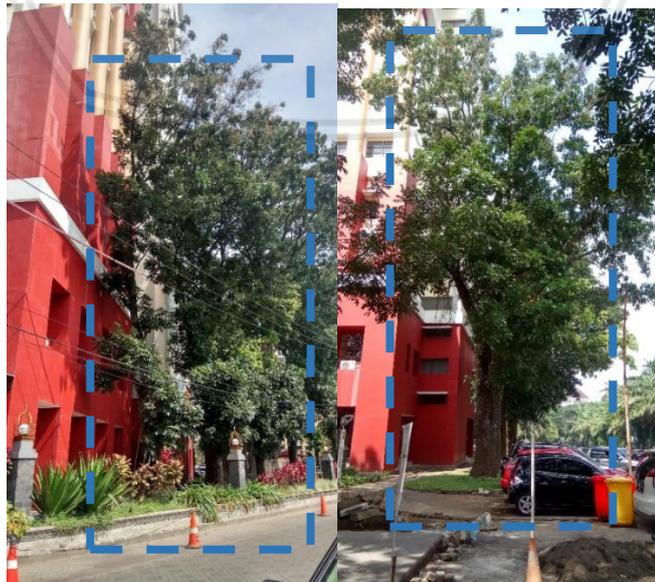


Pukul 15, posisi matahari sudah mulai condong ke arah barat, sehingga terjadi pembayangan pada gedung ini. Namun paparan sinar matahari tidak dapat masuk secara maksimal akibat tertutupnya jendela oleh pilar dan kolom.

	<p>Tampak Barat Bangunan</p>  <p>Tampak Timur Bangunan</p>	<p>Pada sisi ini terlihat, kelas tipe C kurang mendapatkan paparan sinar matahari dikarenakan jendelanya tertutup oleh pilar.</p>
	 <p>Tampak Utara Bangunan</p>	<p>Pada sisi utara, kelas tipe A dan B masih tidak terpapar sinar matahari dikarenakan terhalangi oleh pilar diantara jendela ruang tersebut.</p>

4.3.3 Tata Vegetasi

Di dalam lingkungan gedung terdapat beberapa jenis vegetasi. Pada bagian belakang gedung atau sisi utara bangunan ini terdapat taman kecil yang memiliki beberapa vegetasi kecil. Adapun beberapa jenis pohon perdu sebagai penghias, pemecah angin, dan peneduh.



Gambar 4.14 Vegetasi – vegetasi pada sisi timur bangunan

Pada sisi timur bangunan ini terdapat barisan pohon mahoni sepanjang jalan dan mencapai ketinggian sekitar 15 meter. Pohon ini memiliki tajuk lebar yang dapat berguna sebagai peneduh dan pemecah angin. Selain terdapat beberapa vegetasi hias sepanjang trotoar.



Gambar 4.15 Vegetasi – vegetasi pada sisi selatan bangunan

Sedangkan pada sisi selatan dan barat bangunan ini terdapat beberapa vegetasi pohon kurma sepanjang jalan dan trotoar. Tinggi pohon kisaran 10 – 15 meter dan pohon ini berfungsi sebagai pemecah angin.

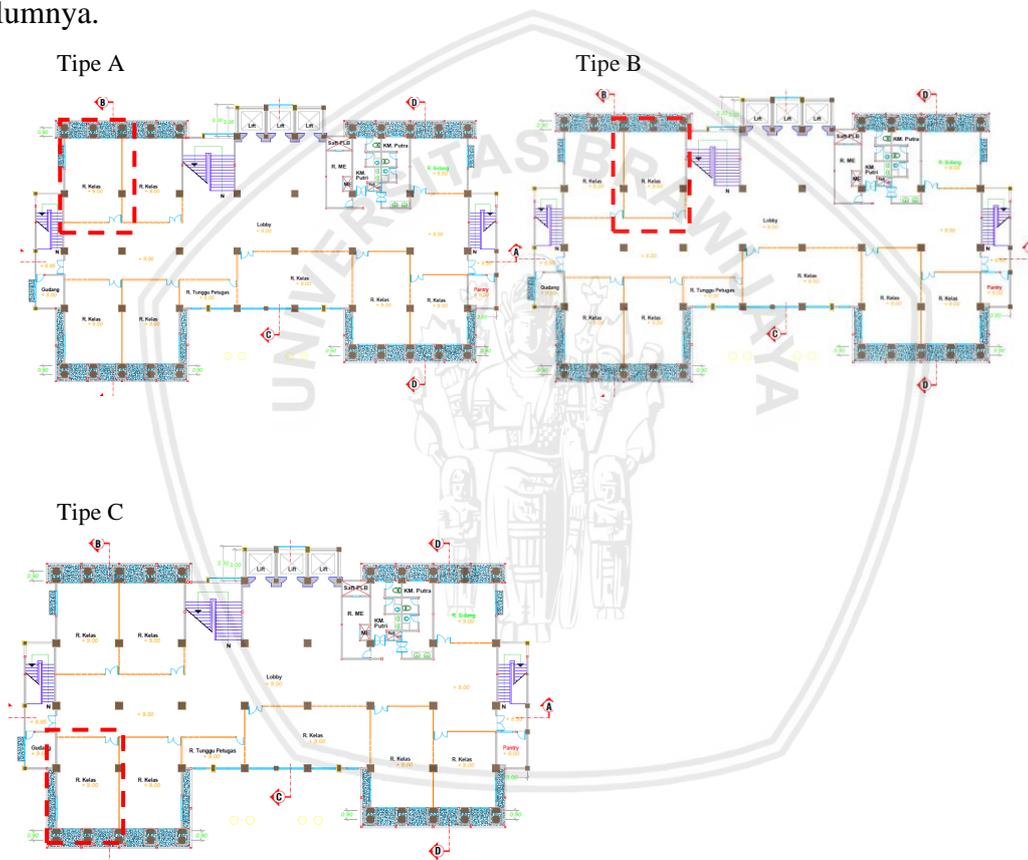


Gambar 4.16 Vegetasi di belakang gedung sebagai taman kecil

Pada bagian belakang gedung atau sisi utara terdapat taman kecil yang digunakan para mahasiswa untuk bersantai yang juga menyediakan meja dan kursi. Taman ini terdapat beberapa jenis vegetasi hias yang dapat menyegarkan udara sekitar taman ini.

4.4 Identifikasi Objek Penelitian

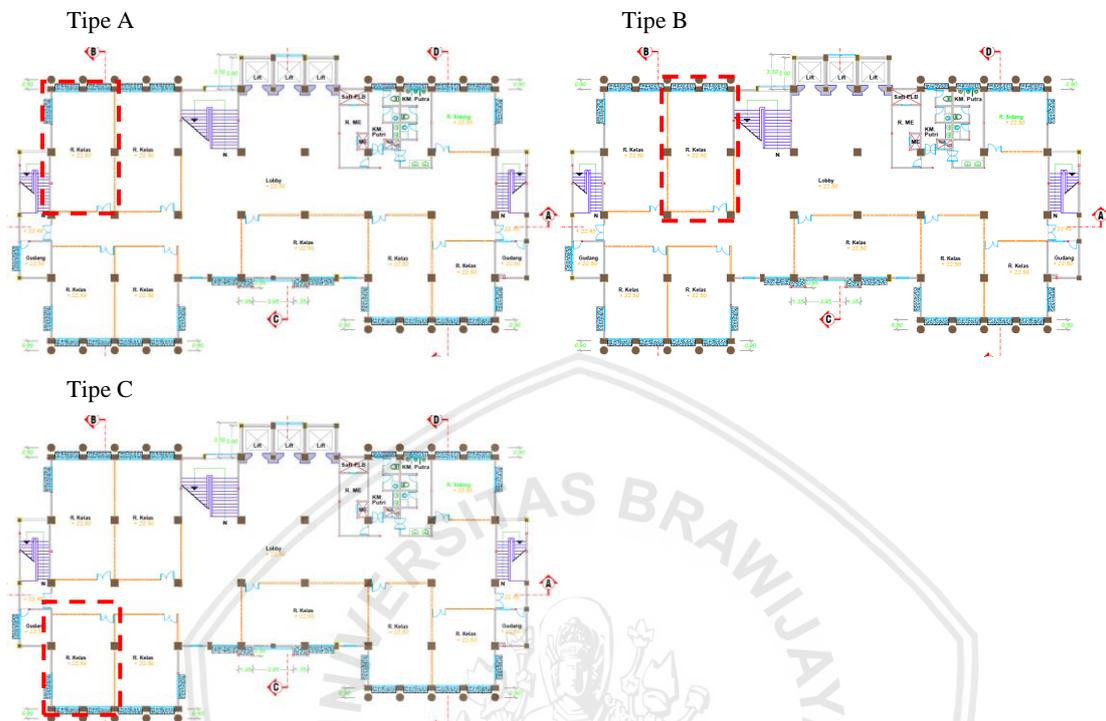
Bangunan Pascasarjana Fakultas Hukum Universitas Brawiaya memiliki tujuh kelas tiap lantainya untuk kegiatan perkuliahan maupun diskusi antar mahasiswa dan dosen. Pada lantai tiga ini disebutkan diatas memiliki tujuh kelas yang digunakan pada proses perkuliahan. Tujuh dari kelas memiliki perbedaan ventilasi, arah bukaan orientasi letak kelas, dan dimensi yang berbeda. Kelas tipe A dan B terletak pada sisi utara lantai ini memiliki dimensi yang sama dan jumlah bukaan yang berbeda. Berbeda dengan kelas tipe C pada sisi selatan ini memiliki arah bukaan yang berlawanan dengan dua tipe kelas sebelumnya.



Gambar 4.17 Lokasi ruang kelas sebagai objek penelitian pada lantai tiga

Sedangkan pada lantai enam jumlahnya berbeda dengan lantai dibawahnya yaitu enam kelas. Lantai enam ini digunakan khusus untuk ujian praktek peradilan bagi mahasiswa hukum ini. Dari enam kelas ini terdapat empat tipe ruang yang berbeda dari klasifikasi ventilasi, arah bukaan orientasi dan letak kelas, dan dimensi yang berbeda. Seperti yang dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, pada lantai enam terdapat dua tipe kelas pada sisi utara sebagai ruang kelas tipe A dan B yang memiliki jumlah bukaan yang berbeda. Selain itu terdapat dua tipe pada sisi selatan dimana kelas tipe C memiliki dimensi yang

sama dengan kelas tipe A namun arah bukaan yang membedakan kedua tipe kelas ini. Untuk kelas tipe D merupakan kelas yang berdimensi lebih besar dibandingkan ketiga tipe kelas lainnya dan menggunakan kelas ini menggunakan jenis jendela yang berbeda.



Gambar 4.18 Lokasi ruang kelas sebagai objek penelitian pada lantai enam

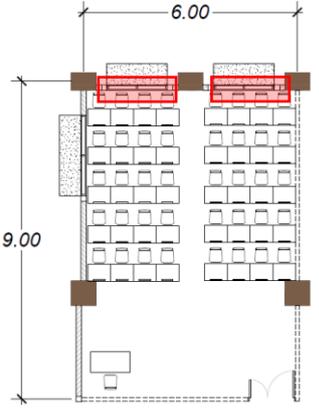
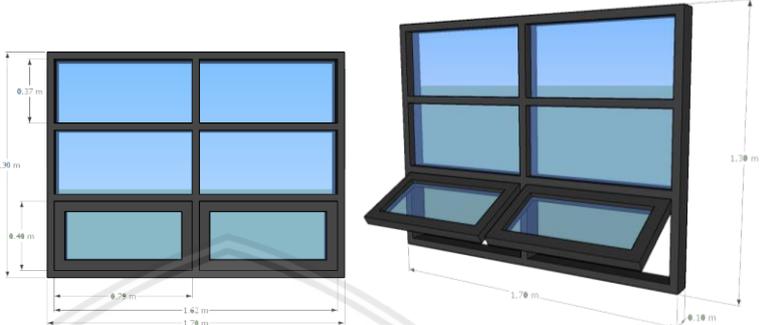
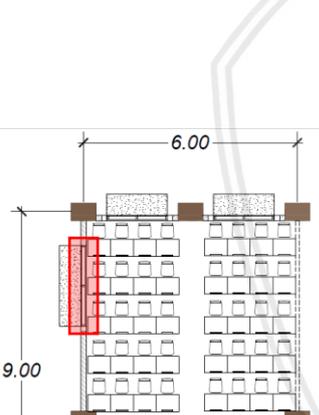
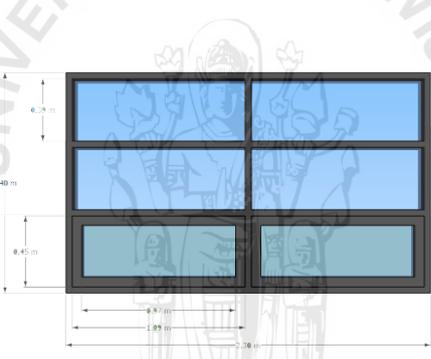
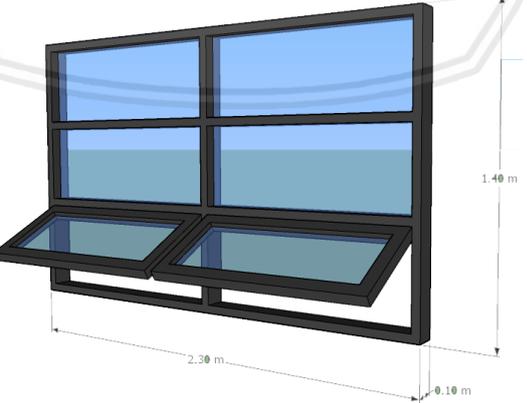
Pengukuran difokuskan pada sampel dari populasi yang ada yaitu pada ruang R. C.3.7 sebagai kelas tipe A, R. C.3.8 sebagai kelas tipe B, dan R. C.3.6 sebagai kelas tipe C. Sedangkan khusus lantai enam pembagiannya adalah: R. peradilan umum 3 sebagai kelas tipe A, Lab. Perancangan kontrak dan undang – undang sebagai kelas tipe B, dan R. peradilan umum 2 sebagai kelas tipe C. Tiap tipe satu ruang kelas diletakan titik – titik pengukuran sejumlah tiga titik di dalam ruang, dan satu titik di sisi luar ruang kelas. Pengukuran dilakukan untuk mengambil data suhu dan kelembaban udara dengan menggunakan *thermometer dry/wet*, data kecepatan angin dengan anemometer. Pengukuran dilakukan pada ketinggian satu meter di atas permukaan lantai. Selain itu juga dilakukan pengukuran fisik berupa dimensi dan identifikasi terhadap jenis – jenis dan material tiap ventilasi pada setiap tipe kelas.

a. Tipe A Lantai 3

Ruang R.C.3.7 sebagai kelas tipe A berada pada sisi utara lantai tiga ini digunakan oleh mahasiswa dan dosen untuk melaksanakan proses perkuliahan. Kelas ini menggunakan tiga bukaan dengan jenis yang sama. Dua dari tiga bukaan menghadap ke arah utara

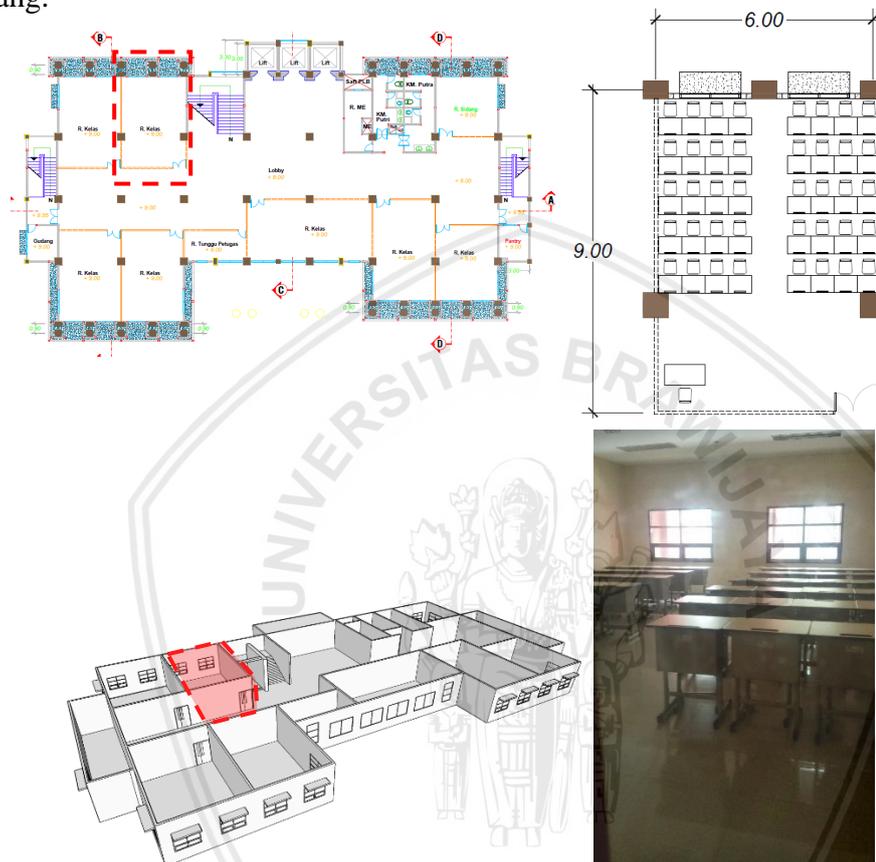
utara luas jendela ini lebih luas 68%. Penggunaan jendela awning pada jendela ini menangkap aliran udara sebesar 75% untuk penghawaan alami.

Tabel 4.5 Jenis, letak dan dimensi ventilasi kelas tipe A lantai tiga

Keyplan	Dimensi Ventilasi
 <p data-bbox="204 891 555 925">Awning dan Fixed Window Tipe A</p>	 <p data-bbox="582 824 901 896">Tampak Depan Jendela Awning dan Fixed Window Tipe A</p> <p data-bbox="997 824 1364 896">Perspektif Jendela Awning dan Fixed Window Tipe A</p>
 <p data-bbox="204 1377 555 1411">Awning dan Fixed Window Tipe B</p>	 <p data-bbox="582 1317 1077 1350">Tampak Depan Jendela Awning dan Fixed Window</p>
	 <p data-bbox="582 1809 1029 1843">Perspektif Jendela Awning dan Fixed Window</p>

b. Tipe B Lantai 3

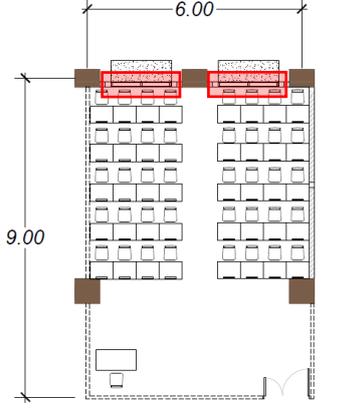
Ruang kelas tipe B ini sama dengan kelas tipe A yang berada pada sisi utara, selain itu ruangan ini berada di sebelah timur kelas tipe A. Fungsi ruang kelas ini digunakan sebagai ruang perkuliahan bagi para mahasiswa hukum baik sarjana maupun pascasarjana. Kelas tipe ini memiliki dimensi 6 x 9 meter dengan luas 54 m², dan berkapasitas maksimal 40 orang.



Gambar 4.20 Keyplan, tampak perspektif, dan denah ruang kelas tipe B lantai tiga

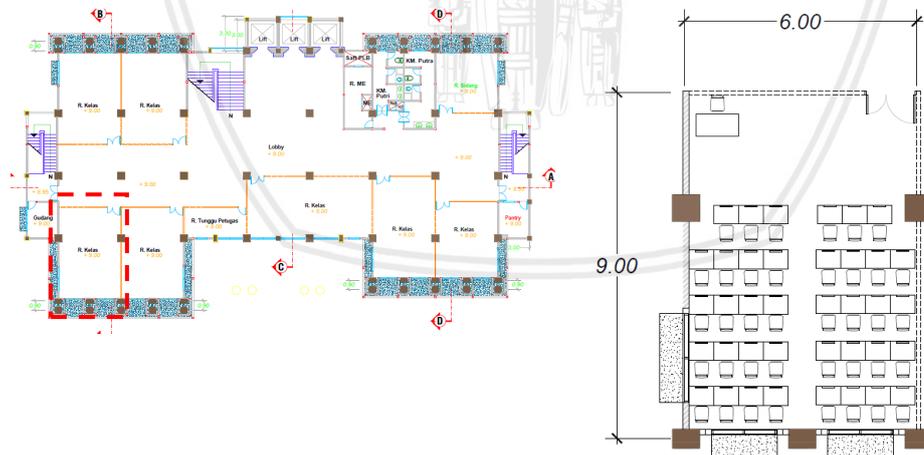
Jenis jendela pada tipe kelas ini sama dengan tipe kelas A yang merupakan gabungan jendela mati dan awning. Jendela tersebut terletak pada sisi utara ruang yang terletak secara vertikal pada ketinggian 90 sentimeter di atas permukaan lantai. Jendela gabungan yang berjumlah dua buah ini masing-masing memiliki luas 2,21 m², jika dibagi berdasarkan jenisnya jendela awning memiliki luas 0,64 m² dan jendela mati seluas 1,17 m² yang sisanya adalah kusen dari jendela itu sendiri. Untuk jendela jenis awning mampu menangkap aliran udara sebesar 75% sehingga jendela ini cukup baik untuk digunakan sebagai penghawaan alami.. Berkusen dan daun jendela material vinyl dan kaca jendela bening.

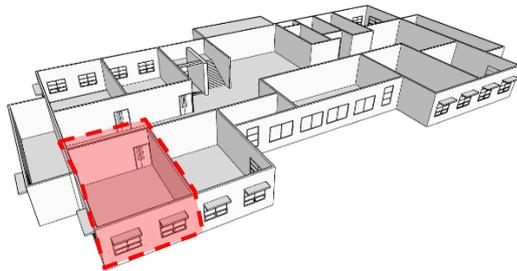
Tabel 4.6 Jenis, letak dan dimensi ventilasi kelas tipe B lantai tiga

Keyplan	Dimensi Ventilasi
 <p data-bbox="204 779 555 806">Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe A</p>	 <p data-bbox="582 712 893 784">Tampak Depan Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe A</p> <p data-bbox="989 712 1356 784">Perspektif Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe A</p>

c. Tipe C Lantai 3

Ruang tipe C ini atau R.C.3.6 berada pada sisi selatan bangunan dan terletak berhadapan dengan kelas tipe A. Kelas ini digunakan oleh para mahasiswa dan dosen untuk melaksanakan proses perkuliahan atau diskusi berkapasitas maksimal 38 orang. Dimensi kelas ini adalah 6 x 9 meter dengan total luas 54 m².



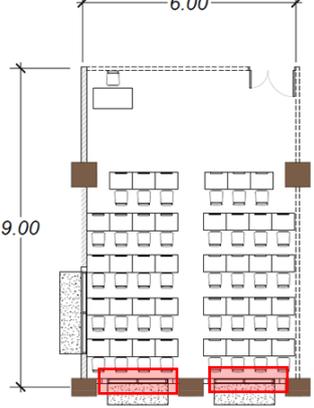
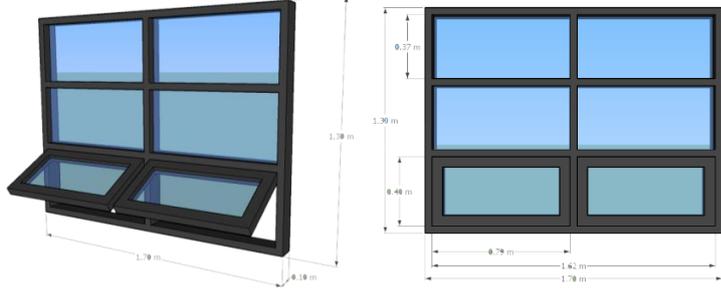
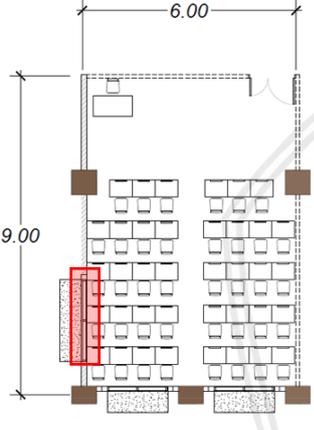


Gambar 4.21 Keyplan, tampak perspektif, dan denah ruang kelas tipe C lantai tiga

Pada sisi selatan tipe ini memiliki dua jendela besar yang merupakan gabungan dari enam buah jendela. Jendela yang ini merupakan tipe A dan tipe B yang terletak pada sisi barat ruang. Dua jendela tersebut merupakan jendela awning dan empat lainnya adalah jendela mati. Jendela ini terletak secara vertikal pada ketinggian 90 sentimeter di atas permukaan lantai. Berkusen dan daun jendela material vinyl dan kaca jendela bening. Seluruh luas satu jendela masing – masing $2,21 \text{ m}^2$,jika dibagi berdasarkan jenisnya jendela awning memiliki luas $0,64 \text{ m}^2$ dan jendela mati seluas $1,17 \text{ m}^2$ yang sisanya adalah kusen dari jendela itu sendiri. Untuk jendela jenis awning mampu menangkap aliran udara sebesar 75% sehingga jendela ini cukup baik untuk digunakan sebagai penghawaan alami.

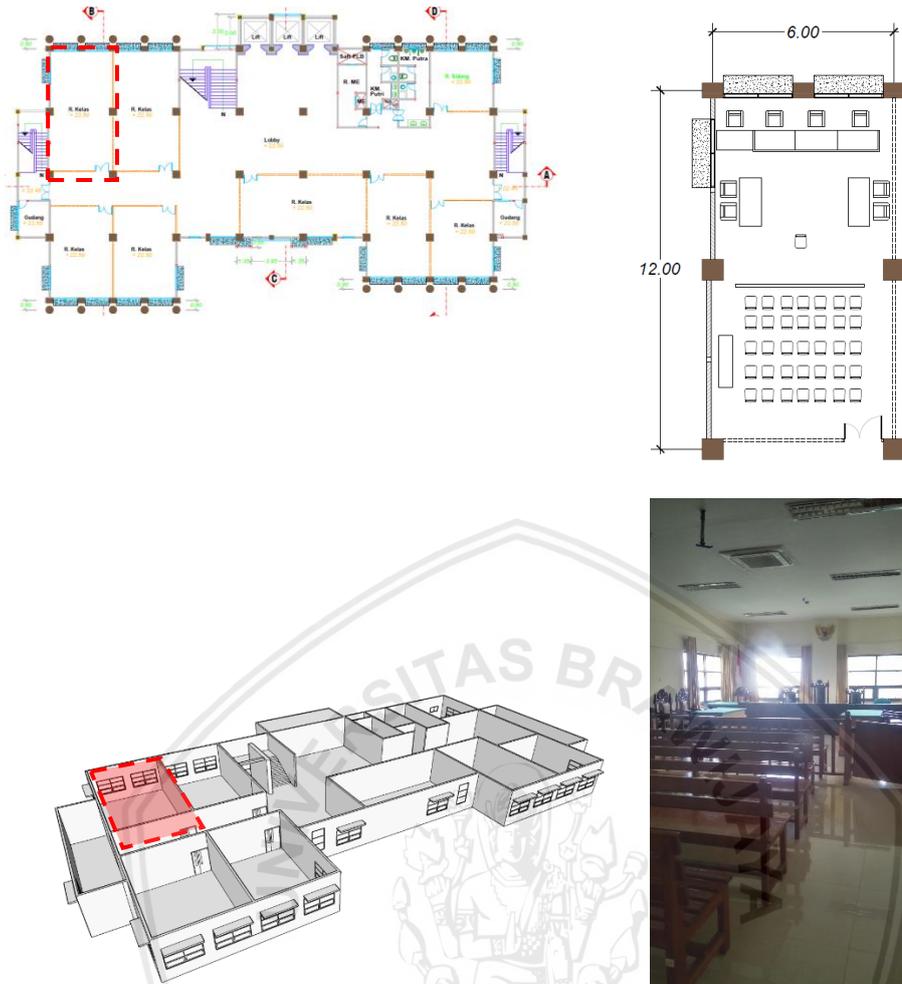
Di sisi barat kelas juga terdapat jendela besar yang sama dengan sisi utara yang merupakan gabungan antara jendela mati dan jendela awning. Namun jendela pada sisi ini lebih luas dibandingkan jendela pada sisi utara. Jendela ini memiliki luas $3,22 \text{ m}^2$,jika dibagi berdasarkan jenisnya jendela awning memiliki luas $0,98 \text{ m}^2$ dan jendela mati seluas $1,72 \text{ m}^2$ yang sisanya adalah kusen dari jendela itu sendiri. Dibandingkan dengan jendela pada sisi utara luas jendela ini lebih luas 68%. Penggunaan jendela awning pada jendela ini menangkap aliran udara sebesar 75% untuk penghawaan alami.

Tabel 4.7 Jenis, letak dan dimensi ventilasi kelas tipe C lantai tiga

Keyplan	Dimensi Ventilasi
 <p data-bbox="209 734 523 763">Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe A</p>	 <p data-bbox="584 618 895 689">Tampak Depan Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe A</p> <p data-bbox="991 618 1358 689">Perspektif Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe A</p>
 <p data-bbox="209 1211 523 1240">Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe B</p>	 <p data-bbox="584 1066 1078 1095">Tampak Depan Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i></p> <p data-bbox="584 1491 1031 1520">Perspektif Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i></p>

d. Tipe A Lantai 6

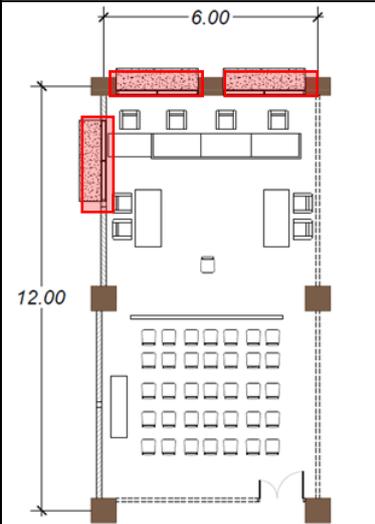
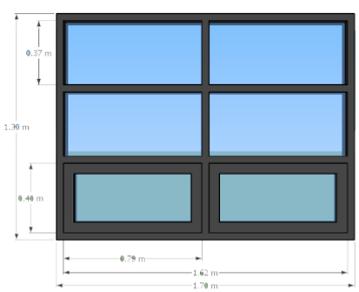
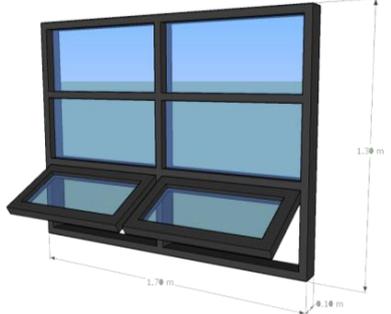
Ruang Peradilan Umum 3 ini merupakan kelas tipe A pada lantai 6 yang digunakan oleh mahasiswa untuk melakukan ujian praktek berupa persidangan terhadap suatu kasus yang akan dibahas. Ruang ini biasanya digunakan pada akhir perkuliahan atau mendekati UAS oleh mahasiswa hukum. Dimensi ruangan ini adalah 6 x 12 meter dengan luas 72 m², dan berkapasitas maksimal 42 orang.



Gambar 4.22 Keyplan, tampak perspektif, dan denah ruang kelas tipe A lantai enam

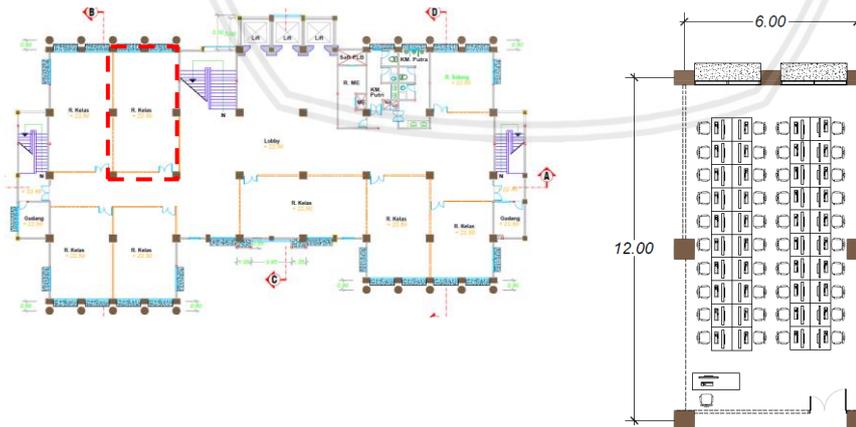
Pada sisi utara ruang terdapat dua jendela besar yang merupakan gabungan antara jendela awning dan jendela mati. Seluruh luas satu jendela masing – masing $3,22 \text{ m}^2$,jika dibagi berdasarkan jenisnya jendela awning memiliki luas $0,98 \text{ m}^2$ dan jendela mati seluas $1,72 \text{ m}^2$ yang sisanya adalah kusen dari jendela itu sendiri. Jendela ini terletak secara vertikal pada ketinggian 90 sentimeter di atas permukaan lantai. Kedua jendela ini berkusen dan daun jendela material vinyl dan kaca jendela bening. Untuk jendela jenis awning mampu menangkap aliran udara sebesar 75% sehingga jendela ini cukup baik untuk digunakan sebagai penghawaan alami. Sedangkan pada sisi barat terdapat satu jendela besar yang memiliki luas yang sama dengan jendela di sisi utara.

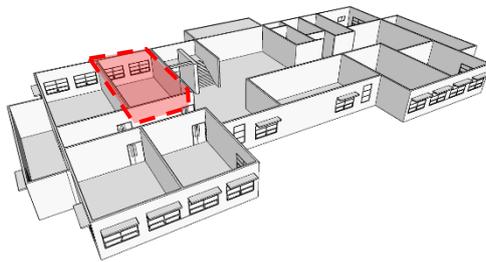
Tabel 4.8 Jenis, letak dan dimensi ventilasi kelas tipe A lantai enam

Keyplan	Dimensi Ventilasi
 <p data-bbox="193 840 568 873">Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe B</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="590 324 949 616">  <p data-bbox="582 638 893 705">Tampak Depan Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe B</p> </div> <div data-bbox="957 302 1348 616">  <p data-bbox="989 638 1364 705">Perspektif Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe B</p> </div> </div>

e. Tipe B Lantai 6

Ruang tipe B pada lantai enam ini merupakan lab perancangan kontrak dan undang – undang ini digunakan oleh mahasiswa hukum untuk mengakses suatu kasus untuk dibahas pada praktek persidangan yang akan dilakukan. Ruangan ini juga dapat mencari literatur bagi mahasiswa atau dosen sehingga dilengkapi dengan 40 unit komputer. Dimensi ruangan ini ialah 6 x 12 meter dengan luas 72 m², dan berkapasitas maksimal 40 orang.





Gambar 4.23 Keyplan, tampak perspektif, dan denah ruang kelas tipe B lantai enam

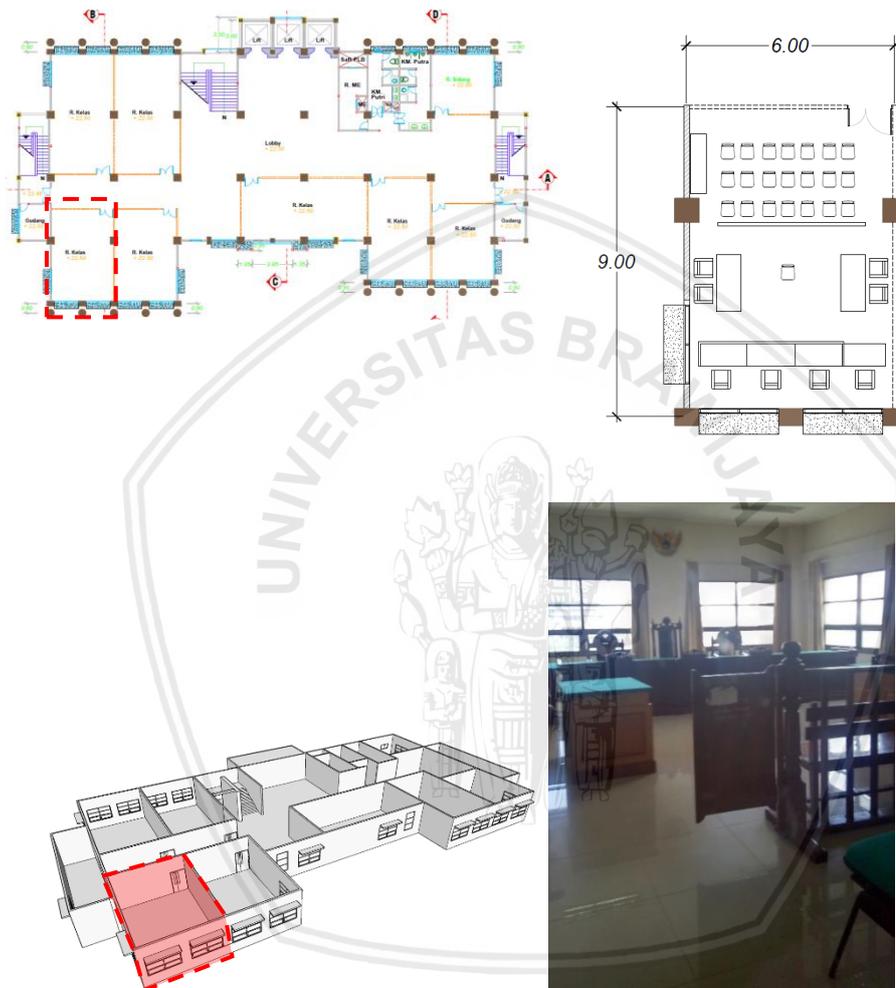
Jenis jendela pada tipe kelas ini sama dengan tipe kelas A yang merupakan gabungan jendela mati dan awning. Jendela tersebut terletak pada sisi utara ruang yang terletak secara vertikal pada ketinggian 90 sentimeter di atas permukaan lantai. Jendela gabungan yang berjumlah dua buah ini masing-masing memiliki luas $3,22 \text{ m}^2$, jika dibagi berdasarkan jenisnya jendela awning memiliki luas $0,98 \text{ m}^2$ dan jendela mati seluas $1,72 \text{ m}^2$ yang sisanya adalah kusen dari jendela itu sendiri. Jendela ini terletak secara vertikal pada ketinggian 90 sentimeter di atas permukaan lantai. Kedua jendela ini berkusen dan daun jendela material vinyl dan kaca jendela bening. Untuk jendela jenis awning mampu menangkap aliran udara sebesar 75% sehingga jendela ini cukup baik untuk digunakan sebagai penghawaan alami.

Tabel 4.9 Jenis, letak dan dimensi ventilasi kelas tipe B lantai enam

Keyplan	Dimensi Ventilasi	
<p data-bbox="204 1883 544 1910">Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe B</p>	<p data-bbox="579 1677 895 1744">Tampak Depan Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe B</p>	<p data-bbox="991 1677 1361 1744">Perspektif Jendela Awning dan <i>Fixed Window</i> Tipe B</p>

f. Tipe C Lantai 6

Ruangan tipe C ini merupakan ruang peradilan umum 1 ini digunakan oleh mahasiswa untuk melakukan ujian praktek berupa persidangan terhadap suatu kasus yang akan dibahas. Ruang ini biasanya digunakan pada akhir perkuliahan atau mendekati UAS oleh mahasiswa hukum. Dimensi ruangan ini lebih kecil jika dibandingkan dengan kelas tipe A yaitu 6 x 9 meter dengan luas 54 m², dan berkapasitas maksimal 30 orang.

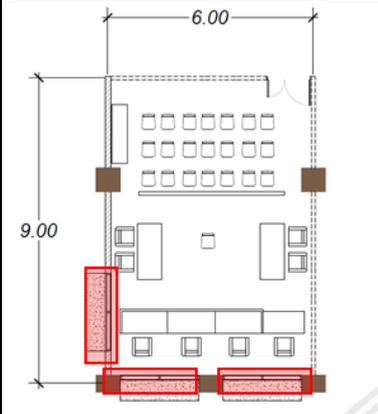


Gambar 4.24 Keyplan, tampak perspektif, dan denah ruang kelas tipe C lantai enam

Pada sisi selatan ruang terdapat dua jendela besar yang merupakan gabungan antara jendela awning dan jendela mati. Seluruh luas satu jendela masing – masing 3,22 m², jika dibagi berdasarkan jenisnya jendela awning memiliki luas 0,98 m² dan jendela mati seluas 1,72 m² yang sisanya adalah kusen dari jendela itu sendiri. Jendela ini terletak secara vertikal pada ketinggian 90 sentimeter di atas permukaan lantai. Kedua jendela ini berkusen dan daun jendela material vinyl dan kaca jendela bening. Untuk jendela jenis awning mampu menangkap aliran udara sebesar 75% sehingga jendela ini cukup baik untuk digunakan

sebagai penghawaan alami. Sedangkan pada sisi barat terdapat satu jendela besar yang memiliki luas yang sama dengan jendela di sisi utara.

Tabel 4.10 Jenis, letak dan dimensi ventilasi kelas tipe C lantai enam

Keyplan	Dimensi Ventilasi
 <p>Awning dan Fixed Window Tipe B</p>	 <p>Tampak Depan Jendela Awning dan Fixed Window Tipe B</p> <p>Perspektif Jendela Awning dan Fixed Window Tipe B</p>

g. Kesimpulan

Tabel 4.11 Analisis karakter dan rasio ventilasi terhadap permukaan lantai

Tipe	Kelebihan	Kekurangan	Ventilasi (m ²)			Keterangan
			Luas (m ²)	SNI (10%)	Eksisting	
A (Lantai 3)	- Ruang kelas ini kurang terpapar langsung panas matahari	- Agak gelap karena tertutup dengan vegetasi - Ventilasi tidak memenuhi	54	5,4	2,26	TIDAK MEMENUHI
B (Lantai 3)	- Ruang kelas ini kurang terpapar langsung panas matahari	- Agak gelap karena tertutup dengan vegetasi - Ventilasi tidak memenuhi	54	5,4	1,26	TIDAK MEMENUHI
C (Lantai 3)	- Ruang kelas ini cukup terpapar langsung panas matahari	- Cross ventilation pada ruang ini kurang optimal.	54	5,4	2,26	TIDAK MEMENUHI
A (Lantai 6)	- Ruang kelas ini cukup terpapar langsung panas matahari	- Ventilasi terlalu minim	72	7,2	2,94	TIDAK MEMENUHI
B (Lantai 6)	- Ruang kelas ini cukup terpapar langsung panas matahari	- Cross ventilation pada ruang ini kurang optimal.	72	7,2	1,96	TIDAK MEMENUHI
C (Lantai 6)	- Ruang kelas ini cukup terpapar langsung panas matahari	- Cross ventilation pada ruang ini kurang optimal.	54	5,4	2,94	TIDAK MEMENUHI

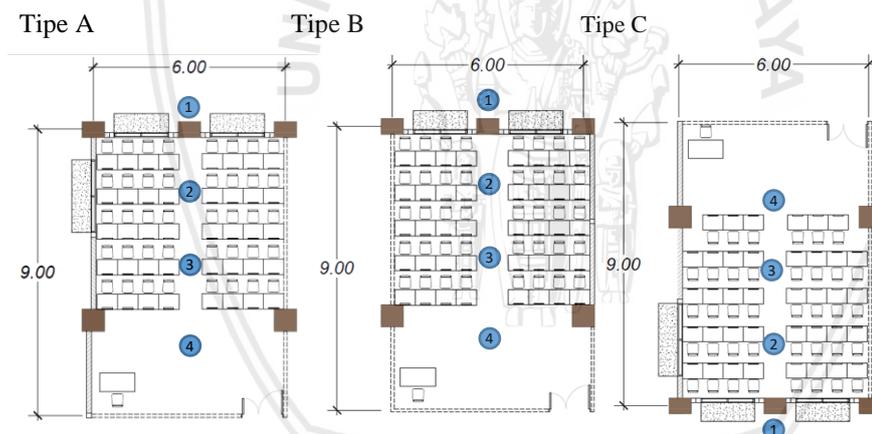
4.5 Analisis Hasil Pengukuran

Kenyamanan termal mempunyai beberapa faktor yang mempengaruhinya yaitu, suhu, kelembaban udaran, dan kecepatan angin. Namun suhu dan kecepatan angin yang

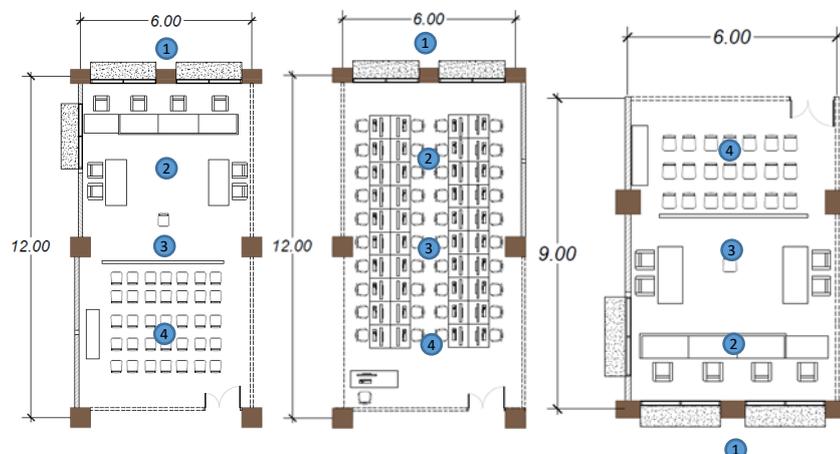
mengalir di dalam ruangan merupakan faktor yang paling penting untuk mencapai kondisi termal yang nyaman untuk kegiatan perkuliahan. Data – data tersebut diperlukan untuk diolah sehingga dapat dianalisis dan dapat membuat solusi atau rekomendasi desain agar ruang kelas tersebut mendapatkan kenyamanan termal.

4.5.1 Data dan hasil analisis pengukuran

Pengambilan data pengukuran dilakukan di ruang kelas yang telah dipilih untuk dijadikan sampel penelitian. Terdapat empat ruang kelas pada tiap lantai tiga dan enam dengan identifikasi yang berbeda seperti yang telah dibahas dalam sub bab sebelumnya. Penelitian dilakukan pada hari Selasa, 26 Maret 2019 sampai hari Kamis, 28 Maret 2019 pada jam aktif perkuliahan. Waktu pengambilan dibagi menjadi tiga waktu yang menyesuaikan pada saat perkuliahan, Ketiga waktu tersebut yaitu, pukul 08.00 – 10.00, pukul 11.00 – 13.00 dan, pukul 14.00 – 16.00. Pada tiap tipe kelas terdapat tiga titik pengukuran di dalam ruang kelas dan satu titik di luar kelas.



Gambar 4.25 Titik pengukuran pada ruang kelas tipe A, B, dan C di lantai 3



Gambar 4.26 Titik pengukuran pada ruang kelas tipe A, B, dan C di lantai 6

Alat ukur suhu, kelembaban udara, dan kecepatan udara diletakan di ketinggian 1 meter di atas permukaan lantai ruang kelas. Kondisi ruang kelas ketika dilakukan pengukuran adalah jendela dalam keadaan terbuka karena pada kondisi eksisting saat proses perkuliahan.

a. Suhu

Suhu yang terukur pada tiap kelas diperoleh dari pengukuran empat titik pada ruangan lalu dari hasilnya tersebut akan didapatkan rata – rata setiap jamnya selama proses perkuliahan berlangsung seperti dijelaskan sebelumnya. Hasil rata – rata tiap waktu per tipe kelas tersebut dapat diketahui bagaimana kondisi suhu eksisting di dalam ruang kelas. Berikut adalah tabel dan diagram suhu eksisting tiap tipe kelas:

Tabel 4.12 Data pengukuran suhu pada lantai 3

Hari	Jam	Suhu Eksisting (C°)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Selasa	08.00 – 10.00	25.8	25.9	25.6	26.4	25.9	27.3
	11.00 – 13.00	26.5	25.6	26.1	25.7	25.7	25.8
	14.00 – 16.00	26.2	26.1	26.1	26.0	26.6	26.7
	Rata - rata	26.1	25.8	25.9	26.0	26.0	26.6
Rabu	08.00 – 10.00	27.1	27.1	26.8	26.6	26.6	26.5
	11.00 – 13.00	26.4	26.2	26.2	25.7	26.8	26.5
	14.00 – 16.00	26.1	26.2	26.4	26.1	27.3	26.6
	Rata - rata	26.5	26.5	26.4	26.1	26.9	26.5
Kamis	08.00 – 10.00	25.8	26.4	25.6	25.1	26.7	26.7
	11.00 – 13.00	26.8	26.7	26.5	26.1	27.2	26.7
	14.00 – 16.00	27.6	27.7	26.7	26.5	25.1	25.4
	Rata - rata	26.7	26.9	26.2	25.9	26.3	26.2

Keterangan :

- Keadaan cuaca pada jam 08.00 – 10.00 berawan sehingga matahari tidak tampak ini berlaku setiap hari.
- Keadaan cuaca pada jam 11.00 – 13.00 hari Selasa cerah dan matahari tampak dengan jelas, sedangkan hari Rabu dan Kamis berawan.
- Keadaan cuaca pada jam 14.00 – 16.00 ketiga harinya cenderung hujan deras

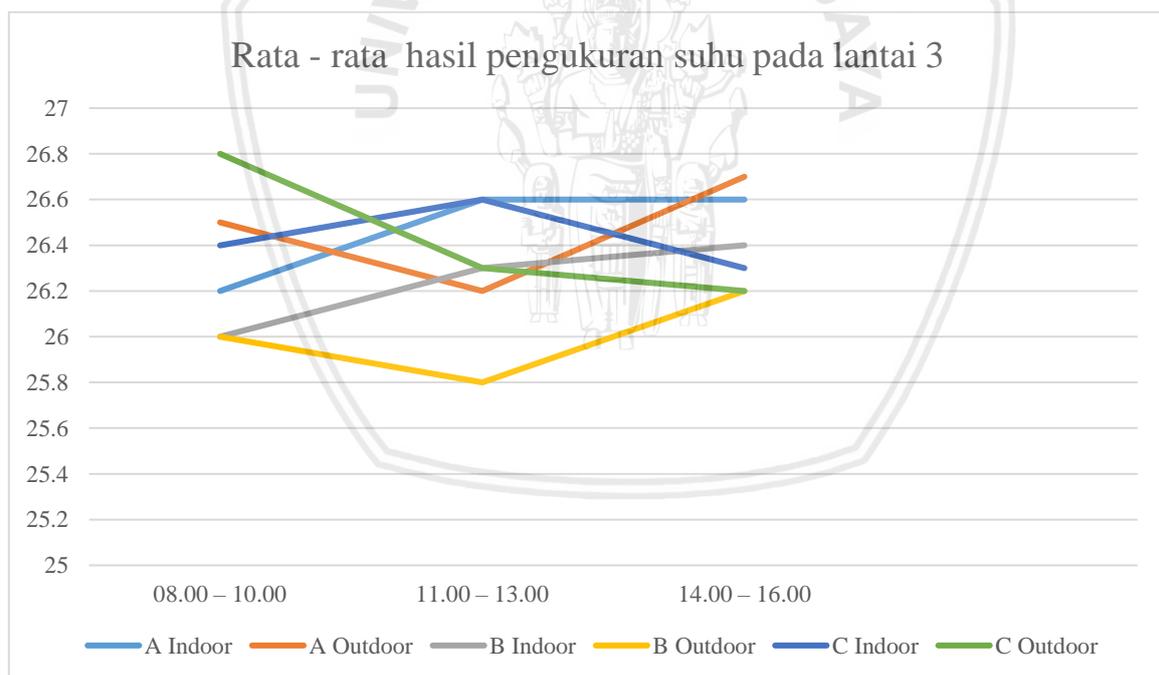
Pengukuran suhu yang dilakukan pada ruang kelas Tipe A, B, dan C di lantai tiga. Pada ruang kelas tipe A dan B, memiliki letak orientasi yang sama yaitu pada sisi utara gedung dengan orientasi bukaan yang sama yaitu pada sisi utara. Namun pada kelas tipe A

terdapat bukaan lebih pada sisi barat ruangan. Sedangkan ruang kelas tipe C, terletak di sisi selatan gedung ini memiliki orientasi jendela yang sama yaitu selatan. Untuk kelas tipe C ini memiliki jenis bukaan gabungan jendela mati dan awning pada sisi selatan dan barat.

Dari hasil pengukuran yang dilakukan tiga hari ini dari tanggal 26 Maret 2019 sampai 28 Maret ini terlihat suhu di kelas tipe B cukup rendah dibandingkan dengan tipe lainnya.

Tabel 4.13 Rata-rata hasil pengukuran suhu pada lantai 3

Jam	Suhu Eksisting (C°)					
	Tipe A		Tipe B		Tipe C	
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
08.00 – 10.00	26.2	26.5	26.0	26.0	26.4	26.8
11.00 – 13.00	26.6	26.2	26.3	25.8	26.6	26.3
14.00 – 16.00	26.6	26.7	26.4	26.2	26.3	26.2
Rata - rata	26.5	26.4	26.2	26.0	26.4	26.5



Gambar 4.27 Titik pengukuran pada ruang kelas tipe A, B, dan C di lantai 6

Jika dilihat pada tabel rata – rata tiap waktunya ini seluruh tipe ruang pada lantai tiga tergolong nyaman karena suhu tiap ruangnya tidak sampai melampaui dari batas maksimal suhu nyaman di titik 27,45°C.

Tabel 4.14 Data pengukuran suhu pada lantai 6

Hari	Jam	Suhu Eksisting (C°)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Selasa, 26 Maret 2019	08.00 – 10.00	26.1	27.7	27.9	27.7	27.7	27.6
	11.00 – 13.00	28.4	29.2	29.1	30.1	28.8	29.7
	14.00 – 16.00	27.0	25.8	27.8	26.2	26.4	25.3
	Rata - rata	27.1	27.5	28.2	28.0	27.6	27.5
Rabu, 27 Maret 2019	08.00 – 10.00	27.1	26.7	27.5	27.3	26.7	26.3
	11.00 – 13.00	29.2	28.6	28.7	28.4	28.2	27.4
	14.00 – 16.00	28.0	27.5	28.7	28.8	28.1	27.4
	Rata - rata	28.1	27.6	28.3	28.1	27.7	27.0
Kamis, 28 Maret 2019	08.00 – 10.00	27.0	26.8	29.4	30.1	26.9	26.5
	11.00 – 13.00	27.8	27.6	29.1	30.0	28.2	28.4
	14.00 – 16.00	27.9	27.7	28.8	28.4	29.7	29.9
	Rata - rata	27.6	27.4	29.1	29.5	28.3	28.3

Keterangan :

- Keadaan cuaca pada jam 08.00 – 10.00 berawan sehingga matahari tidak tampak ini berlaku setiap hari.
- Keadaan cuaca pada jam 11.00 – 13.00 hari Selasa cerah dan matahari tampak dengan jelas, sedangkan hari Rabu dan Kamis berawan.
- Keadaan cuaca pada jam 14.00 – 16.00 ketiga harinya cenderung hujan deras.

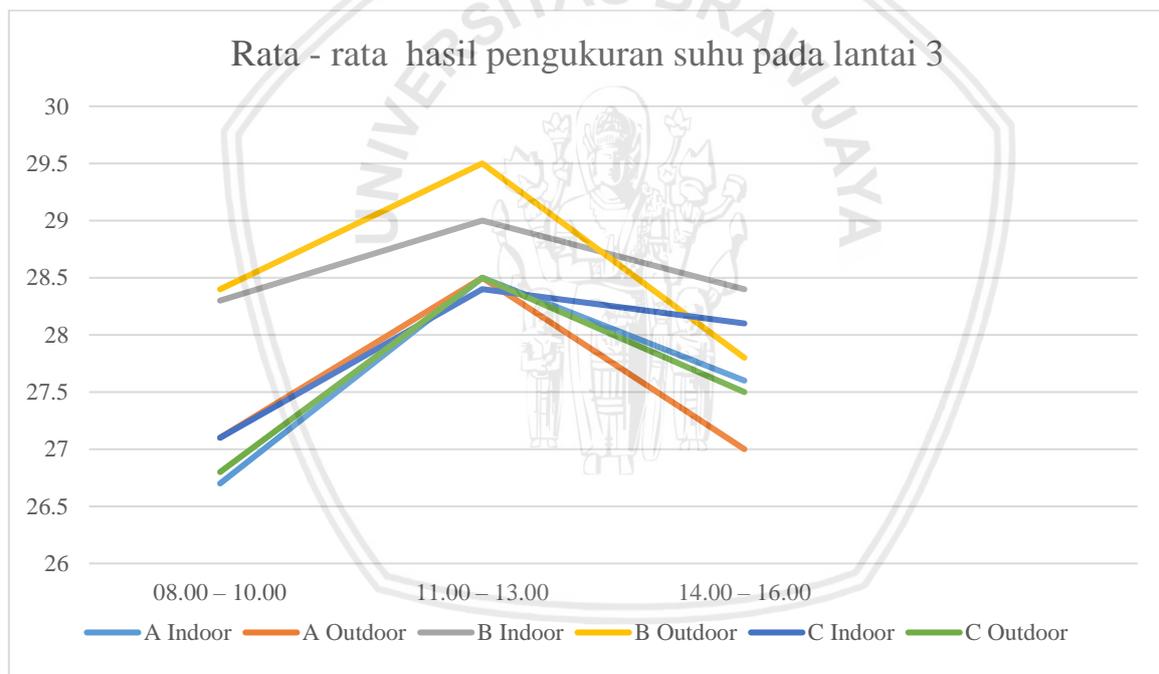
Pengukuran suhu yang dilakukan pada ruang kelas Tipe A, B, dan C di lantai tiga. Pada ruang kelas tipe A dan B, memiliki letak orientasi yang sama yaitu pada sisi utara gedung dengan orientasi bukaan yang sama yaitu pada sisi utara. Namun pada kelas tipe A terdapat bukaan lebih pada sisi barat ruangan. Sedangkan ruang kelas tipe C, terletak di sisi selatan gedung ini memiliki orientasi jendela yang sama yaitu selatan. Untuk kelas tipe C ini memiliki jenis bukaan gabungan jendela mati dan awning pada sisi selatan dan barat.

Dari hasil pengukuran yang dilakukan tiga hari ini dari tanggal 26 Maret 2019 sampai 28 Maret 2019 ini terlihat suhu di kelas tipe A memiliki rata - rata suhu paling rendah jika dibandingkan dengan tipe lainnya. Berbeda dengan kelas tipe B yang terlihat dengan suhu tertinggi yang sampai diangka 30.1°C. Kelas tipe B ini selalu melampaui dari batas maksimal nyaman di titik 27,45°C sehingga suhu ruangan ini kurang nyaman apabila

digunakan untuk perkuliahan. Namun dari keseluruhan rata – rata tiap tipe kelas ini jika suhunya lebih tinggi jika dibandingkan dengan suhu nyaman Kota Malang yaitu 25.07°C , dan beberapa kelas bahkan melebihi batas maksimal suhu nyaman. Berikut merupakan tabel rata – rata tiap jam pada lantai enam:

Tabel 4.15 Rata-rata hasil pengukuran suhu pada lantai 6

Jam	Suhu Eksisting ($^{\circ}\text{C}$)					
	Tipe A		Tipe B		Tipe C	
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
08.00 – 10.00	26.7	27.1	28.3	28.4	27.1	26.8
11.00 – 13.00	28.5	28.5	29.0	29.5	28.4	28.5
14.00 – 16.00	27.6	27.0	28.4	27.8	28.1	27.5
Rata - rata	27.6	27.5	28.6	28.6	27.9	27.6



Gambar 4.28 Titik pengukuran pada ruang kelas tipe A, B, dan C di lantai 6

Jika dilihat pada tabel rata – rata tiap waktunya ini seluruh tipe ruang pada lantai enam seluruh tipe kelas melampaui batas maksimal suhu nyaman di titik $27,45^{\circ}\text{C}$. Tercatat bahwa pada pukul 11.00 – 13.00 rata – rata suhu mengalami kenaikan dari $0,7^{\circ}$ – $1,5^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan data, suhu dalam keadaan nyaman dibawah batas maksimal suhu nyaman pada lantai enam ini adalah ketika pada pukul 08.00 – 10.00, kecuali pada ruang tipe B yang tercatat kurang nyaman dari pukul 08.00 – 16.00.

b. Kelembaban udara

Tingkat kelembaban di dalam ruangan dapat mempengaruhi kualitas termal di dalam kelas. Kelembaban tidak lepas dari besar suhu di dalam ruangan. Ketika angka suhu dan kelembaban seimbang, maka pengguna ruang merasa nyaman. Berikut merupakan data tabel dan grafik hasil pengukuran di dalam ruang kelas.

Tabel 4.16 Data pengukuran kelembaban pada lantai 3

Hari	Jam	Kelembaban (%)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Selasa, 26 Maret 2019	08.00 – 10.00	76	76	73	75	76	69
	11.00 – 13.00	79	76	81	76	84	84
	14.00 – 16.00	84	76	76	84	76	84
	Rata - rata	80	76	77	78	79	79
Rabu, 27 Maret 2019	08.00 – 10.00	77	76	77	76	76	76
	11.00 – 13.00	87	76	81	76	84	77
	14.00 – 16.00	77	76	84	76	79	77
	Rata - rata	80	76	81	76	80	66
Kamis, 28 Maret 2019	08.00 – 10.00	76	77	79	84	76	70
	11.00 – 13.00	77	76	74	71	76	71
	14.00 – 16.00	79	76	82	76	77	76
	Rata - rata	77	76	78	77	76	72

Keterangan :

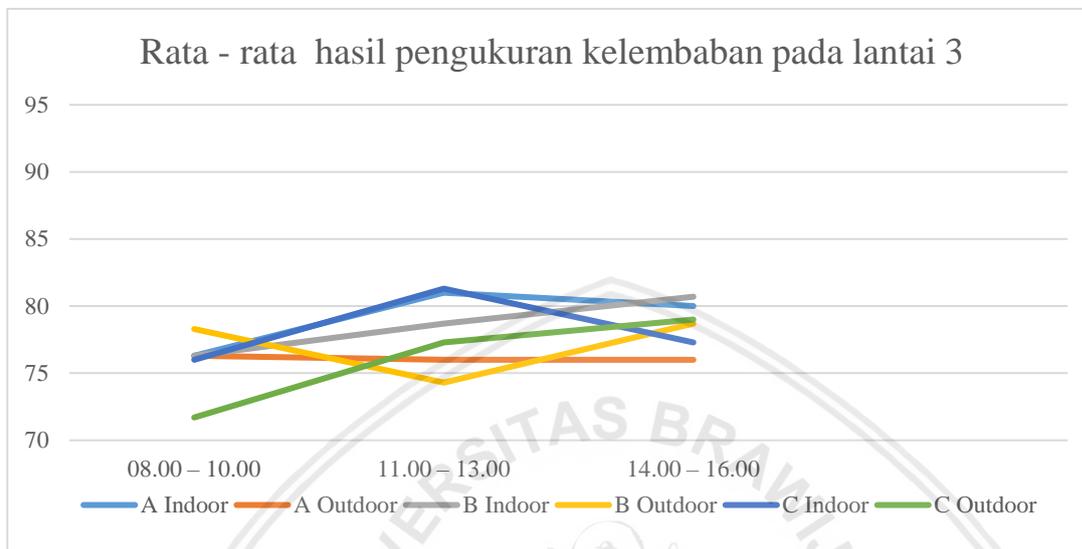
- Keadaan cuaca pada jam 08.00 – 10.00 berawan sehingga matahari tidak tampak ini berlaku setiap hari.
- Keadaan cuaca pada jam 11.00 – 13.00 hari Selasa cerah dan matahari tampak dengan jelas, sedangkan hari Rabu dan Kamis berawan.
- Keadaan cuaca pada jam 14.00 – 16.00 ketiga harinya cenderung hujan deras.

Berikut merupakan tabel rata – rata tiap jam pada lantai tiga:

Tabel 4.17 Data rata-rata pengukuran kelembaban pada lantai 3

	Jam	Kelembaban (%)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
	08.00 – 10.00	76.3	76.3	76.3	78.3	76.0	71.7

Rata – Rata	11.00 – 13.00	81.0	76.0	78.7	74.3	81.3	77.3
	14.00 – 16.00	80.0	76.0	80.7	78.7	77.3	79.0
Setiap Jam	Rata - rata	79.1	76.1	78.6	77.1	78.2	76.0



Gambar

Gambar 4.29 Titik pengukuran pada ruang kelas tipe A, B, dan C di lantai 6

Tabel 4.18 Data pengukuran kelembaban pada lantai 6

Hari	Jam	Kelembaban (%)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Selasa, 26 Maret 2019	08.00 – 10.00	81	77	76	70	77	70
	11.00 – 13.00	70	65	75	65	80	71
	14.00 – 16.00	87	76	76	76	79	76
	Rata - rata	79	73	76	70	79	72
Rabu, 27 Maret 2019	08.00 – 10.00	84	77	77	76	79	76
	11.00 – 13.00	79	70	74	70	82	70
	14.00 – 16.00	87	77	77	70	82	77
	Rata - rata	83	75	76	72	81	74
Kamis, 28 Maret 2019	08.00 – 10.00	79	77	79	76	79	77
	11.00 – 13.00	79	69	77	70	79	70
	14.00 – 16.00	79	70	77	76	79	70
	Rata - rata	79	72	78	74	79	72

Keterangan :

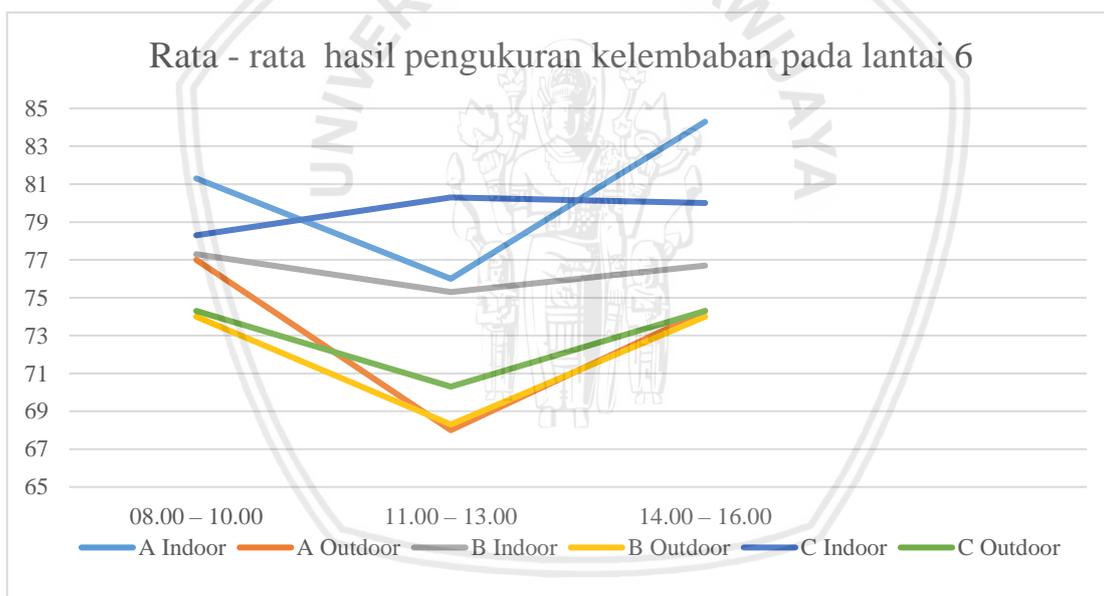
- a. Keadaan cuaca pada jam 08.00 – 10.00 berawan sehingga matahari tidak tampak ini berlaku setiap hari.

- b. Keadaan cuaca pada jam 11.00 – 13.00 hari Selasa cerah dan matahari tampak dengan jelas, sedangkan hari Rabu dan Kamis berawan.
- c. Keadaan cuaca pada jam 14.00 – 16.00 ketiga harinya cenderung hujan deras.

Dari pengukuran berdasarkan tiga hari berikut tabel rata – rata kelembaban di setiap waktu pada lantai enam :

Tabel 4.19 Data rata-rata pengukuran kelembaban pada lantai 6

Hari	Jam	Kelembaban (%)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Rata – Rata	08.00 – 10.00	81.3	77.0	77.3	74.0	78.3	74.3
Setiap Jam	11.00 – 13.00	76.0	68.0	75.3	68.3	80.3	70.3
	14.00 – 16.00	84.3	74.3	76.7	74.0	80.0	74.3
	Rata - rata	80.6	73.1	76.4	72.1	79.6	73.0



Gambar 4.30 Titik pengukuran pada ruang kelas tipe A, B, dan C di lantai 6

Pada data kelembaban nisbi Kota Malang pada bulan Maret 2017 menunjukkan bahwa kelembaban berada pada titik rata – rata 83 %. Jika dengan bulan – bulan lain pada tahun 2017, bulan Maret ini termasuk mengalami kelembaban yang cukup tinggi. Kelembaban udara pada empat tipe kelas dan dibandingkan kondisi kelembaban outdoor pada lantai tiga dan enam cukup terlihat selisih angka kelembabannya.

c. Kecepatan angin

Sirkulasi udara di dalam ruangan mempengaruhi kualitas termal di dalam kelas. Namun sirkulasi udara yang baik apabila di dalam ruangan terjadi *cross ventilation* dan besar kecepatan angin yang sesuai dengan kondisi suhu dan kelembaban di dalam ruangan terutama untuk kelas, dimana pergerakan udara di dalam ruangan mempengaruhi proses perkuliahan. Pada data BMKG bulan Maret tahun 2017 tercatat rata – rata kecepatan angin adalah sebesar 0.78 m/s dengan arah datang dari selatan ke utara.

Tabel 4.20 Data pengukuran kecepatan angin pada lantai 3

Hari	Jam	Kecepatan Angin (m/s)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Selasa, 26 Maret 2019	08.00 – 10.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
	11.00 – 13.00	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.2
	14.00 – 16.00	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	Rata - rata	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.5
Rabu, 27 Maret 2019	08.00 – 10.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	11.00 – 13.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
	14.00 – 16.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
	Rata - rata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
Kamis, 28 Maret 2019	08.00 – 10.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
	11.00 – 13.00	0.0	1.7	0.0	0.8	0.0	1.0
	14.00 – 16.00	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Rata - rata	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.3

Keterangan :

- Keadaan cuaca pada jam 08.00 – 10.00 berawan sehingga matahari tidak tampak ini berlaku setiap hari.
- Keadaan cuaca pada jam 11.00 – 13.00 hari Selasa cerah dan matahari tampak dengan jelas, sedangkan hari Rabu dan Kamis berawan.
- Keadaan cuaca pada jam 14.00 – 16.00 ketiga harinya cenderung hujan deras.

Dari pengukuran berdasarkan tiga hari berikut tabel dan diagram rata – rata kecepatan udara di setiap waktu pada lantai tiga :

Kamis, 28 Maret 2019	11.00 – 13.00	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	1.4
	14.00 – 16.00	0.0	0.8	0.0	0.4	0.0	0.0
	Rata - rata	0.0	0.5	0.0	0.1	0.0	0.6

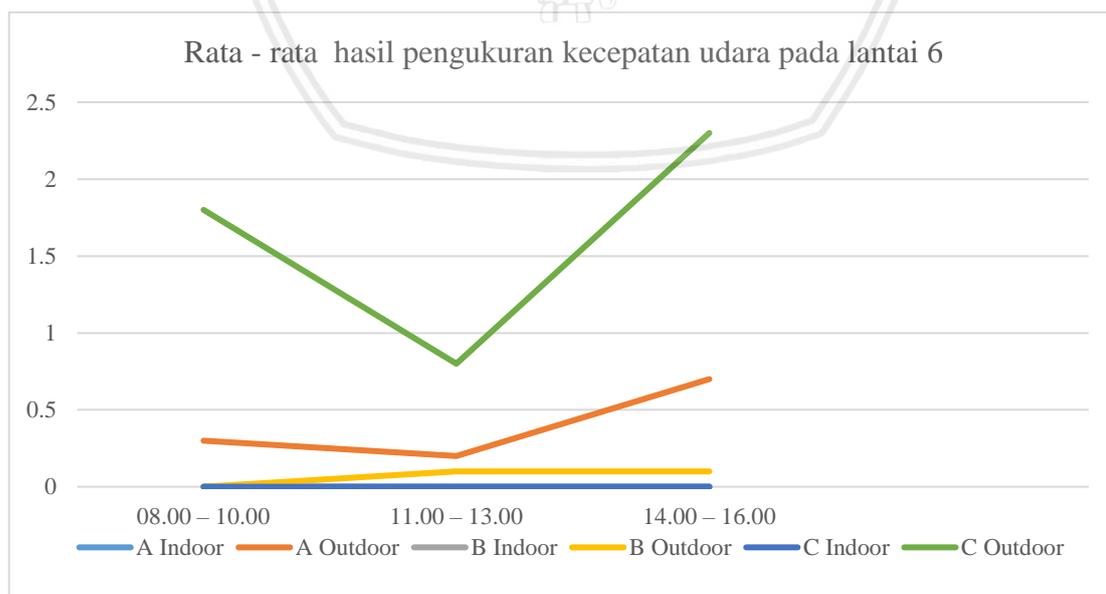
Keterangan :

- Keadaan cuaca pada jam 08.00 – 10.00 berawan sehingga matahari tidak tampak ini berlaku setiap hari.
- Keadaan cuaca pada jam 11.00 – 13.00 hari Selasa cerah dan matahari tampak dengan jelas, sedangkan hari Rabu dan Kamis berawan.
- Keadaan cuaca pada jam 14.00 – 16.00 ketiga harinya cenderung hujan deras.

Dari pengukuran berdasarkan tiga hari berikut tabel rata – rata kecepatan udara di setiap waktu pada lantai enam :

Tabel 4.23 Data rata-rata pengukuran kecepatan angin pada lantai 6

Hari	Jam	Kecepatan Angin (m/s)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Rata – Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.8
	11.00 – 13.00	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.8
	14.00 – 16.00	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0	2.3
	Rata - rata	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	1.6



Gambar 4.32 Titik pengukuran pada ruang kelas tipe A, B, dan C di lantai 6

Ketika dilakukan pengukuran kecepatan angin, kondisi arah angin yang berhembus adalah berasal dari selatan menuju ke utara. Sesuai dengan data dari BMKG pada Maret 2017 juga tercatat bahwa arah angin yang datang adalah berasal dari arah selatan ke utara. Namun terlihat pada tabel data pengukuran kecepatan angin rata-rata di dalam kelas dengan kondisi jendela terbuka maupun tertutup menunjukkan angka nol, yang berarti sangat minim atau bahkan tidak ada pergerakan udara di dalam ruangan. Dibandingkan dengan aliran udara di luar ruangan masih cukup kencang. Hal ini diakibatkan karena minimnya bukaan di dalam ruang kelas dan sirkulasi udara di dalam ruangan tidak mengalir dengan baik yang mengakibatkan udara terperangkap dan menimbulkan suhu ruangan meningkat.

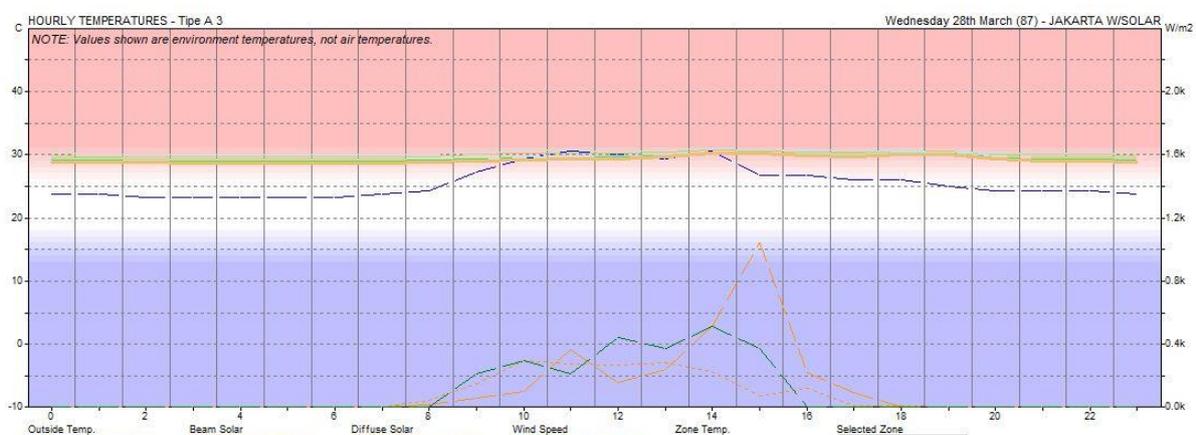
4.6 Simulasi Eksisting dan analisis hasil

Setelah mengkaji eksisting dan mengolah data, didapatkan sintesis dan kesimpulan bahwa ruang kelas masing – masing belum mencapai kenyamanan termal dengan kriteria dan syarat kenyamanan dan tata ventilasi.

Tahapan simulasi kondisi eksisting tiap tipe kelas adalah pendukung data sebelumnya untuk dapat mengidentifikasi kebutuhan modifikasi yang dibutuhkan. Simulasi kondisi eksisting juga divalidasi supaya hasil yang didapat tidak berbeda jauh dengan pengaplikasian dan diterapkan pada lapangan. Berikut adalah simulasi eksisting per tipe kelas.

a. Tipe A Lantai 3

Ruang kelas tipe A dengan ukuran 6 x 12 meter dibuat permodelannya di software Ecotect Analysis 2011 dengan menyertakan lubang – lubang ventilasi yang sesuai dengan ukuran eksisting orientasi, posisi ruang kelas terhadap bangunan, dan elemen arsitektural seperti terdapat shading device pada tiap jendela.



Gambar 4.33 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 3

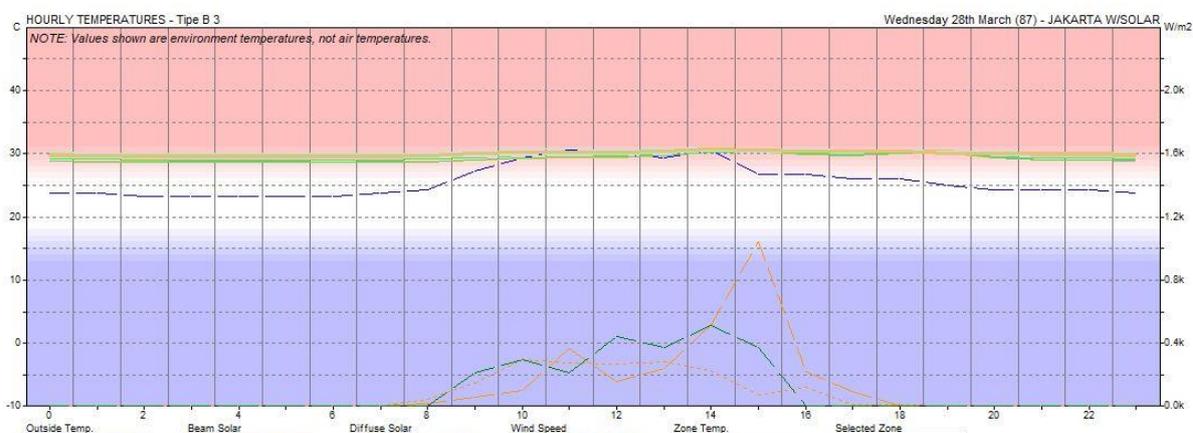
Tabel 4.24 Simulasi tipe kelas A lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.8	24.3	4.5
09.00	29.0	27.2	1.8
10.00	29.2	29.3	-0.1
11.00	29.4	30.6	-1.2
12.00	29.4	30.0	-0.6
13.00	29.7	29.3	0.4
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.2	26.7	3.5
16.00	29.8	26.7	3.1
Rata - rata	29.5	28.3	1.2

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe A dengan jendela gabungan yang berupa jendela mati dan jendela awning, menghasilkan ruang kelas yang panas dengan ditunjukkan warna pada gambar dengan warna jingga yang menunjukkan suhu ruangan rata – rata 29,5°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai 4,5°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe A terjadi pada pukul 14.00 – 15.00 dengan suhu 30,2°C yang sedikit melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

b. Tipe B Lantai 3

Ruang kelas tipe B dengan ukuran 6 x 9 meter dibuat permodelannya di software Ecotect Analysis 2011 dengan menyertakan lubang – lubang ventilasi yang sesuai dengan ukuran eksisting orientasi, posisi ruang kelas terhadap bangunan, dan elemen arsitektural seperti terdapat shading device pada tiap jendela



Gambar 4.34 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe B lantai 3

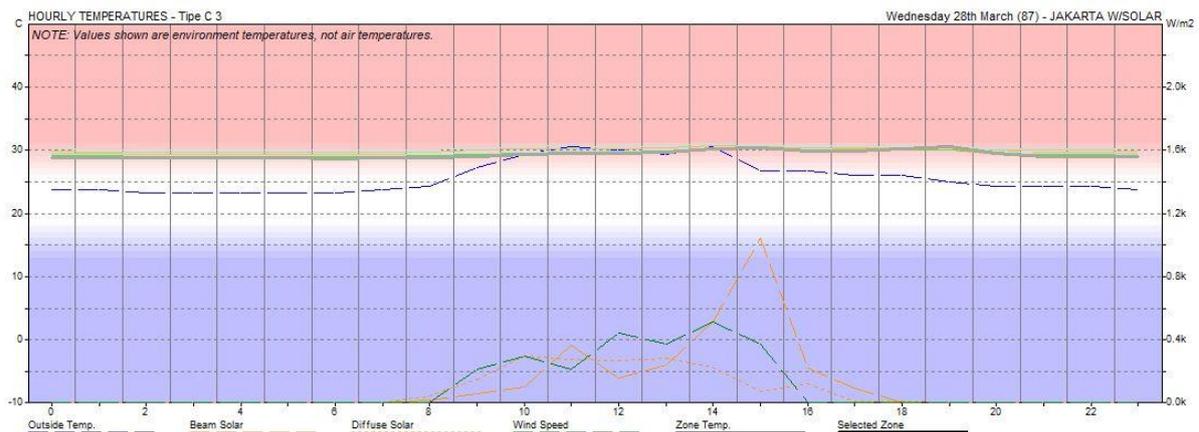
Tabel 4.25 Simulasi tipe kelas B lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	29.8	24.3	5.5
09.00	30.0	27.2	2.8
10.00	30.1	29.3	0.8
11.00	30.3	30.6	-0.3
12.00	30.2	30.0	0.2
13.00	30.4	29.3	1.1
14.00	30.7	30.6	0.1
15.00	30.5	26.7	3.8
16.00	30.4	26.7	3.7
Rata - rata	30.3	28.3	2.0

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe B dengan jendela gabungan yang berupa jendela mati dan jendela awning, menghasilkan ruang kelas yang panas dengan ditunjukkan warna pada gambar dengan warna jingga yang menunjukkan suhu ruangan rata – rata 30,3°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela mengalami kenaikan warna yang semakin merah sehingga suhu menurun sampai 5,5°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe B terjadi pada pukul 14.00 dengan suhu 30,7°C yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

c. Tipe C Lantai 3

Ruangan kelas tipe C dengan ukuran 6 x 9 meter dibuat permodelannya di software Ecotect Analysis 2011 dengan menyertakan lubang – lubang ventilasi yang sesuai dengan ukuran eksisting orientasi, posisi ruang kelas terhadap bangunan, dan elemen arsitektural seperti terdapat shading device pada tiap jendela



Gambar 4.35 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 3

Tabel 4.26 Simulasi tipe kelas C lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.8	24.3	4.5
09.00	29.1	27.2	1.9
10.00	29.3	29.3	0.0
11.00	29.4	30.6	-1.2
12.00	29.4	30.0	-0.6
13.00	29.7	29.3	0.4
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.3	26.7	3.6
16.00	29.9	26.7	3.2
Rata - rata	29.6	28.3	1.3

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe C dengan jendela gabungan yang berupa jendela mati dan jendela awning, menghasilkan ruang kelas yang panas dengan ditunjukkan warna pada gambar dengan warna jingga yang menunjukkan suhu ruangan rata – rata 29,6°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela mengalami kenaikan warna yang semakin merah sehingga suhu menurun sampai 4.5°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe C terjadi pada pukul 15.00 dengan suhu 30,3°C yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu 28.8°C yang juga tidak melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

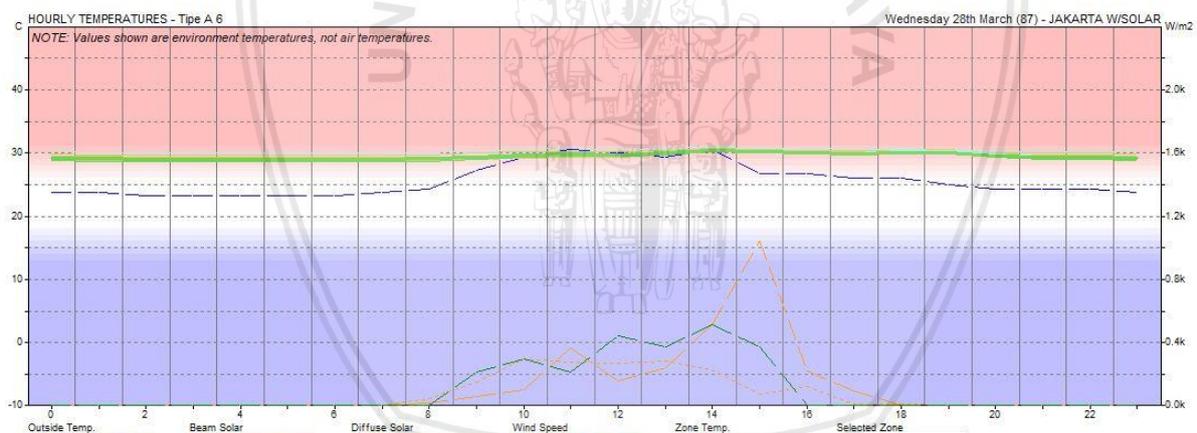
Namun seluruh tabel pada lantai 3 diatas jika disesuaikan dengan pembagian waktu seperti pada saat pengukuran yang terbagi menjadi 3 bagian waktu perkuliahan akan dijelaskan pada tabel dibawah,

Tabel 4.27 Simulasi pada lantai 3 sesuai waktu pengukuran

Hari	Jam	Suhu Simulasi (C°)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Rata –	08.00 – 10.00	29.0	26.9	30.0	26.9	29.1	26.9
Rata	11.00 – 13.00	29.5	30.0	30.3	30.0	29.5	30.0
Setiap	14.00 – 16.00	30.1	28.0	30.5	28.0	30.1	28.0
Jam	Rata - rata	29.5	28.3	30.3	28.3	29.6	28.3

d. Tipe A Lantai 6

Ruangan kelas tipe A dengan ukuran 6 x 12 meter dibuat permodelannya di software Ecotect Analysis 2011 dengan menyertakan lubang – lubang ventilasi yang sesuai dengan ukuran eksisting orientasi, posisi ruang kelas terhadap bangunan, dan elemen arsitektural seperti terdapat shading device pada tiap jendela.



Gambar 4.36 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 6

Tabel 4.28 Simulasi tipe kelas A lantai 6

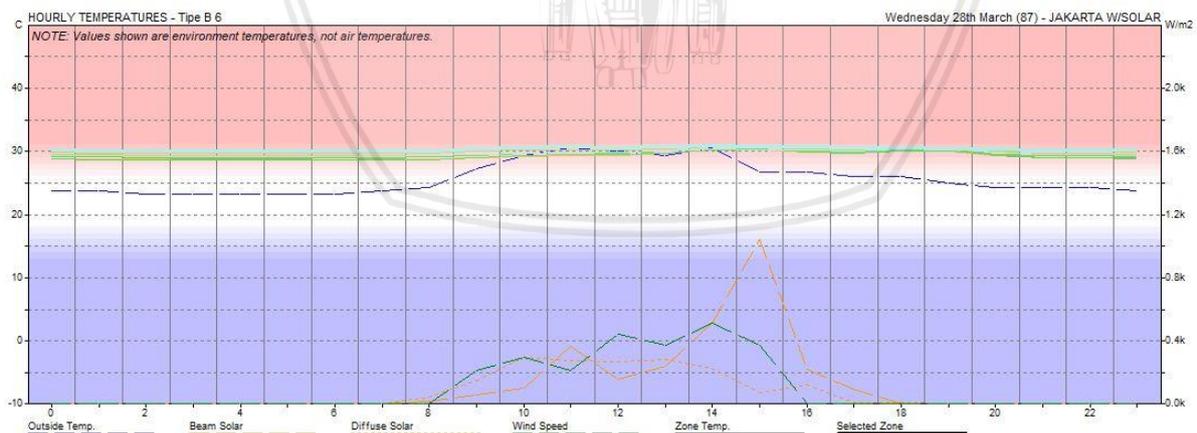
Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	29.1	24.3	4.8
09.00	29.4	27.2	2.2
10.00	29.6	29.3	0.3
11.00	29.8	30.6	-0.8
12.00	29.7	30.0	-0.3
13.00	30.0	29.3	0.7
14.00	30.4	30.6	-0.2

15.00	30.3	26.7	3.6
16.00	30.0	26.7	3.3
Rata - rata	29.8	28.3	1.5

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe A dengan jendela gabungan yang berupa jendela mati dan jendela awning, menghasilkan ruang kelas yang panas dengan ditunjukkan warna pada gambar dengan warna jingga yang menunjukkan suhu ruangan rata – rata 29,8°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai 4,8°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe A terjadi pada pukul 14.00 dengan suhu 30,4°C yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. . Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu 29,1°C yang juga tidak melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

e. Tipe B Lantai 6

Ruangan kelas tipe B dengan ukuran 6 x 12 meter dibuat permodelannya di software Ecotect Analysis 2011 dengan menyertakan lubang – lubang ventilasi yang sesuai dengan ukuran eksisting orientasi, posisi ruang kelas terhadap bangunan, dan elemen arsitektural seperti terdapat shading device pada tiap jendela.



Gambar 4.37 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe B lantai 6

Tabel 4.29 Simulasi tipe kelas B lantai 6

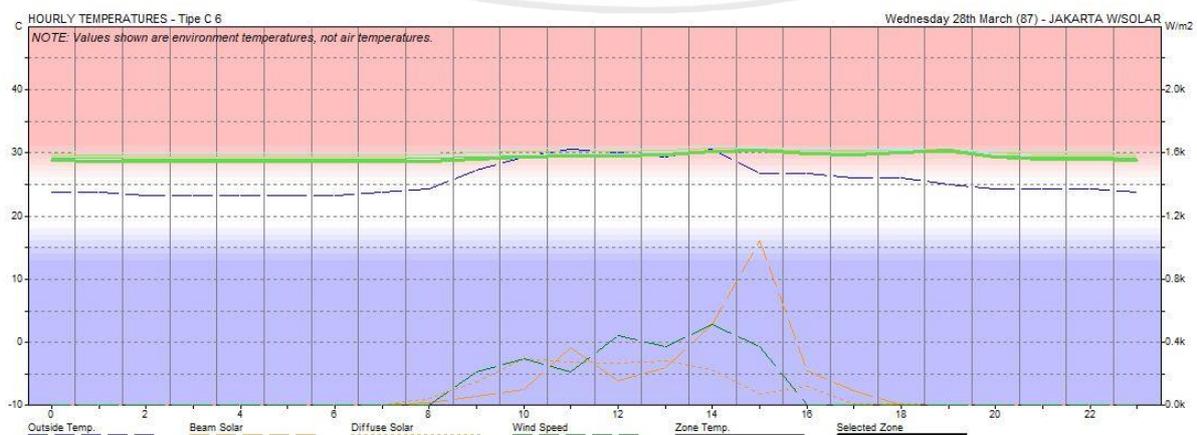
Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	30.1	24.3	5.8
09.00	30.4	27.2	3.2

10.00	30.5	29.3	1.2
11.00	30.7	30.6	0.1
12.00	30.6	30.0	0.6
13.00	30.7	29.3	1.4
14.00	31.0	30.6	0.4
15.00	30.8	26.7	4.1
16.00	30.7	26.7	4.0
Rata - rata	30.6	28.3	2.3

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe A dengan jendela gabungan yang berupa jendela mati dan jendela awning, menghasilkan ruang kelas yang panas dengan ditunjukkan warna pada gambar dengan warna jingga yang menunjukkan suhu ruangan rata – rata 30,6°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai 5,8°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe A terjadi pada pukul 14.00 dengan suhu 31,0°C yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. . Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu 30,1°C yang juga tidak melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

f. Tipe C Lantai 6

Ruang kelas tipe C dengan ukuran 6 x 9 meter dibuat permodelannya di software Ecotect Analysis 2011 dengan menyertakan lubang – lubang ventilasi yang sesuai dengan ukuran eksisting orientasi, posisi ruang kelas terhadap bangunan, dan elemen arsitektural seperti terdapat shading device pada tiap jendela.



Gambar 4.38 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 6

Tabel 4.30 Simulasi tipe kelas C lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.7	24.3	4.4
09.00	29.0	27.2	1.8
10.00	29.3	29.3	0.0
11.00	29.4	30.6	-1.2
12.00	29.4	30.0	-0.6
13.00	29.7	29.3	0.4
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.3	26.7	3.6
16.00	29.9	26.7	3.2
Rata - rata	29.5	28.3	1.2

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe C dengan jendela gabungan yang berupa jendela mati dan jendela awning, menghasilkan ruang kelas yang panas dengan ditunjukkan warna pada gambar dengan warna jingga yang menunjukkan suhu ruangan rata – rata 29,5°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai 4,4°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe C terjadi pada pukul 15.00 dengan suhu 30,3°C yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu 28,7°C yang juga tidak melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

Namun seluruh tabel pada lantai 6 diatas jika disesuaikan dengan pembagian waktu seperti pada saat pengukuran yang terbagi menjadi 3 bagian waktu perkuliahan akan dijelaskan pada tabel dibawah,

Tabel 4.31 Simulasi pada lantai 6 sesuai waktu pengukuran

Hari	Jam	Suhu Simulasi (C°)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Rata – Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	29.4	26.9	30.3	26.9	29.0	26.9
	11.00 – 13.00	29.8	30.0	30.7	30.0	29.5	30.0
	14.00 – 16.00	30.2	28.0	30.8	28.0	30.1	28.0
	Rata - rata	29.8	28.3	30.6	28.3	29.5	28.3

4.6.1 Validasi

Dalam membantu analisis suhu diperlukan simulasi yang valid antara suhu eksisting dengan suhu hasil simulasi. Perbedaan antara suhu pengukuran eksisting dengan suhu hasil

simulasi adalah tidak lebih dari 20%, jika tidak melebihi angka tersebut maka hasil simulasi bisa dikatakan valid (Nugroho, et all., 2007). Berikut adalah tabel validasi antara suhu eksisting dengan suhu hasil simulasi pada lantai tiga dan lantai enam;

Tabel 4.32 Perbandingan suhu eksisting dan hasil simulasi pada lantai 3

Hari	Jam	Suhu Eksisting (C°)			Suhu Netral Kota Malang	Batas Maks Suhu Nyaman Kota Malang	Suhu Simulasi (C°)		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C			Tipe A	Tipe B	Tipe C
Rata – Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	26.2	26.0	26.4	25.1	27.5	26.2	26.0	26.4
	11.00 – 13.00	26.6	26.3	26.6	25.1	27.5	26.6	26.3	26.6
	14.00 – 16.00	26.6	26.4	26.3	25.1	27.5	26.6	26.4	26.3
	Rata - rata	26.5	26.2	26.4	25.1	27.5	26.5	26.2	26.4
Presentase							11%	15%	12%

Data tabel diatas merupakan hasil rangkuman dari pengambilan data eksisting yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi dan suhu nyaman Kota Malang. Hasil data eksisting dan simulasi kemudian divalidasi sebagai berikut,

Tabel 4.33 Prosentase untuk validasi suhu eksisting dan simulasi pada lantai 3

Hari	Jam	Prosentase Selisih			Validasi		
		$(T2 - T1) : T2 \times 100 \%$			$\leq 20 \%$		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe A	Tipe B	Tipe C
Rata – Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	10.7%	15.4%	10.2%	√	√	√
	11.00 – 13.00	10.9%	15.2%	10.9%	√	√	√
	14.00 – 16.00	13.2%	15.5%	14.4%	√	√	√
	Rata - rata	11.3%	15.6%	12.1%	√	√	√

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa prosentase selisih antara suhu pengukuran eksisting dengan suhu simulasi pada lantai tiga tidak lebih dari 20%, sehingga dapat dikatakan suhu hasil simulasi adalah Valid.

Tabel 4.34 Perbandingan suhu eksisting dan hasil simulasi pada lantai 6

Hari	Jam	Suhu Eksisting (C°)			Suhu Netral Kota Malang	Batas Maks Suhu Nyaman Kota Malang	Suhu Simulasi (C°)		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C			Tipe A	Tipe B	Tipe C
Rata - Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	26.7	28.3	27.1	25.1	27.5	29.4	30.3	29.0
	11.00 – 13.00	28.5	29.0	28.4	25.1	27.5	29.8	30.7	29.5
	14.00 – 16.00	27.6	28.4	28.1	25.1	27.5	30.2	30.8	30.1
	Rata - rata	27.6	28.6	27.9	25.1	27.5	29.8	30.6	29.5
Presentase							8.0%	7.0%	5.7%

Data tabel diatas merupakan hasil rangkuman dari pengambilan data eksisting yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi dan suhu nyaman Kota Malang. Hasil data eksisting dan simulasi kemudian divalidasi sebagai berikut,

Tabel 4.35 Prosentase untuk validasi suhu eksisting dan simulasi pada lantai 6

Hari	Jam	Prosentase Selisih			Validasi		
		$(T_2 - T_1) : T_2 \times 100 \%$			$\leq 20 \%$		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe A	Tipe B	Tipe C
Rata - Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	10.1%	7.1%	7.0%	√	√	√
	11.00 – 13.00	4.6%	5.9%	3.9%	√	√	√
	14.00 – 16.00	9.4%	8.5%	7.1%	√	√	√
	Rata - rata	8.0%	7.0%	5.7%	√	√	√

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa prosentase selisih antara suhu pengukuran eksisting dengan suhu simulasi pada lantai enam tidak lebih dari 20%, sehingga dapat dikatakan suhu hasil simulasi adalah Valid.

4.6.2 Kesimpulan

Perbandingan antara suhu eksisting dan suhu simulasi yang dilakukan telah tervalidasi dan hasil validasi tidak lebih dari 20%, sehingga penelitian ini dapat menggunakan simulasi dengan software Ecotect Analysis untuk mensimulasikan

rekomendasi modifikasi yang dibutuhkan sehingga apabila diterapkan pada eksisting hasil tidak jauh berbeda.

4.7 Rekomendasi Modifikasi

Berdasarkan dari hasil analisis, simulasi, dan kesimpulan yang valid dari bahasan sebelumnya, maka dibutuhkan rekomendasi modifikasi terhadap bukaan untuk memenuhi syarat minimal luas ventilasi untuk ruang kelas sesuai dengan standar rasio ventilasi ruang kelas menurut Kemenkes. Selain itu juga diperlukan penyesuaian jenis atau tipe jendela untuk menangkap, mengalirkan udara dari luar kelas ke luar kelas dengan kata lain system *inlet* dan *outlet* agar sirkulasi udara di dalam ruang kelas mengalir lancar sehingga menciptakan kesehatan udara dan kenyamanan termal yang dibutuhkan untuk meningkatkan konsentrasi belajar mengajar di dalam kelas. Dan panel untuk pembayangan ventilasi yang berhadapan langsung dengan paparan panas matahari yang tidak mendapat pembayangan pada sekitarnya.

Sesuai dengan kebutuhan terdapat tiga macam modifikasi yaitu:

1. Penambahan lubang ventilasi (rasio)

Untuk mencakup syarat minimal rasio ventilasi yang sesuai dengan luas permukaan lantai ruangan berdasarkan pada peraturan Kemenkes yang dilakukan terutama pada ruang kelas yang belum memenuhi yaitu terutama pada ruang kelas tipe A, B, dan D.

2. Penggantian jenis ventilasi.

Modifikasi ini untuk mengoptimalkan sirkulasi udara dengan system inlet dan outlet ventilasi agar pergerakan udara di dalam ruangan baik, terutama pada ruang kelas tipe A, B, dan D yang ventilasi untuk outlet tidak optimal dan tidak cukup baik dalam hal mengalirkan udara keluar ruangan karena jenis jendela yang kurang tepat.

3. Pengaplikasian shading device

Aplikasi shading device digunakan untuk mengurangi atau menghalau jatuhnya sinar/radiasi matahari agar tidak langsung masuk ke dalam ruangan yang mengakibatkan peningkatan suhu ruangan. Shading device diaplikasikan terutama pada bagian ventilasi yang menghadap langsung dengan arah matahari.

Setiap rekomendasi modifikasi yang dilakukan, tahap tersebut disimulasikan dengan menggunakan *software Ecotect Analysis 2011* dan dilakukan validasinya. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi thermal ruangan setelah mendapat modifikasi pada ventilasi ruang kelas.

4.7.1 Modifikasi – penambahan rasio

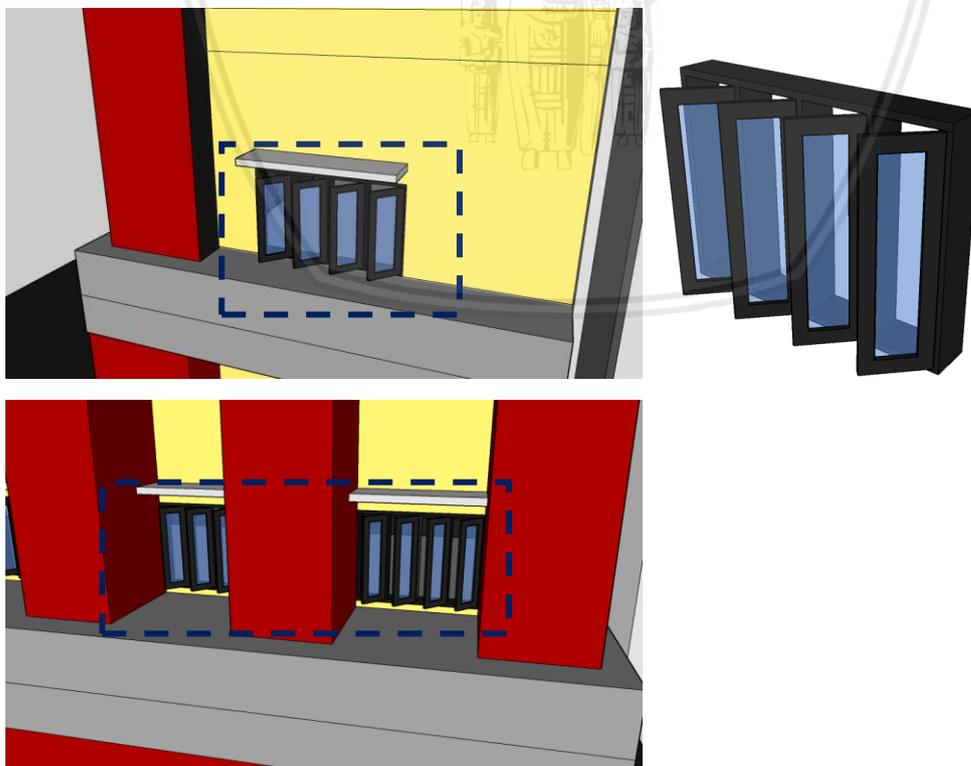
Modifikasi pertama adalah berupa penambahan rasio luas bukaan yang dibutuhkan hingga mencapai jumlah minimal 10% dari luas permukaan lantai sesuai dengan peraturan Kemenkes RI. Penambahan rasio dilakukan dengan cara menambah lubang ventilasi atau lubang rooster, dan menambahkan beberapa space untuk ventilasi baru dengan pemilihan jenis ventilasi yang dapat mengalirkan udara dengan optimal ke dalam ruang kelas sehingga dengan otomatis udara yang terperangkap di dalam ruangan dapat terdorong keluar melalui outlet. Hal ini juga sebagai bentuk untuk meningkatkan pemerataan aliran udara di dalam ruang kelas.

a. Lantai tiga tipe A

Tabel 4.36 Besar kebutuhan luas bukaan ruang

Luas Ruang (m ²)	Eksisting (m ²)	SNI (m ²)	Kebutuhan (m ²)
54	2.26	5.4	3.14

Luas bukaan eksisting ruang kelas tipe A pada lantai tiga adalah 2,26 m² yang syarat bukaannya adalah 10% dari luas tersebut seharusnya yaitu 5,4 m². Sehingga ruang kelas tipe A ini membutuhkan tambahan bukaan dengan total luas 3,14 m².



Gambar 4.39 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe A lantai 3

Kebutuhan untuk mencukupi syarat ventilasi 20% luas permukaan yang pertama adalah diterapkan berupa penambahan jendela yang memerlukan space untuk diisi ventilasi baru dengan pemilihan jenis jendela *Casement Side-Hang* atau jendela kupu - kupu karena memiliki kemampuan 90% untuk pengaliran udara untuk sisi barat maupun utara. Selain itu jika jendela ini dibuka seluruhnya maka dapat mengalirkan udara sampai 100 %. Dimensi jendela *Casement side-hang* ini mengubah seluruh jendela mati dan jendela awning menjadi jendela kupu – kupu. Jendela *Casement* ini terbagi menjadi 4 daun jendela. Luas jendela kupu – kupu terdapat 2 jenis yang dibedakan berdasarkan dimensinya. Pada sisi utara ini memiliki luas $0,5 \text{ m}^2$ dengan panjang 42,5 sentimeter dan lebar 1,3 meter, sedangkan pada sisi barat relatif lebih luas yaitu $0,8 \text{ m}^2$ dengan panjang 57,5 sentimeter dan lebar 1,4 meter.

Tabel 4.37 Rangkuman rasio

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)	Penambahan (m^2)	Total Luas eksisting + modifikasi (m^2)
54	2,26	5,4	8,54	4,48	6,74

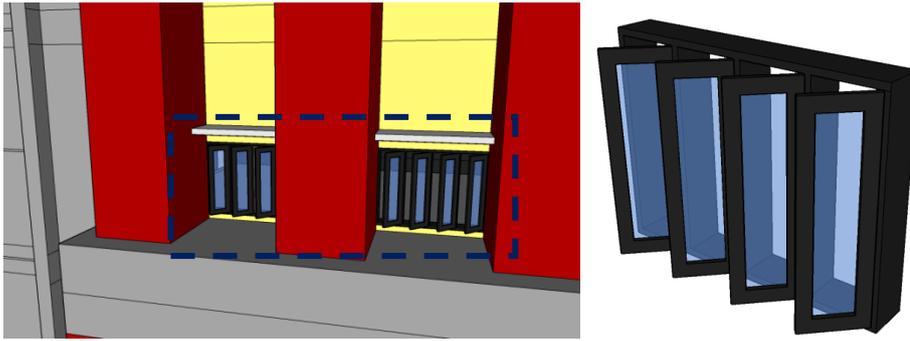
Dari penambahan rasio pada ruang tipe A pada lantai tiga ini bukaan pada sisi utara dan barat ini hasil penambahan rasio sebesar $4,48 \text{ m}^2$. Total penambahan rasio ini sudah mencukupi syarat bukaan minimal 10% dari permukaan luas lantai ruangan yaitu $5,4 \text{ m}^2$ namun dengan perubahan jenis jendela pada ruang ini sudah cukup untuk menangkap aliran udara karena letak dan orientasi ventilasi yang searah dengan arah laju angin.

b. Lantai tiga tipe B

Tabel 4.38 Besar kebutuhan luas bukaan ruang

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)
54	1,26	5,4	4,14

Luas bukaan eksisting ruang kelas tipe A pada lantai tiga adalah $1,26 \text{ m}^2$ yang syarat bukaannya adalah 10% dari luas tersebut seharusnya yaitu $5,4 \text{ m}^2$. Sehingga ruang kelas tipe B ini membutuhkan tambahan bukaan dengan total luas $4,14 \text{ m}^2$.



Gambar 4.40 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe B lantai 3

Kebutuhan untuk mencukupi syarat ventilasi 10% luas permukaan yang pertama adalah diterapkan berupa penambahan jendela yang memerlukan space untuk diisi ventilasi baru dengan pemilihan jenis jendela *Casement Side-Hang* atau jendela kupu - kupu karena memiliki kemampuan 90% untuk pengaliran udara untuk sisi barat maupun utara. Selain itu jika jendela ini dibuka seluruhnya maka dapat mengalirkan udara sampai 100 %. Dimensi jendela *Casement side-hang* ini mengubah seluruh jendela mati dan jendela awning menjadi jendela kupu – kupu. Dimensi jendela kupu – kupu berjumlah 4 daun jendela yang masing - masing memiliki luas $0,5 \text{ m}^2$ dengan panjang 42,5 sentimeter dan lebar 1,3 meter.

Tabel 4.39 Rangkuman rasio

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)	Penambahan (m^2)	Total Luas eksisting + modifikasi (m^2)
54	1,26	5,4	4,14	2,16	4,42

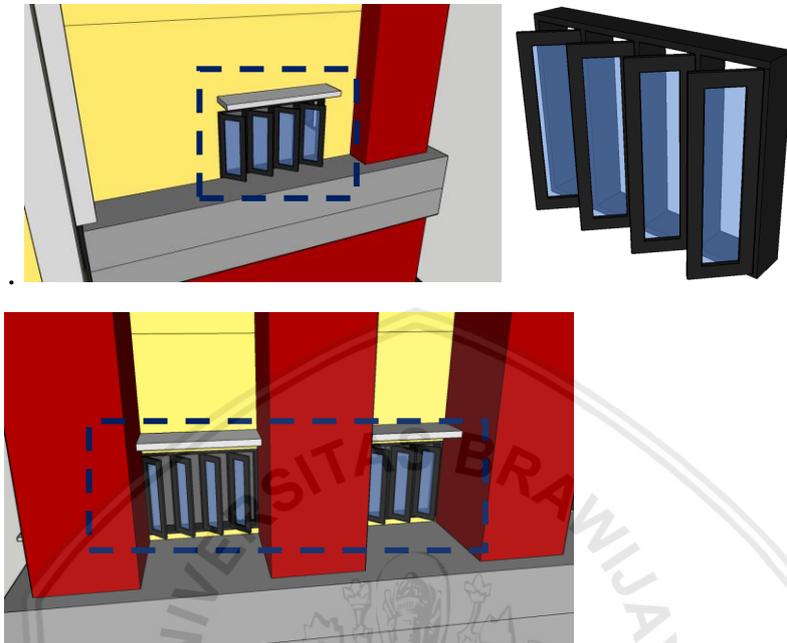
Dari penambahan rasio pada ruang tipe B pada lantai tiga ini bukaan pada sisi utara ini hasil penambahan rasio sebesar $2,16 \text{ m}^2$. Total penambahan rasio ini sudah mencukupi syarat bukaan minimal 10% dari permukaan luas lantai ruangan yaitu $5,4 \text{ m}^2$ namun dengan perubahan jenis jendela pada ruang ini sudah cukup untuk menangkap aliran udara karena letak dan orientasi ventilasi yang searah dengan arah laju angin.

c. Lantai tiga tipe C

Tabel 4.40 Besar kebutuhan luas bukaan ruang

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)
54	2,26	5,4	3,14

Luas bukaan eksisting ruang kelas tipe A pada lantai tiga adalah $2,26 \text{ m}^2$ yang syarat bukaannya adalah 10% dari luas tersebut seharusnya yaitu $5,4 \text{ m}^2$. Sehingga ruang kelas tipe A ini membutuhkan tambahan bukaan dengan total luas $3,14 \text{ m}^2$



Gambar 4.41 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe C lantai 3

Kebutuhan untuk mencukupi syarat ventilasi 10% luas permukaan yang pertama adalah diterapkan berupa penambahan jendela yang memerlukan space untuk diisi ventilasi baru dengan pemilihan jenis jendela *Casement Side-Hang* atau jendela kupu - kupu karena memiliki kemampuan 90% untuk pengaliran udara untuk sisi barat maupun utara. Selain itu jika jendela ini dibuka seluruhnya maka dapat mengalirkan udara sampai 100 %. Dimensi jendela *Casement side-hang* ini mengubah seluruh jendela mati dan jendela awning menjadi jendela kupu – kupu. Luas jendela kupu – kupu terdapat 2 jenis yang dibedakan berdasarkan dimensinya Pada sisi selatan ini memiliki luas $0,5 \text{ m}^2$ dengan panjang 42,5 sentimeter dan lebar 1,3 meter, sedangkan pada sisi barat relatif lebih luas yaitu $0,8 \text{ m}^2$ dengan panjang 57,5 sentimeter dan lebar 1,4 meter.

Tabel 4.41 Rangkuman rasio

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)	Penambahan (m^2)	Total Luas eksisting + modifikasi (m^2)
54	2,26	5,4	3,14	4,48	6,74

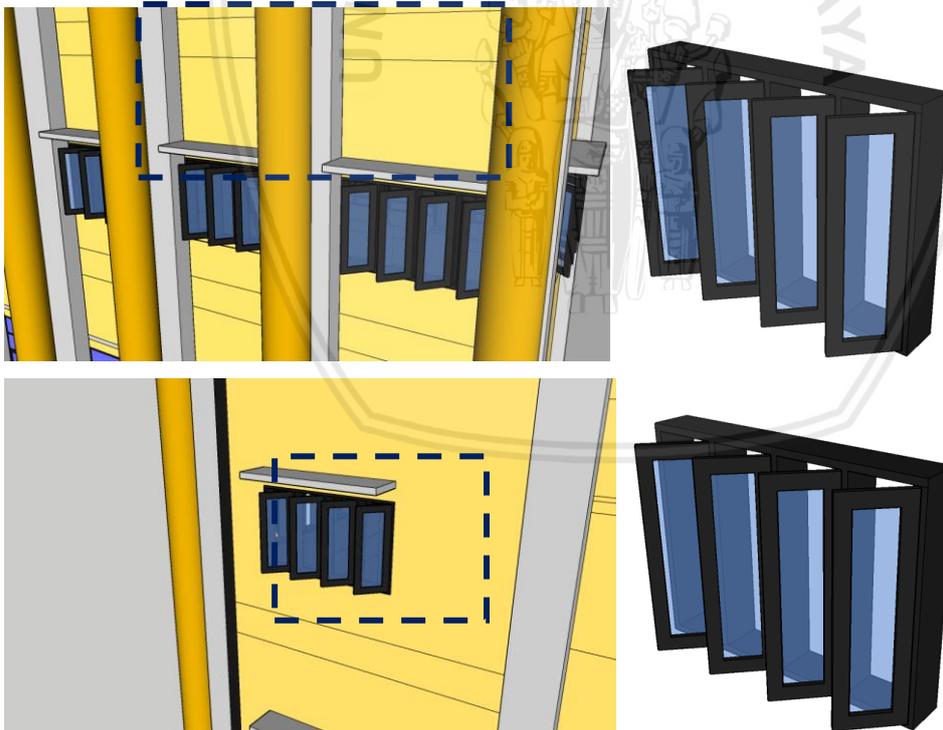
Dari penambahan rasio pada ruang tipe C pada lantai tiga ini bukaan pada sisi selatan dan barat ini hasil penambahan rasio sebesar $4,48 \text{ m}^2$. Total penambahan rasio ini sudah mencukupi syarat bukaan minimal 10% dari permukaan luas lantai ruangan yaitu $5,4 \text{ m}^2$ namun dengan perubahan jenis jendela pada ruang ini sudah cukup untuk menangkap aliran udara karena letak dan orientasi ventilasi yang searah dengan arah laju angin.

d. Lantai enam tipe A

Tabel 4.42 Besar kebutuhan luas bukaan ruang

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)
72	2,94	7,2	4,26

Luas bukaan eksisting ruang kelas tipe A pada lantai enam adalah $2,94 \text{ m}^2$ yang syarat bukaannya adalah 10% dari luas tersebut seharusnya yaitu $7,2 \text{ m}^2$. Sehingga ruang kelas tipe A ini membutuhkan tambahan bukaan dengan total luas $4,26 \text{ m}^2$.



Gambar 4.42 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe A lantai 6

Kebutuhan untuk mencukupi syarat ventilasi 10% luas permukaan yang pertama adalah diterapkan berupa penambahan jendela yang memerlukan space untuk diisi ventilasi baru dengan pemilihan jenis jendela *Casement Side-Hang* atau jendela kupu - kupu karena

memiliki kemampuan 90% untuk pengaliran udara untuk sisi barat maupun utara. Selain itu jika jendela ini dibuka seluruhnya maka dapat mengalirkan udara sampai 100 %. Dimensi jendela Casement side-hang ini mengubah seluruh jendela mati dan jendela awning menjadi jendela kupu – kupu. Jendela kupu – kupu terdapat 4 daun jendela ini masing-masing memiliki luas $0,8 \text{ m}^2$ dengan panjang 57,5 sentimeter dan lebar 1,4 meter. Letak jendela ini terdapat dua pada sisi utara dan satu pada sisi barat.

Tabel 4.43 Rangkuman rasio

Luas Ruang (m ²)	Eksisting (m ²)	SNI (m ²)	Kebutuhan (m ²)	Penambahan (m ²)	Total Luas eksisting + modifikasi (m ²)
72	2,94	7,2	4,26	6,72	9,66

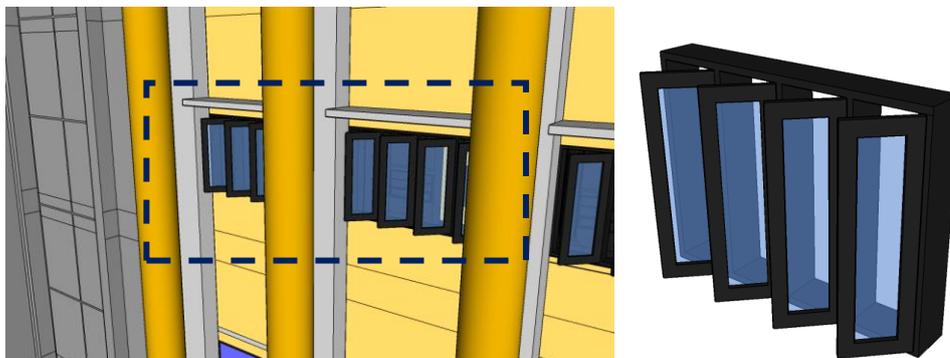
Dari penambahan rasio pada ruang tipe A pada lantai enam ini bukaan pada sisi utara dan barat ini hasil penambahan rasio sebesar $6,72 \text{ m}^2$. Total penambahan rasio ini sudah mencukupi syarat bukaan minimal 10% dari permukaan luas lantai ruangan yaitu $7,2 \text{ m}^2$ namun dengan perubahan jenis jendela pada ruang ini sudah cukup untuk menangkap aliran udara karena letak dan orientasi ventilasi yang searah dengan arah laju angin.

e. Lantai enam tipe B

Tabel 4.44 Besar kebutuhan luas bukaan ruang

Luas Ruang (m ²)	Eksisting (m ²)	SNI (m ²)	Kebutuhan (m ²)
72	1,96	7,2	5,24

Luas bukaan eksisting ruang kelas tipe B pada lantai enam adalah $1,96 \text{ m}^2$ yang syarat bukaannya adalah 10% dari luas tersebut seharusnya yaitu $7,2 \text{ m}^2$. Sehingga ruang kelas tipe B ini membutuhkan tambahan bukaan dengan total luas $5,24 \text{ m}^2$.



Gambar 4.43 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe B lantai 6

Kebutuhan untuk mencukupi syarat ventilasi 10% luas permukaan yang pertama adalah diterapkan berupa penambahan jendela yang memerlukan space untuk diisi ventilasi baru dengan pemilihan jenis jendela *Casement Side-Hang* atau jendela kupu - kupu karena memiliki kemampuan 90% untuk pengaliran udara untuk sisi barat maupun utara. Selain itu jika jendela ini dibuka seluruhnya maka dapat mengalirkan udara sampai 100 %. Dimensi jendela *Casement side-hang* ini mengubah seluruh jendela mati dan jendela awning menjadi jendela kupu – kupu. Jendela kupu – kupu terdapat 4 daun jendela ini masing-masing memiliki luas $0,8 \text{ m}^2$ dengan panjang 57,5 sentimeter dan lebar 1,4 meter.

Tabel 4.45 Rangkuman rasio

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)	Penambahan (m^2)	Total Luas eksisting + modifikasi (m^2)
72	1,96	7,2	5,24	4,48	6,44

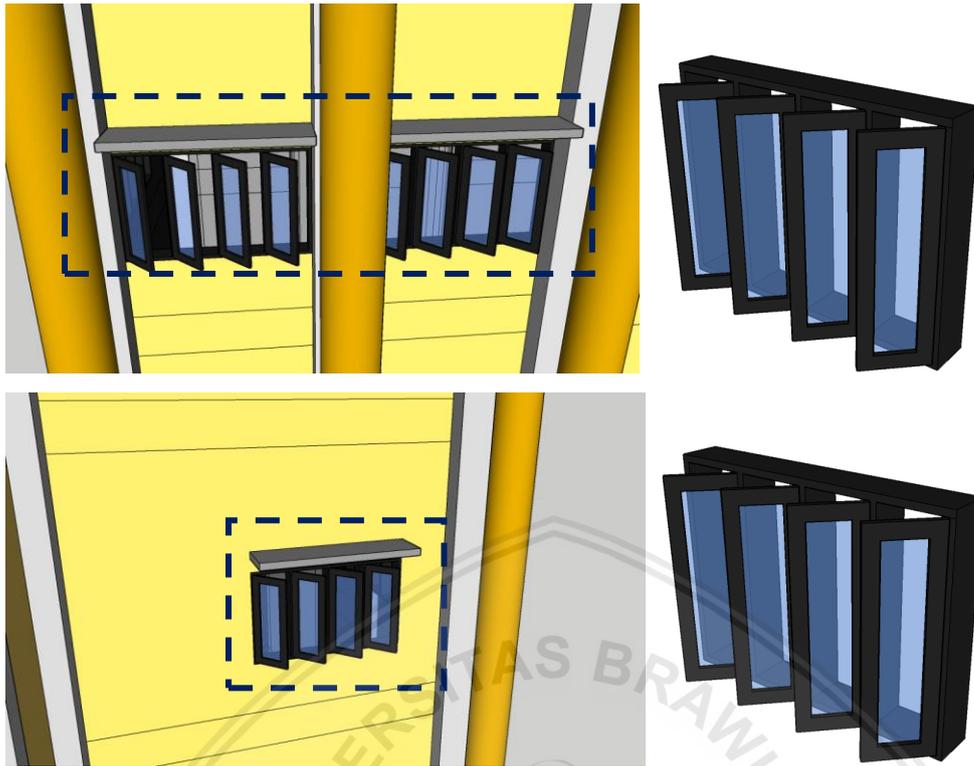
Dari penambahan rasio pada ruang tipe B pada lantai enam ini bukaan pada sisi utara ini hasil penambahan rasio sebesar $1,96 \text{ m}^2$. Total penambahan rasio ini sudah mencukupi syarat bukaan minimal 10% dari permukaan luas lantai ruangan yaitu $7,2 \text{ m}^2$ namun dengan perubahan jenis jendela pada ruang ini sudah cukup untuk menangkap aliran udara karena letak dan orientasi ventilasi yang searah dengan arah laju angin

f. Lantai enam tipe C

Tabel 4.46 Besar kebutuhan luas bukaan ruang

Luas Ruang (m^2)	Eksisting (m^2)	SNI (m^2)	Kebutuhan (m^2)
54	2,94	5,4	2,46

Luas bukaan eksisting ruang kelas tipe C pada lantai tiga adalah $2,94 \text{ m}^2$ yang syarat bukaannya adalah 10% dari luas tersebut seharusnya yaitu $5,4 \text{ m}^2$. Sehingga ruang kelas tipe C ini membutuhkan tambahan bukaan dengan total luas $2,46 \text{ m}^2$.



Gambar 4.44 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe C lantai 6

Kebutuhan untuk mencukupi syarat ventilasi 10% luas permukaan yang pertama adalah diterapkan berupa penambahan jendela yang memerlukan space untuk diisi ventilasi baru dengan pemilihan jenis jendela *Casement Side-Hang* atau jendela kupu - kupu karena memiliki kemampuan 90% untuk pengaliran udara untuk sisi barat maupun utara. Selain itu jika jendela ini dibuka seluruhnya maka dapat mengalirkan udara sampai 100 %. Dimensi jendela *Casement side-hang* ini mengubah seluruh jendela mati dan jendela awning menjadi jendela kupu – kupu. Jendela kupu – kupu terdapat 4 daun jendela ini masing-masing memiliki luas $0,8 \text{ m}^2$ dengan panjang 57,5 sentimeter dan lebar 1,4 meter. Letak jendela ini terdapat dua pada sisi selatan dan satu pada sisi barat.

Tabel 4.47 Rangkuman rasio

Luas Ruang (m ²)	Eksisting (m ²)	SNI (m ²)	Kebutuhan (m ²)	Penambahan (m ²)	Total Luas eksisting + modifikasi (m ²)
54	2,94	5,4	2,46	6,72	9,66

Dari penambahan rasio pada ruang tipe C pada lantai enam ini bukaan pada sisi selatan dan barat ini hasil penambahan rasio sebesar $6,72 \text{ m}^2$. Total penambahan rasio ini

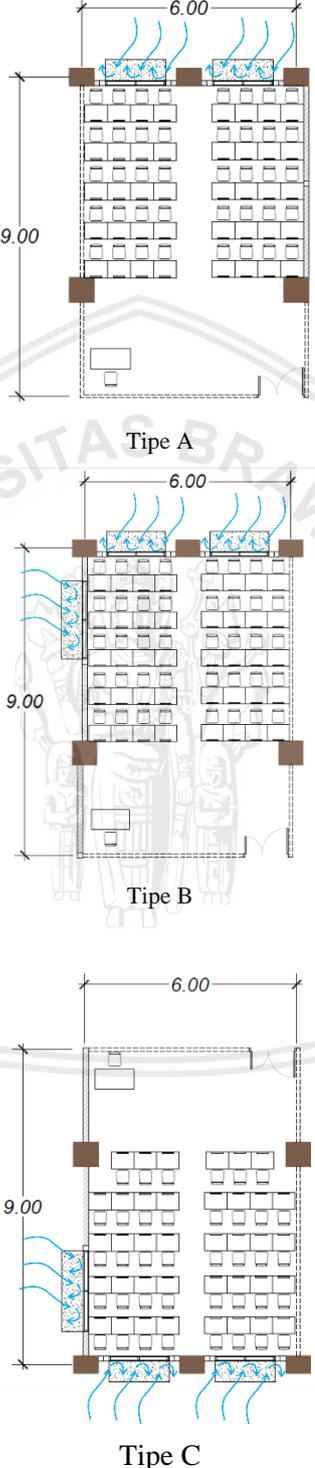
sudah mencukupi syarat bukaan minimal 10% dari permukaan luas lantai ruangan yaitu 5,4 m² namun dengan perubahan jenis jendela pada ruang ini sudah cukup untuk menangkap aliran udara karena letak dan orientasi ventilasi yang searah dengan arah laju angin.

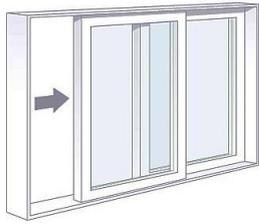
4.6.3 Modifikasi – penggantian jenis jendela

Modifikasi kedua yang direkomendasikan adalah berupa penggantian jenis ventilasi yang kurang dapat menangkap aliran udara dan mengalirkannya kembali keluar ruangan agar sirkulasi udara di dalam ruangan dapat mengalir optimal. Selain yang pada sebelumnya telah dilakukan penggantian jenis ventilasi guna menambah rasio bukaan namun pada rekomendasi modifikasi kedua ini fokus terhadap ruang kelas B yang memiliki jenis ventilasi yang kurang optimal dalam pengaliran udara. Penggantian jenis ventilasi dilakukan dengan cara mengganti jenis ventilasi yang kurang optimal dalam mengalirkan udara, seperti jendela awning yang mengalirkan 75 % namun luasnya yang kurang memenuhi sehingga akan diganti dengan jendela casement atau pivot yang lebih optimal dalam mengalirkan udara. Dan terdapat penggunaan jendela bouven pada bukaan sisi selatan dan utara yang kurang optimal dalam mengalirkan udara keluar atau dengan kata lain ventilasi tersebut adalah sebagai outlet akan diganti menggunakan jendela *casement* atau *pivot* . Hal ini juga sebagai upaya untuk pemerataan aliran udara di dalam ruang kelas.

Berikut merupakan tabel tentang analisis aliran udara pada tiap tipe ruang dengan menerapkan beberapa jenis jendela yang akan direkomendasikan:

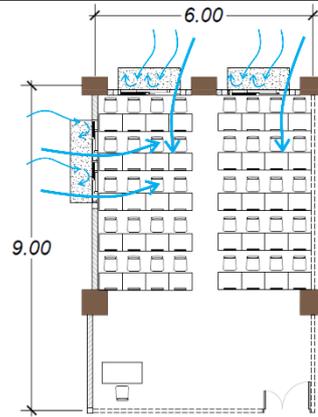
Tabel 4.48 Analisis aliran udara berdasarkan jenis jendela

Jenis Jendela	Presentase aliran angin	Aliran udara (denah)	Keterangan
 <p data-bbox="245 674 422 707"><i>Fixed Window</i></p>	0%	 <p data-bbox="810 842 879 869">Tipe A</p> <p data-bbox="810 1294 879 1321">Tipe B</p> <p data-bbox="810 1850 879 1877">Tipe C</p>	<p data-bbox="1050 416 1182 443">Kelebihan:</p> <ul data-bbox="1050 465 1422 539" style="list-style-type: none"> - Dapat diterapkan pada ruang kelas <p data-bbox="1050 562 1193 589">Kelemahan:</p> <ul data-bbox="1050 611 1422 685" style="list-style-type: none"> - Tidak dapat mengalirkan angin kedalam ruangan

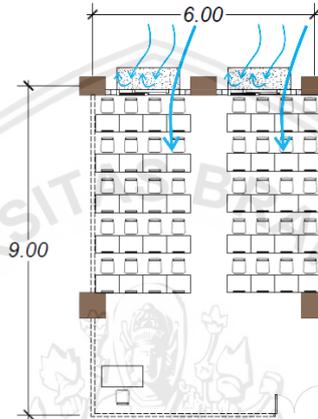


Jendela geser
horizontal
(Sliding Window)

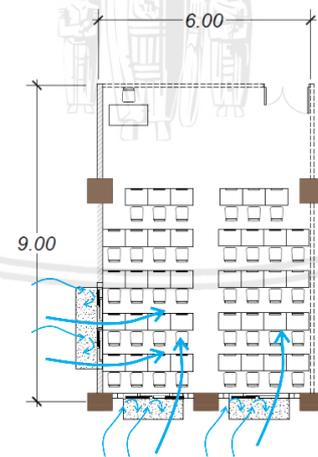
40 %



Tipe A



Tipe B



Tipe C

Kelebihan:

- Memasukkan sedikit angin
- Dapat diterapkan pada ruang kelas

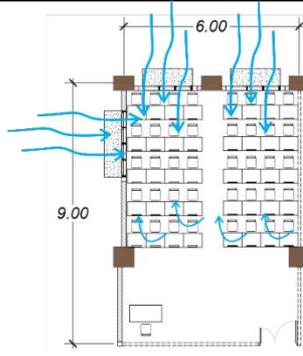
Kelemahan:

- Tidak dapat membelokkan angin

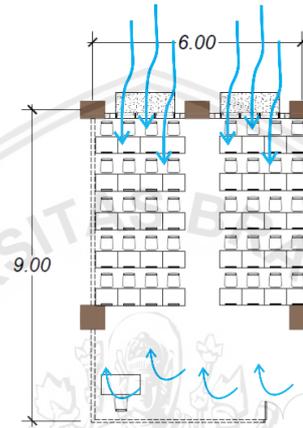


Jendela geser vertikal (Sliding Window)

45%



Tipe A



Tipe B



Tipe C

Kelebihan:

- Memasukkan sedikit angin

Kelemahan:

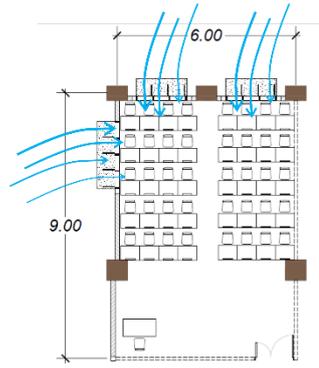
- Tidak dapat membelokkan angin



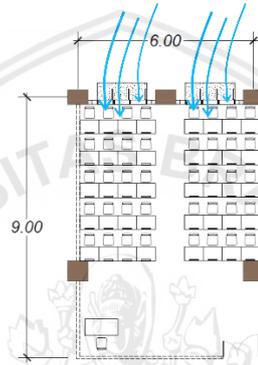


(Casement Window)

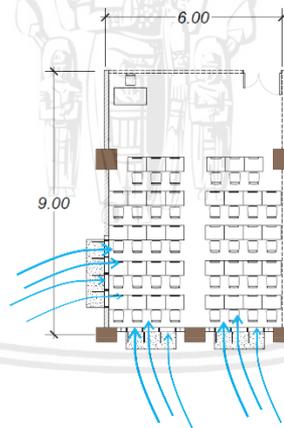
90%



Tipe A



Tipe B



Tipe C

Kelebihan:

- Memasukkan lebih banyak angin

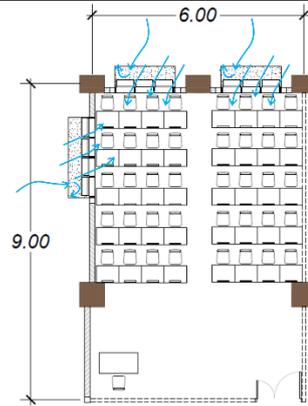
Kelemahan:

- Membelokkan angin hanya pada satu sisi

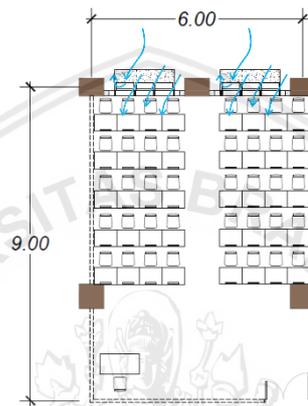


(Awning Window)

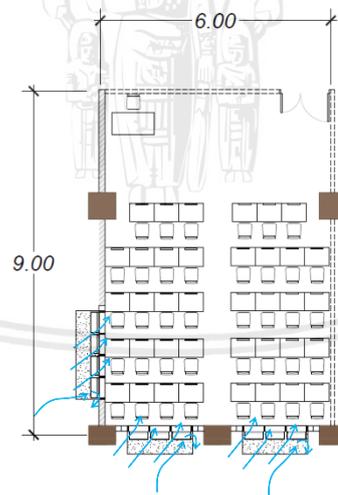
75%



Tipe A



Tipe B



Tipe C

Kelebihan:

- Memasukkan lebih banyak angin

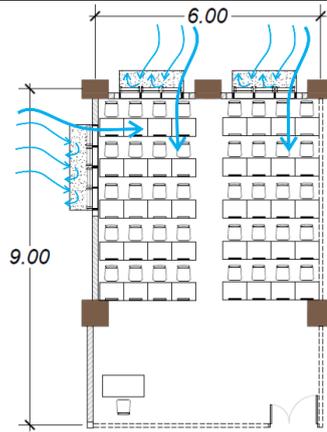
Kelemahan:

- Hanya dapat memasukkan angin dari bawah
- Tidak dapat membelokkan angin
- Jika letak jendela berdekatan, kecepatan angin yang masuk akan berkurang

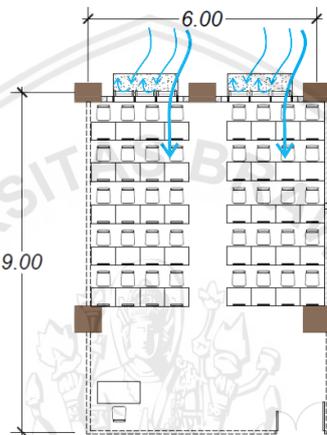


(Hopper Window)

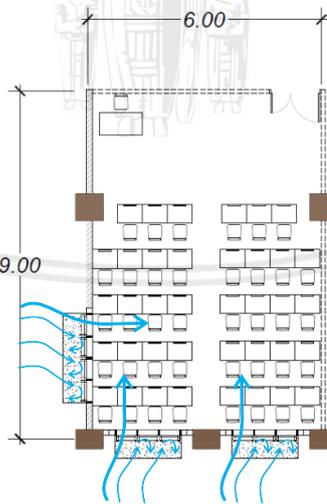
45%



Tipe A



Tipe B



Tipe C

Kelebihan:

- Memasukkan sedikit angin

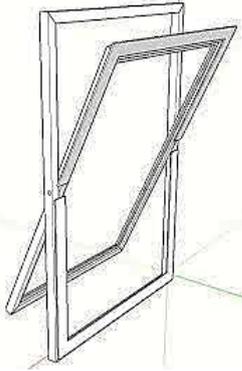
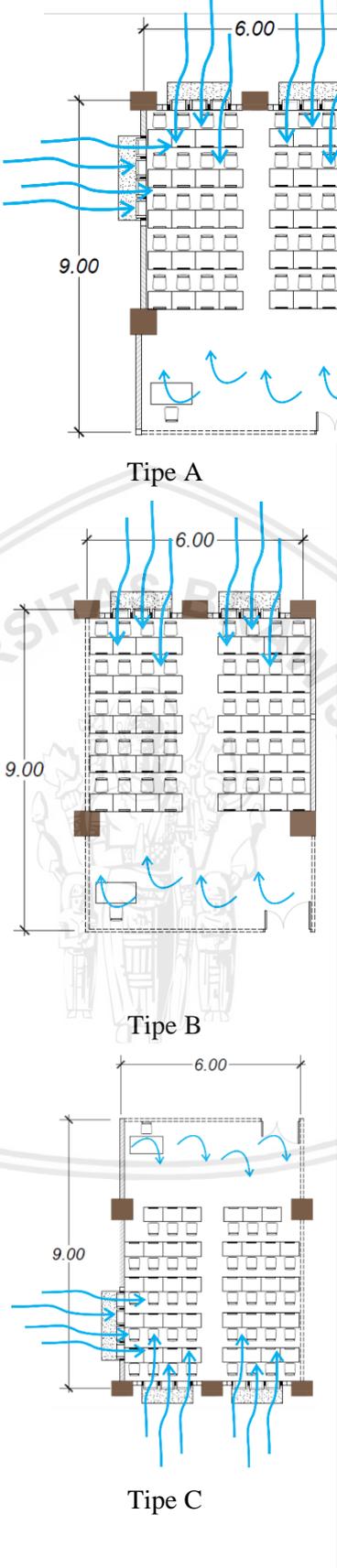
- Baik untuk outlet

Kelemahan:

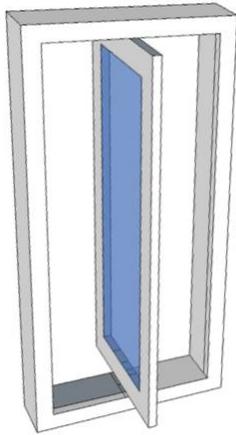
- Tidak dapat membelokkan angin

- Bukaan daun jendela menghadap atas sehingga ketika hujan akan tampus

- Jika letak jendela berdekatan, angin yang masuk cenderung berkurang

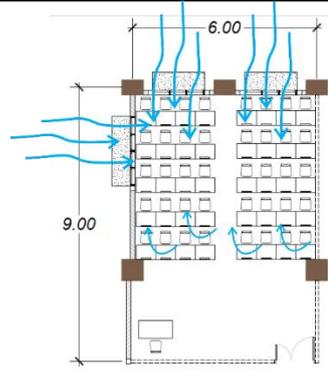
	<p>75%</p>	 <p>Type A</p> <p>Type B</p> <p>Type C</p>	<p>Kelebihan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memasukkan lebih banyak angin - Dapat membelokkan angin - Tidak mengganggu aktivitas kelas - Dapat menjadi inlet sekaligus outlet <p>Kelemahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jika letaknya berdekatan dengan jendela lain, angin yang masuk melalui bawah akan berkurang kecepatannya - Angin tidak mengenai bagian yang berdekatan dengan inlet
---	------------	---	---

Jendela putar horizontal
(*Pivot Horizontal Window*)

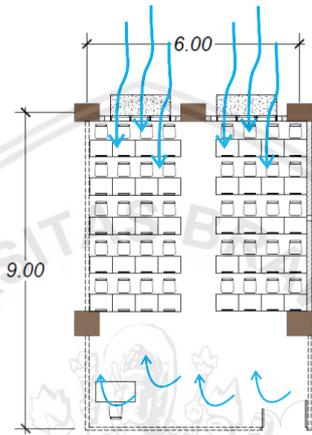


Jendela putar
vertikal
(*Pivot vertical
Window*)

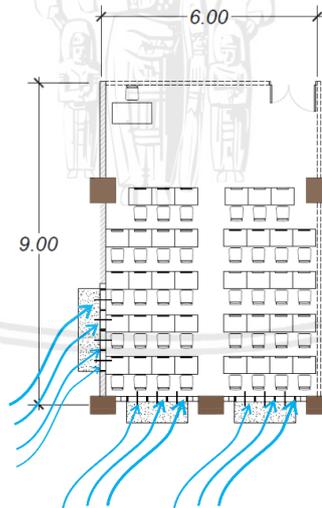
75%



Tipe A



Tipe B



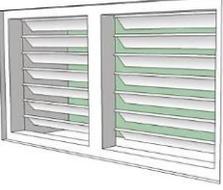
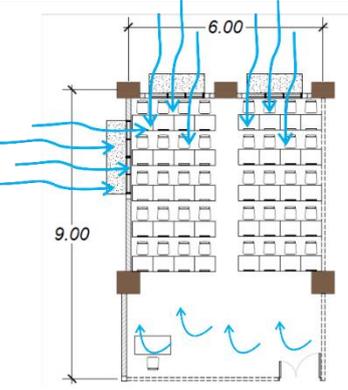
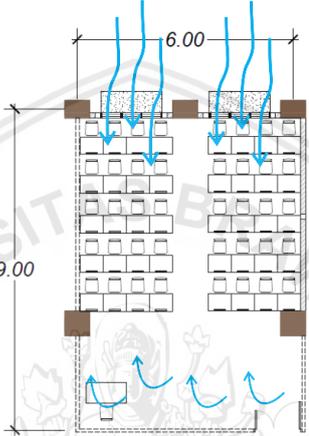
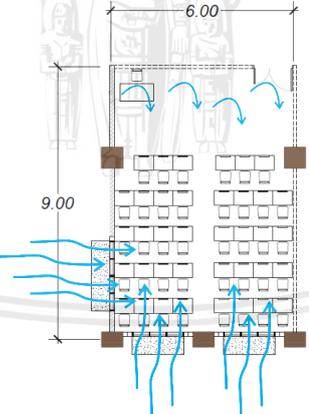
Tipe C

Kelebihan:

- Memasukkan lebih banyak angin
- Dapat membelokkan angin yang berasal dari selatan/utara
- Dapat memasukkan angin dari 2 arah berbeda

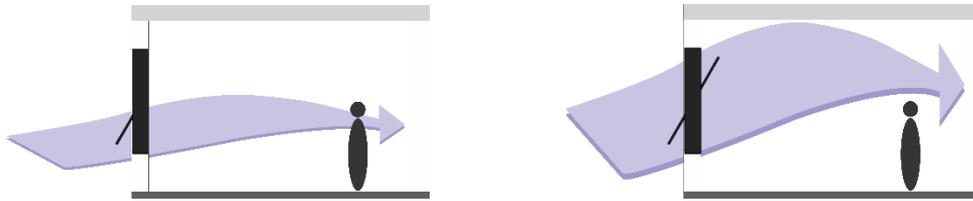
Kelemahan:

- Letak daun jendela mengganggu aktivitas pengguna yang duduk dekat jendela

 <p>Jalusi</p>	<p>90%</p>	 <p>Type A</p>  <p>Type B</p>  <p>Type C</p>	<p>Kelebihan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memasukkan lebih banyak angin - Dapat menjadi <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> <p>Kelemahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hanya dapat memasukkan angin dari bawah
---	------------	---	---

Dari tabel analisis diatas didapatkan hipotesis rekomendasi bukaan untuk menggunakan jendela putar horizontal (horizontal pivoted window) dan menggunakan jendela putar vertikal (vertical pivoted window) Dikarenakan pada penggunaan pivoted window dapat optimal dalam memasukkan angin kedalam ruangan. Dibandingkan dengan penggunaan casement window yang hanya dapat memasukkan angin dari satu arah sumber

saja walaupun presentase jumlah angin yang masuk dapat lebih besar dibandingkan penggunaan pivoted window.

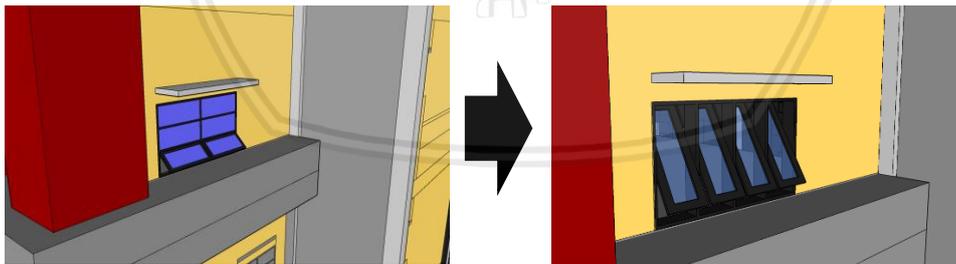


Gambar 4.45 Aliran udara jendela *awning* dan jendela *pivot*

Jika dilihat pada gambar aliran udara diatas terlihat udara yang masuk pada jendela *awning* akan masuk secara 75% yang menyebabkan udara dalam ruang hanya akan mengalir ke tengah ruangan dan kurang menyeluruh sehingga tidak terlalu efektif dalam pengurangan suhu dalam ruang. Namun, jendela *pivot* ini yang memiliki kemampuan aliran udara sampai 80% ini akan terlihat arah angin mengarah ke atas dan dapat dirasakan hampir keseluruhan ruang dalam sehingga dapat menurunkan suhu.

a. Lantai Tiga Tipe A

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela *awning* yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela *awning* tersebut.

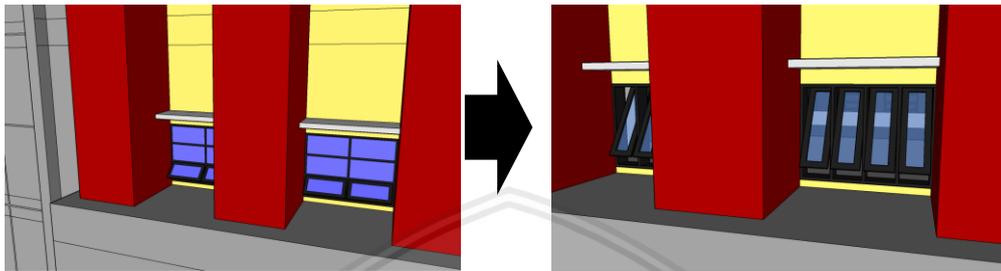


Gambar 4.46 Penggantian jendela *awning* menjadi jendela putar pada kelas tipe A lantai 3

Jenis jendela selain jenis *Casement* pada simulasi dapat diterapkan jenis jendela putar atau *pivot*. Jendela jenis *pivot* ini diharapkan dapat mengalirkan udara sampai 75% yang lebih cocok digunakan pada bangunan menengah sampai tinggi ini.

b. Lantai Tiga Tipe B

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi utara yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.

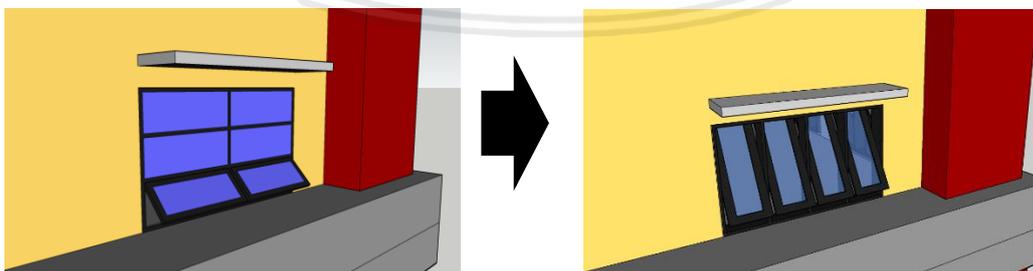


Gambar 4.47 Penggantian jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe B lantai 3

Jenis jendela selain jenis *Casement* pada simulasi dapat diterapkan jenis jendela putar atau *pivot*. Jendela jenis *pivot* ini diharapkan dapat mengalirkan udara sampai 75% yang lebih cocok digunakan pada bangunan menengah sampai tinggi ini.

c. Lantai Tiga Tipe C

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat hampir sama dengan tipe A ini pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.

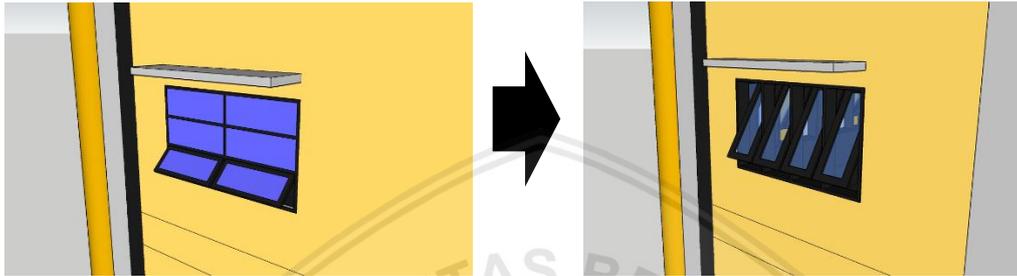


Gambar 4.48 Penggantian jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe C lantai 3

Jenis jendela selain jenis *Casement* pada simulasi dapat diterapkan jenis jendela putar atau *pivot*. Jendela jenis *pivot* ini diharapkan dapat mengalirkan udara sampai 75% yang lebih cocok digunakan pada bangunan menengah sampai tinggi ini. Hal ini dikarenakan kecepatan angin akan semakin tinggi berdasarkan tinggi lantai bangunan.

d. Lantai Enam Tipe A

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.

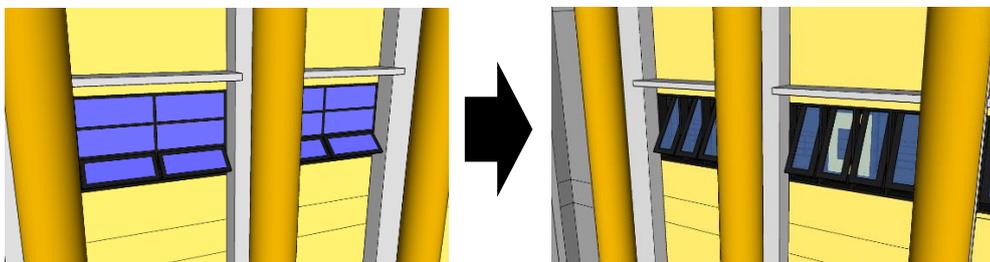


Gambar 4.49 Penggantian jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe A lantai 6

Jenis jendela selain jenis *Casement* pada simulasi dapat diterapkan jenis jendela putar atau *pivot*. Jendela jenis pivot ini diharapkan dapat mengalirkan udara sampai 75% yang lebih cocok digunakan pada bangunan menengah sampai tinggi ini. Hal ini dikarenakan kecepatan angin akan semakin tinggi berdasarkan tinggi lantai bangunan.

e. Lantai Enam Tipe B

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi utara yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.

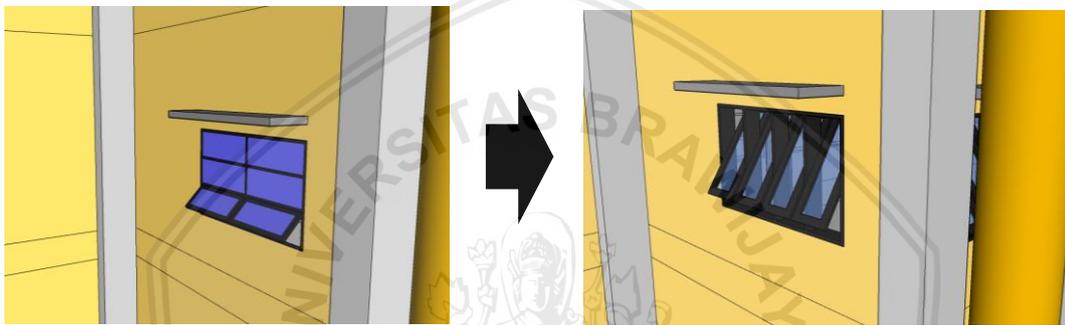


Gambar 4.50 Penggantian jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe B lantai 6

Jenis jendela selain jenis *Casement* pada simulasi dapat diterapkan jenis jendela putar atau *pivot*. Jendela jenis *pivot* ini diharapkan dapat mengalirkan udara sampai 75% yang lebih cocok digunakan pada bangunan menengah sampai tinggi ini.

f. Lantai Enam Tipe C

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat hampir sama dengan tipe A ini pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.



Gambar 4.51 Penggantian jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe C lantai 6

Jenis jendela selain jenis *Casement* pada simulasi dapat diterapkan jenis jendela putar atau *pivot*. Jendela jenis *pivot* ini diharapkan dapat mengalirkan udara sampai 75% yang lebih cocok digunakan pada bangunan menengah sampai tinggi ini. Hal ini dikarenakan kecepatan angin akan semakin tinggi berdasarkan tinggi lantai bangunan.

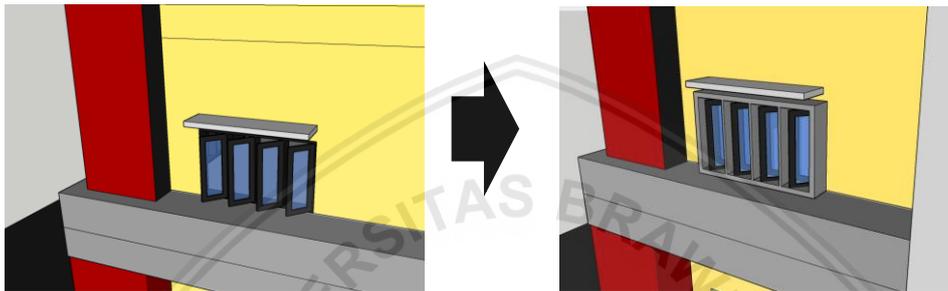
4.7.2 Modifikasi – pengaplikasian *shading device*

Modifikasi ketiga adalah pengaplikasian beberapa jenis *shading device* seperti *eggcrate* dan *Outrigger system* pada tipe kelas yang ventilasinya mendapat penyinaran panas langsung dari matahari yang radiasi panasnya masuk melalui ventilasi sehingga mengakibatkan suhu di dalam ruangan meningkat. Pada identifikasi dan analisis tipe-tipe kelas yang telah dilakukan didapatkan hasil kebutuhan tiap tipe kelas sebagai upaya menciptakan kenyamanan termal melalui penurunan suhu dan memaksimalkan sirkulasi udara yang baik di dalam ruangan. Fokus rekomendasi modifikasi 3 yang akan diterapkan adalah pada ruang tipe kelas A, C, dan D. Pada tipe A dan C yang memiliki arah bukaan yang sama, membutuhkan pengaplikasian *shading device* pada ventilasi sisi barat karena

tidak terdapat naungan pada batas bangunan yang pada sisi barat bangunan meskipun terdapat vegetasi tajuk tinggi yang kurang optimal menahan sinar matahari yang masuk pada bangunan.

a. Lantai Tiga Tipe A

Pengaplikasian pada tipe A ini akan menerapkan Shading device jenis Eggcrate untuk menfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis Eggcrate ini juga memberikan peneduhan pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.

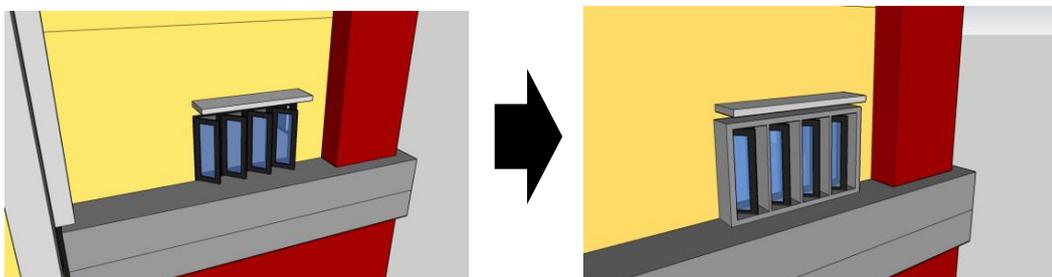


Gambar 4.52 Pengaplikasian *shading device eggcrate* pada kelas tipe A lantai 3 sisi barat

Kekurangan pada shading device jenis eggcrate ini sedikit mengganggu pemandangan dari dalam ruang ke luar namun sangat baik untuk mengurangi sinar matahari langsung secara horizontal dan vertikal.

b. Lantai Tiga Tipe C

Pengaplikasian pada tipe C sama dengan tipe A yang menerapkan Shading device jenis Eggcrate untuk menfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis Eggcrate ini juga memberikan peneduhan pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.

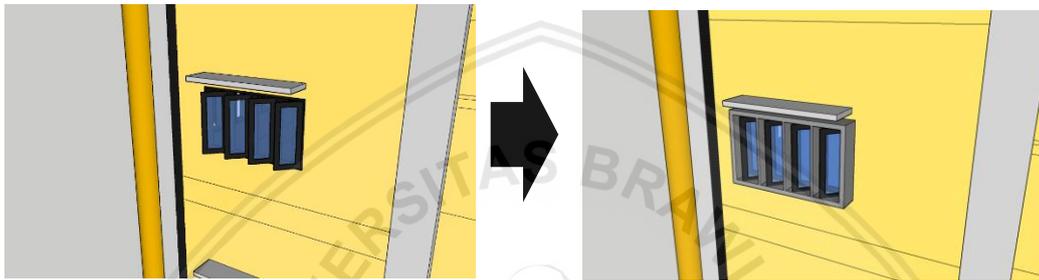


Gambar 4.53 Pengaplikasian *shading device eggcrate* pada kelas tipe C lantai 3 sisi barat

Kekurangan pada shading device jenis eggcrate ini sedikit mengganggu pemandangan dari dalam ruang ke luar namun sangat baik untuk mengurangi sinar matahari langsung secara horizontal dan vertikal.

c. Lantai Enam Tipe A

Pengaplikasian pada tipe A ini akan menerapkan Shading device jenis Eggcrate untuk menfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis Eggcrate ini juga memberikan peneduhan pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.

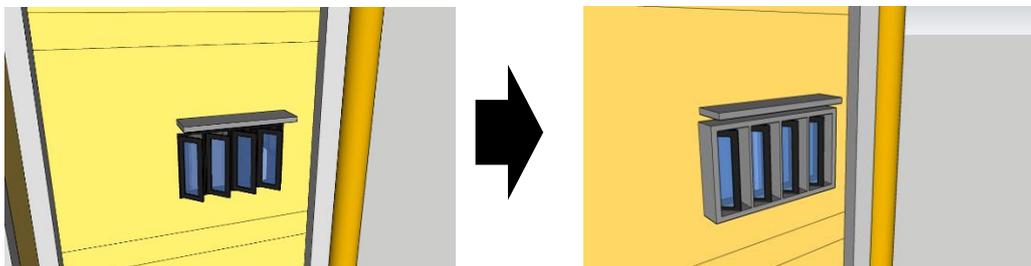


Gambar 4.54 Pengaplikasian *shading device eggcrate* pada kelas tipe A lantai 6 sisi barat

Kekurangan pada shading device jenis eggcrate ini sedikit mengganggu pemandangan dari dalam ruang ke luar namun sangat baik untuk mengurangi sinar matahari langsung secara horizontal dan vertikal.

d. Lantai Enam Tipe C

Pengaplikasian pada tipe C sama dengan tipe A yang menerapkan Shading device jenis Eggcrate untuk menfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis Eggcrate ini juga memberikan peneduhan pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.



Gambar 4.55 Pengaplikasian *shading device eggcrate* pada kelas tipe C lantai 6 sisi barat

Kekurangan pada shading device jenis eggcrate ini sedikit mengganggu pemandangan dari dalam ruang ke luar namun sangat baik untuk mengurangi sinar matahari langsung secara horizontal dan vertikal.

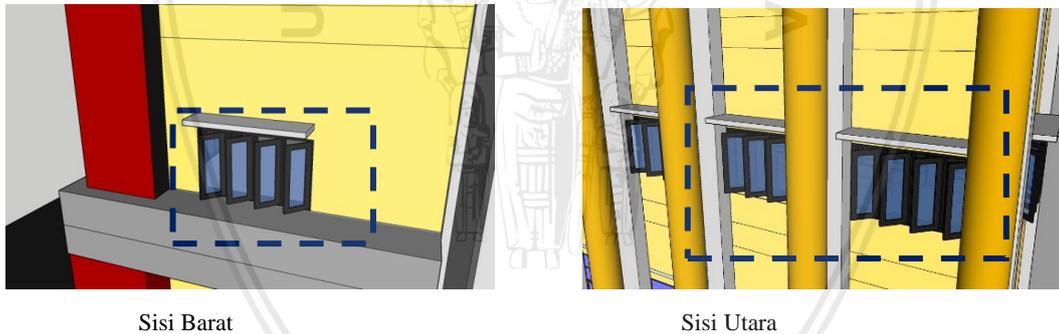
4.8 Simulasi Rekomendasi Modifikasi

Setelah mengidentifikasi kondisi eksisting objek penelitian dan mengetahui masalah, maka diterapkan rekomendasi apa yang dapat mengatasi masalah tersebut. Simulasi dilakukan berdasarkan rekomendasi modifikasi yang diterapkan di setiap tipe kelas untuk mendapatkan hasil kondisi termal ketika mendapat tambahan modifikasi model kelas. Simulasi yang dilakukan dengan *software Ecotect Analysis* diatur dengan tanggal yang sama dengan pengambilan sampel penelitian dan mensetting iklim yang sesuai yaitu iklim Indoensia.

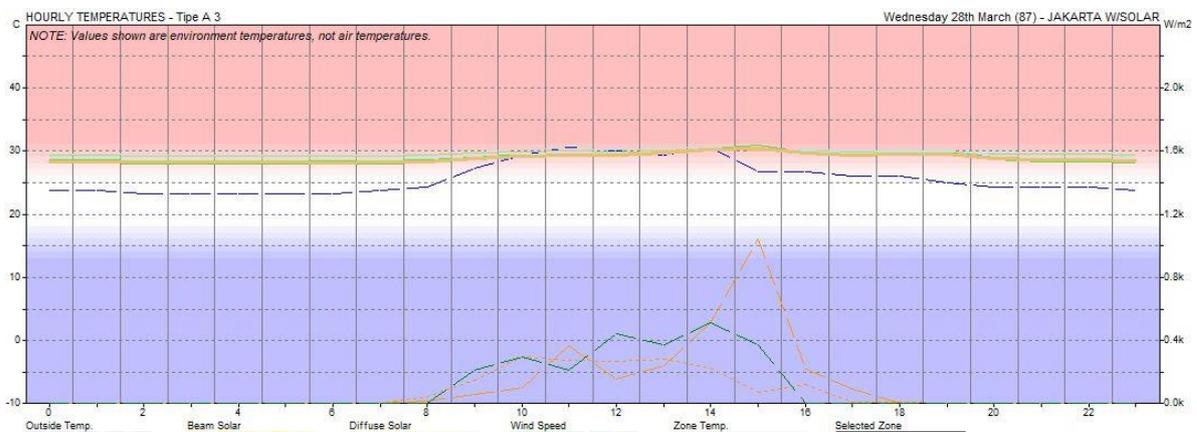
Simulasi model modifikasi yang pertama dilakukan adalah penambahan rasio pada ruang kelas berupa penambahan lubang bukaan baru atau merubah tipe jendela mati untuk menjadi jendela yang aktif dalam pengaliran sirkulasi udara. Yang kedua adalah penggantian jenis ventilasi yang kurang efektif dalam mengaliri udara sesuai dengan system sirkulasi udara.

4.8.1 Modifikasi – penambahan rasio

a. Lantai tiga tipe A



Gambar 4.56 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe A lantai 3



Gambar 4.57 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.49 Simulasi tipe kelas A lantai 3

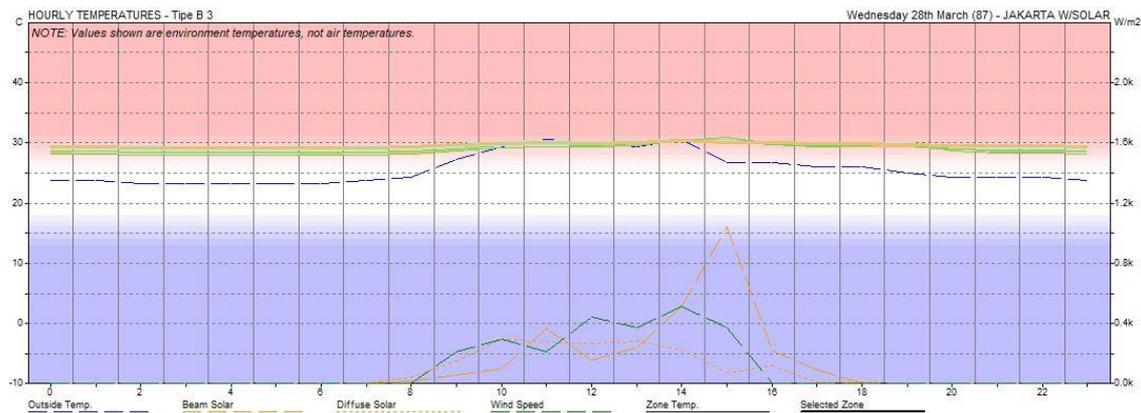
Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.4	24.3	4.1
09.00	28.8	27.2	1.6
10.00	29.2	29.3	-0.1
11.00	29.4	30.6	-1.2
12.00	29.3	30.0	-0.7
13.00	29.7	29.3	0.4
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.3	26.7	3.6
16.00	29.6	26.7	2.9
Rata - rata	29.4	28.3	1.1

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe A setelah dilakukan modifikasi - penambahan rasio dengan jendela Casement side-hang atau kupu-kupu ini menghasilkan ruang kelas yang relatif panas dengan menunjukkan suhu ruangan rata – rata $29,4^{\circ}\text{C}$, sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai $4,1^{\circ}\text{C}$. Suhu tertinggi pada ruang tipe A terjadi pada pukul 15.00 dengan suhu $30,3^{\circ}\text{C}$ yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. . Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu $28,4^{\circ}\text{C}$ yang juga tidak melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

b. Lantai tiga tipe B



Gambar 4.58 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe B lantai 3



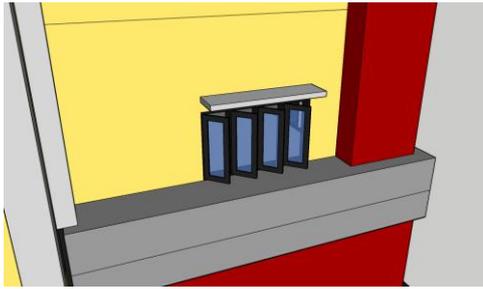
Gambar 4.59 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe B lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.50 Simulasi tipe kelas B lantai 3

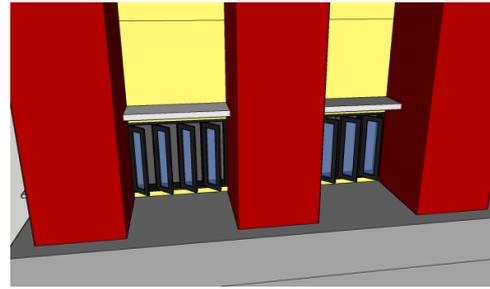
Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	29.3	24.3	5.0
09.00	29.6	27.2	2.4
10.00	29.9	29.3	0.6
11.00	30.0	30.6	-0.6
12.00	29.9	30.0	-0.1
13.00	30.1	29.3	0.8
14.00	30.4	30.6	-0.2
15.00	30.1	26.7	3.4
16.00	30.0	26.7	3.3
Rata - rata	29.9	28.3	1.6

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe B setelah dilakukan modifikasi - penambahan rasio dengan jendela Casement side-hang atau kupu-kupu ini menghasilkan ruang kelas yang relatif panas dengan menunjukkan suhu ruangan rata - rata $29,9^{\circ}\text{C}$, sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai $5,0^{\circ}\text{C}$. Suhu tertinggi pada ruang tipe B terjadi pada pukul 14.00 dengan suhu $30,4^{\circ}\text{C}$ yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu $29,3^{\circ}\text{C}$ yang tidak melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

c. Lantai tiga tipe C

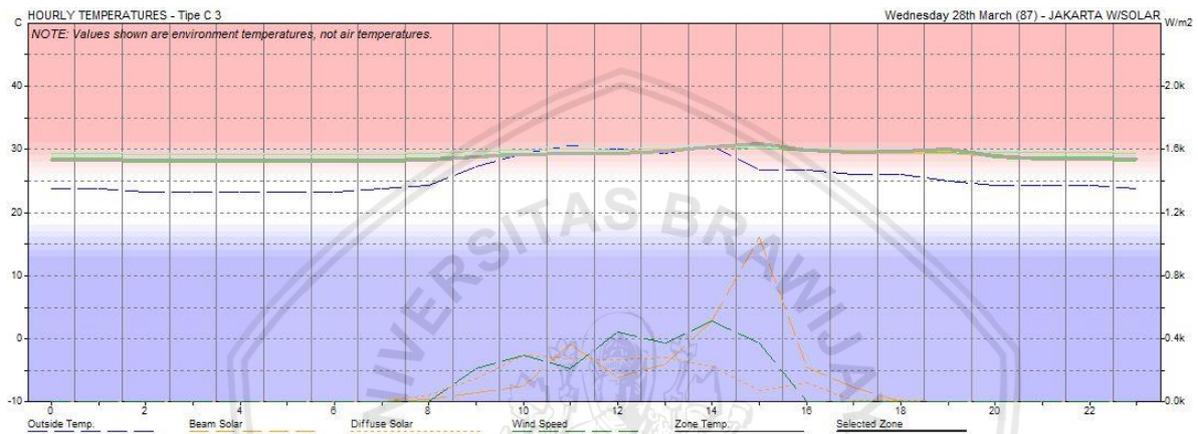


Sisi Barat



Sisi Selatan

Gambar 4.60 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe C lantai 3



Gambar 4.61 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.51 Simulasi tipe kelas C lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.3	24.3	4.0
09.00	28.7	27.2	1.5
10.00	29.1	29.3	-0.2
11.00	29.3	30.6	-1.3
12.00	29.3	30.0	-0.7
13.00	29.6	29.3	0.3
14.00	30.3	30.6	-0.3
15.00	30.8	26.7	4.1
16.00	29.7	26.7	3.0
Rata - rata	29.5	28.3	1.2

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe C setelah dilakukan modifikasi - penambahan rasio dengan jendela Casement side-hang atau kupu-kupu ini menghasilkan ruang kelas yang relatif panas dengan menunjukkan suhu ruangan rata – rata 29,5°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai 4,0°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe C terjadi pada pukul 15.00 dengan suhu 30,8°C yang sangat melampaui dari

batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu 28,3°C tidak melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

Namun seluruh tabel pada lantai tiga diatas jika disesuaikan dengan pembagian waktu seperti pada saat pengukuran yang terbagi menjadi 3 bagian waktu perkuliahan akan dijelaskan pada tabel dibawah,

Tabel 4.52 Simulasi pada lantai 3 sesuai waktu pengukuran setelah modifikasi

Hari	Jam	Suhu Simulasi Modifikasi(C°)					
		Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Rata – Rata	08.00 – 10.00	28.8	26.9	29.6	26.9	28.7	26.9
Setiap Jam	11.00 – 13.00	29.5	30.0	30.0	30.0	29.4	30.0
	14.00 – 16.00	30.0	28.0	30.1	28.0	30.3	28.0
	Rata - rata	29.4	28.3	29.9	28.3	29.5	28.3

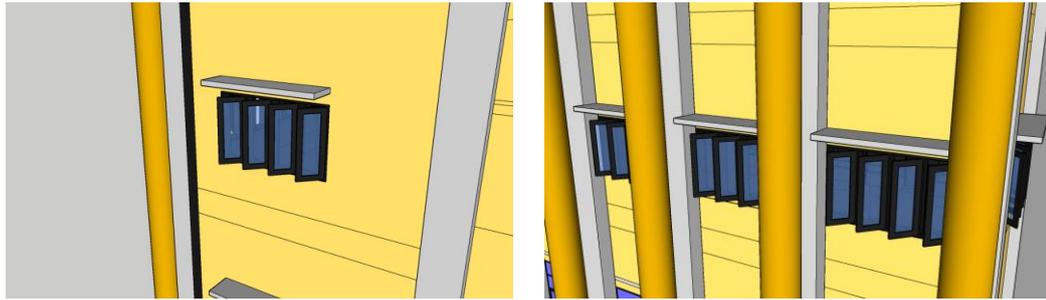
Setelah dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan jadwal perkuliahan berikut akan dibandingkan dengan suhu simulasi sebelumnya dengan setelah dilakukan modifikasi.

Tabel 4.53 Perbandingan suhu simulasi eksisting dan hasil modifikasi

Hari	Jam	Suhu Simulasi (C°)			Suhu Modifikasi (C°)			Selisih Suhu Simulasi dan Modifikasi (C°)		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe A	Tipe B	Tipe C
Rata – Rata	08.00 – 10.00	29	30	29.1	28.8	29.6	28.7	0.2	0.4	0.4
Setiap Jam	11.00 – 13.00	29.5	30.3	29.5	29.5	30.0	29.4	0.0	0.3	0.1
	14.00 – 16.00	30.1	30.5	30.1	30.0	30.1	30.3	0.1	0.4	-0.2
	Rata - rata	29.5	30.3	29.6	29.4	29.9	29.5	0.1	0.4	0.1

Pada data perbandingan suhu simulasi dan hasil modifikasi pada tiap tipe pada lantai tiga ini menurun diantara 0,1 °C – 0,7°C pada tiap tipe ruangan apabila. dibandingkan sebelum dimodifikasi.

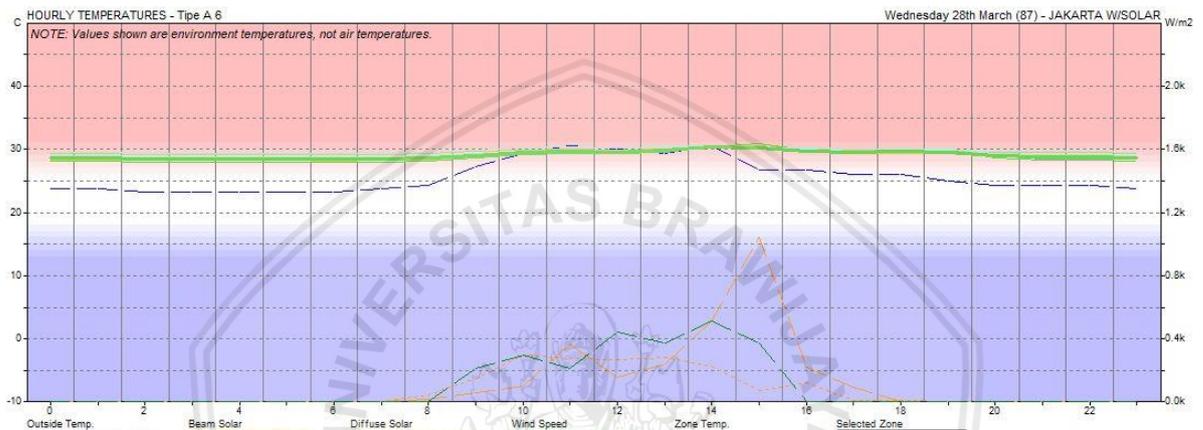
d. Lantai enam tipe A



Sisi Barat

Sisi Utara

Gambar 4.62 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe A lantai 6



Gambar 4.63 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 6 setelah modifikasi

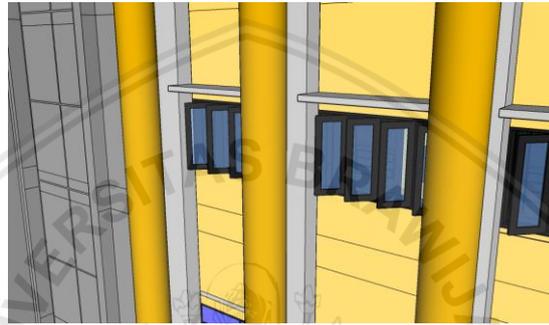
Tabel 4.54 simulasi tipe kelas A lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.6	24.3	4.3
09.00	29.0	27.2	1.8
10.00	29.4	29.3	0.1
11.00	29.6	30.6	-1.0
12.00	29.5	30.0	-0.5
13.00	29.7	29.3	0.4
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.2	26.7	3.5
16.00	29.6	26.7	2.9
Rata - rata	29.5	28.3	1.2

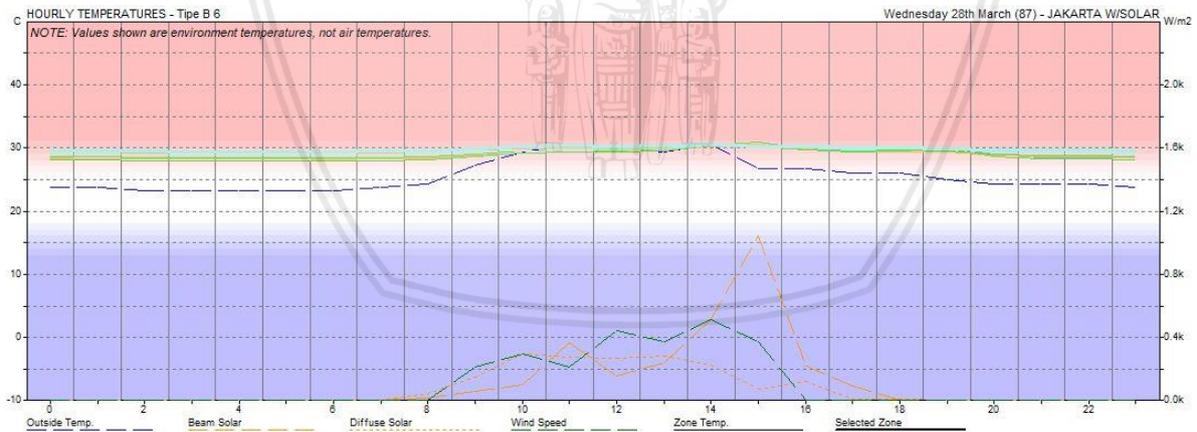
Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe A setelah dilakukan modifikasi - penambahan rasio dengan jendela Casement side-hang atau kupu-kupu ini menghasilkan ruang kelas yang relatif panas dengan menunjukkan suhu ruangan rata - rata $29,6^{\circ}\text{C}$, sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai $4,3^{\circ}\text{C}$. Suhu tertinggi pada

ruang tipe A terjadi pada pukul 14.00 dengan suhu 30,3°C yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. . Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu 28,6°C masih belum melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

e. Lantai enam tipe B



Gambar 4.64 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe B lantai 6



Gambar 4.65 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe B lantai 6 setelah modifikasi

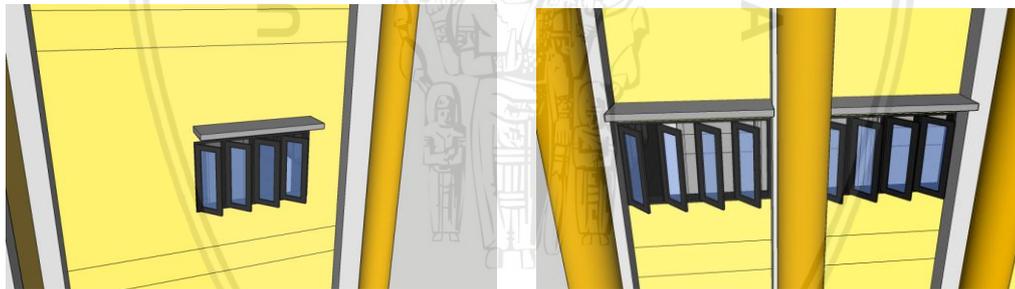
Tabel 4.55 simulasi tipe kelas B lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	29.5	24.3	5.2
09.00	29.9	27.2	2.7
10.00	30.2	29.3	0.9
11.00	30.3	30.6	-0.3
12.00	30.2	30.0	0.2

13.00	30.3	29.3	1.0
14.00	30.5	30.6	-0.1
15.00	30.1	26.7	3.4
16.00	30.1	26.7	3.4
Rata - rata	30.1	28.3	1.8

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe B setelah dilakukan modifikasi - penambahan rasio dengan jendela Casement side-hang atau kupu-kupu ini menghasilkan ruang kelas yang relatif panas dengan menunjukkan suhu ruangan rata – rata 30,2°C , sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai 5,2°C. Suhu tertinggi pada ruang tipe B terjadi pada pukul 14.00 dengan suhu 30,6°C yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu 27,45°C. . Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu 29,5°C belum cukup melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

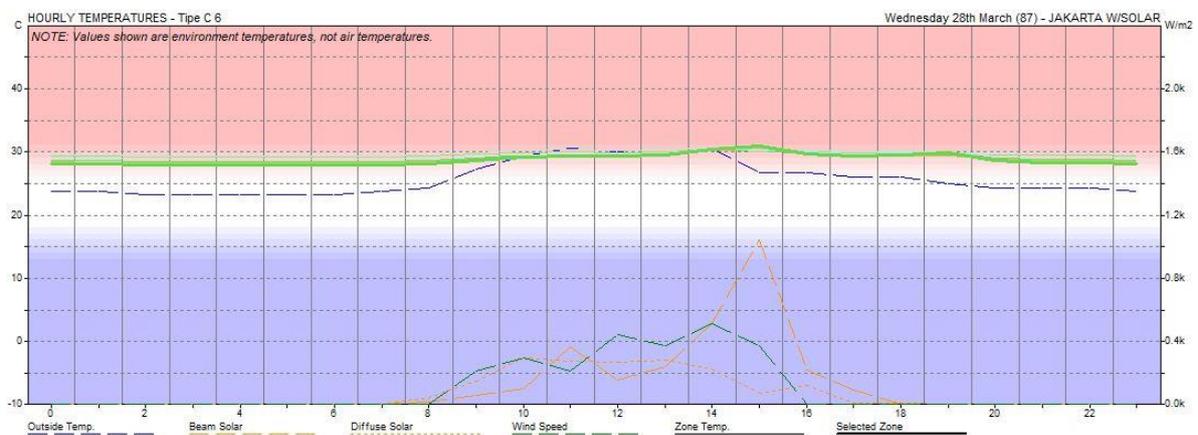
f. Lantai enam tipe C



Sisi Barat

Sisi Selatan

Gambar 4.66 Penambahan jendela casement side-hang pada kelas tipe C lantai 6



Gambar 4.67 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 6 setelah modifikasi

Tabel 4.56 Simulasi tipe kelas C lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.2	24.3	3.9
09.00	28.7	27.2	1.5
10.00	29.3	29.3	0.0
11.00	29.5	30.6	-1.1
12.00	29.4	30.0	-0.6
13.00	29.7	29.3	0.4
14.00	30.5	30.6	-0.1
15.00	30.9	26.7	4.2
16.00	29.7	26.7	3.0
Rata - rata	29.5	28.3	1.2

Hasil simulasi kondisi eksisting ruang kelas tipe C setelah dilakukan modifikasi - penambahan rasio dengan jendela Casement side-hang atau kupu-kupu ini menghasilkan ruang kelas yang relatif panas dengan menunjukkan suhu ruangan rata – rata $29,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan beberapa titik pada dekat jendela menurun sampai $4,2^{\circ}\text{C}$. Suhu tertinggi pada ruang tipe C terjadi pada pukul 15.00 dengan suhu $30,9^{\circ}\text{C}$ yang sangat melampaui dari batas maksimum suhu nyaman kota Malang yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan suhu $28,2^{\circ}\text{C}$ belum melampaui batas suhu nyaman. Hal ini mengakibatkan penggunaan penghawaan buatan yaitu AC sangat diperlukan agar mendapatkan suhu nyaman dan tidak mengganggu proses perkuliahan.

Namun seluruh tabel pada lantai tiga diatas jika disesuaikan dengan pembagian waktu seperti pada saat pengukuran yang terbagi menjadi 3 bagian waktu perkuliahan akan dijelaskan pada tabel dibawah,

Tabel 4.57 simulasi pada lantai 6 sesuai waktu pengukuran setelah modifikasi

Hari	Jam	Suhu Simulasi Modifikasi($^{\circ}\text{C}$)							
		Tipe A		Tipe B		Tipe C		Tipe D	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Rata – Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	29.0	26.9	29.9	26.9	28.7	26.9	29.2	26.9
	11.00 – 13.00	29.6	30.0	30.3	30.0	29.5	30.0	29.7	30.0
	14.00 – 16.00	30.0	28.0	30.2	28.0	30.4	28.0	30.2	28.0
	Rata - rata	29.5	28.3	30.1	28.3	29.5	28.3	29.7	28.3

Setelah dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan jadwal perkuliahan berikut akan dibandingkan dengan suhu eksisting pada saat pengukuran.

Tabel 4.58 Perbandingan suhu simulasi eksisting dan hasil modifikasi

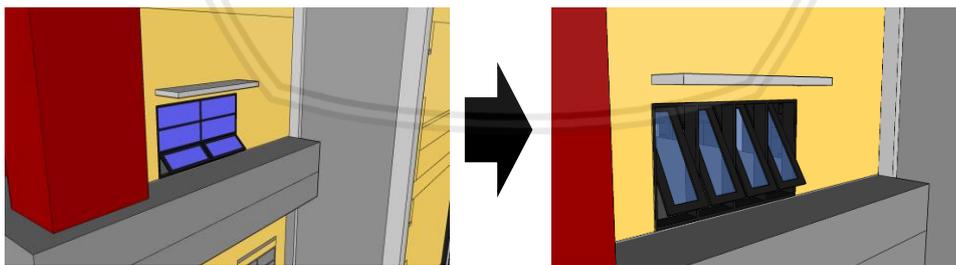
Hari	Jam	Suhu Simulasi (C°)			Suhu Modifikasi (C°)			Selisih Suhu Simulasi dan Modifikasi (C°)		
		Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe A	Tipe B	Tipe C
Rata – Rata Setiap Jam	08.00 – 10.00	29.4	30.3	29	29.0	29.9	28.7	0.4	0.4	0.3
	11.00 – 13.00	29.8	30.7	29.5	29.6	30.3	29.5	0.2	0.4	0.0
	14.00 – 16.00	30.2	30.8	30.1	30.0	30.2	30.4	0.2	0.6	-0.3
	Rata - rata	29.8	30.6	29.5	29.5	30.1	29.5	0.3	0.5	0.0

Pada data perbandingan suhu simulasi dan hasil modifikasi pada tiap tipe pada lantai enam ini menurun diantara $0,1\text{ }^{\circ}\text{C} - 0,6^{\circ}\text{C}$ pada tiap tipe ruangan apabila. dibandingkan sebelum dimodifikasi

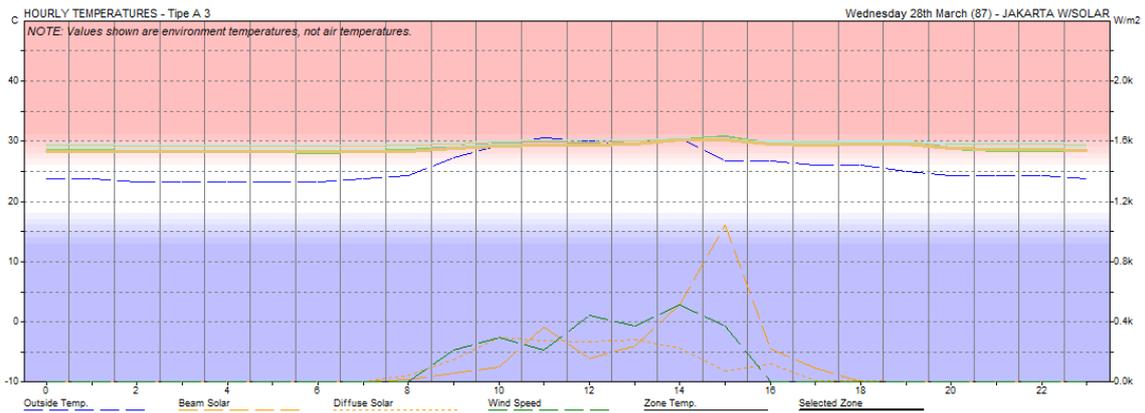
4.8.2 Modifikasi – penggantian jenis jendela

a. Lantai Tiga Tipe A

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.



Gambar 4.68 Penggantian jenis jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe A lantai 3



Gambar 4.69 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.59 simulasi tipe kelas A lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.4	24.3	4.1
09.00	28.8	27.2	1.6
10.00	29.2	29.3	-0.1
11.00	29.3	30.6	-1.3
12.00	29.3	30.0	-0.7
13.00	29.6	29.3	0.3
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.3	26.7	3.6
16.00	29.6	26.7	2.9
Rata - rata	29.4	28.3	1.1

Tabel 4.60 Perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

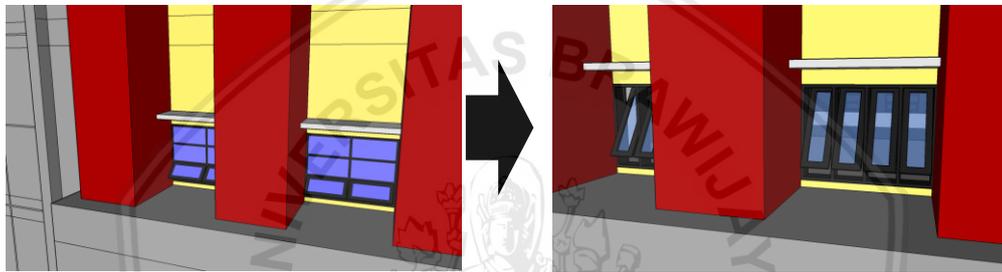
Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	28.8	28.4	0.4
09.00	29.0	28.8	0.2
10.00	29.2	29.2	0.0
11.00	29.4	29.3	0.1
12.00	29.4	29.3	0.1
13.00	29.7	29.6	0.1
14.00	30.2	30.2	0.0
15.00	30.2	30.3	-0.1
16.00	29.8	29.6	0.2
Rata - rata	29.5	29.4	0.1

Penerapan modifikasi penggantian jenis jendela menjadi jendela putar atau *pivot* ini jika dibandingkan dengan suhu simulasi eksisting tidak banyak selisih yang terlihat,

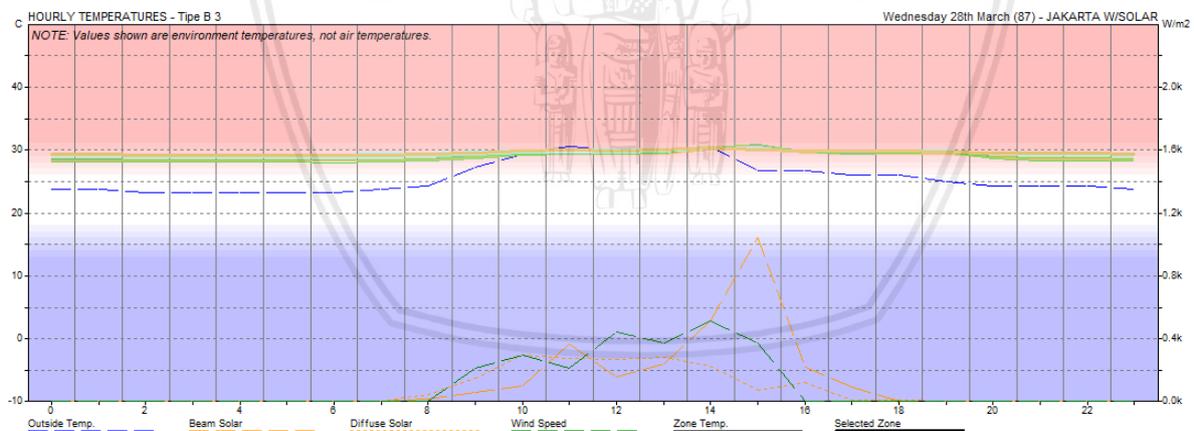
penurunan paling efektif terjadi pada jam 8 pagi dengan besar $0,4^{\circ}\text{C}$ dan pada jam 3 sore suhu naik $0,1^{\circ}\text{C}$. Hal ini jika dibandingkan dengan suhu netral kota malang belum mencukupi batas suhu netral yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

b. Lantai Tiga Tipe B

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi utara yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.



Gambar 4.70 Penggantian jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe B lantai 3



Gambar 4.71 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe B lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.61 simulasi tipe kelas B lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	29.3	24.3	5.0
09.00	29.6	27.2	2.4
10.00	29.8	29.3	0.5
11.00	30.0	30.6	-0.6
12.00	29.9	30.0	-0.1

13.00	30.0	29.3	0.7
14.00	30.3	30.6	-0.3
15.00	30.0	26.7	3.3
16.00	29.9	26.7	3.2
Rata - rata	29.9	28.3	1.6

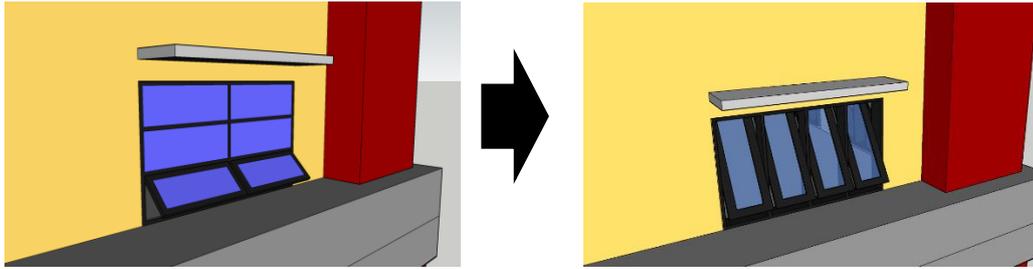
Tabel 4.62 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	29.8	29.3	0.5
09.00	30.0	29.6	0.4
10.00	30.1	29.8	0.3
11.00	30.3	30.0	0.3
12.00	30.2	29.9	0.3
13.00	30.4	30.0	0.4
14.00	30.7	30.3	0.4
15.00	30.5	30.0	0.5
16.00	30.4	29.9	0.5
Rata - rata	30.3	29.9	0.4

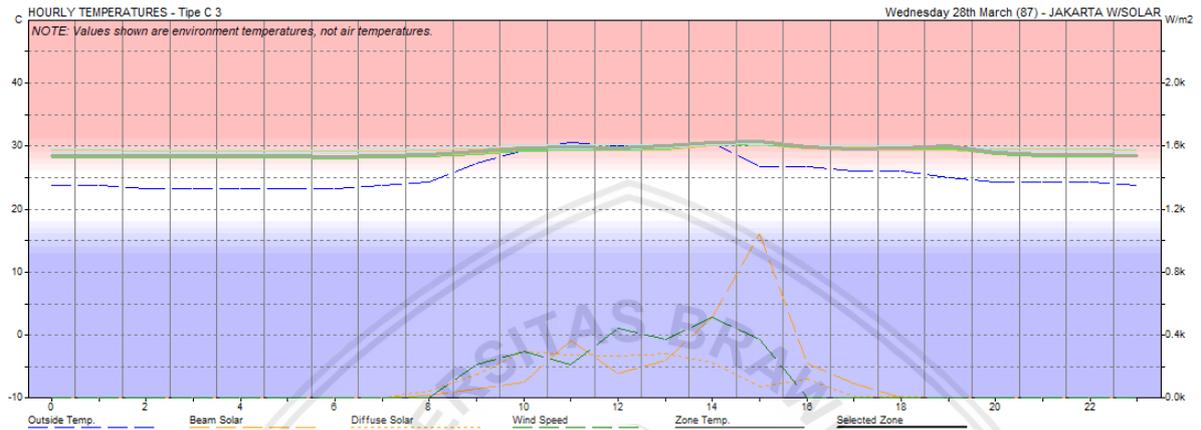
Penerapan modifikasi penggantian jenis jendela menjadi jendela putar atau *pivot* ini jika dibandingkan dengan suhu simulasi eksisting selisih yang terlihat semakin tinggi, penurunan paling efektif terjadi pada jam 8 pagi dan jam 3 sampai 4 sore dengan besar 0,5°C, sedangkan pada jam lainnya penurunan suhu stabil diantara 0,3°C-0,4°C. Hal ini jika dibandingkan dengan suhu netral kota malang belum mencukupi batas suhu netral yaitu 27,45°C .Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

c. Lantai Tiga Tipe C

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat hampir sama dengan tipe A ini pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.



Gambar 4.72 Penggantian jenis jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe C lantai 3



Gambar 4.73 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.63 simulasi tipe kelas C lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.6	24.3	4.3
09.00	29.1	27.2	1.9
10.00	29.7	29.3	0.4
11.00	29.8	30.6	-0.8
12.00	29.8	30.0	-0.2
13.00	30.0	29.3	0.7
14.00	30.6	30.6	0.0
15.00	30.7	26.7	4.0
16.00	29.9	26.7	3.2
Rata - rata	28.6	24.3	4.3

Tabel 4.64 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

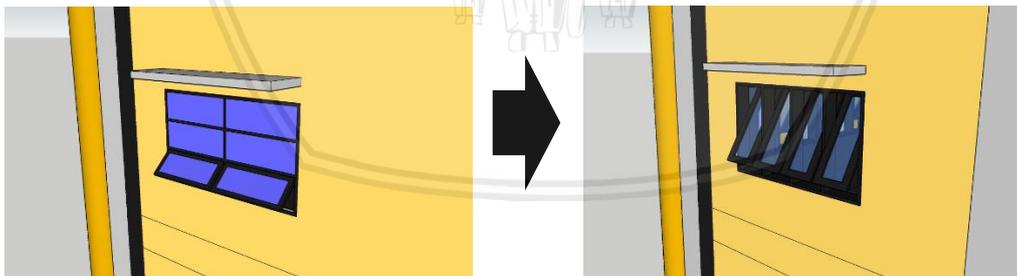
Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	28.8	28.6	0.2
09.00	29.1	29.1	0.0
10.00	29.3	29.7	-0.4
11.00	29.4	29.8	-0.4
12.00	29.4	29.8	-0.4

13.00	29.7	30.0	-0.3
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.3	30.7	-0.4
16.00	29.9	29.9	0.0
Rata - rata	29.6	28.6	-0.2

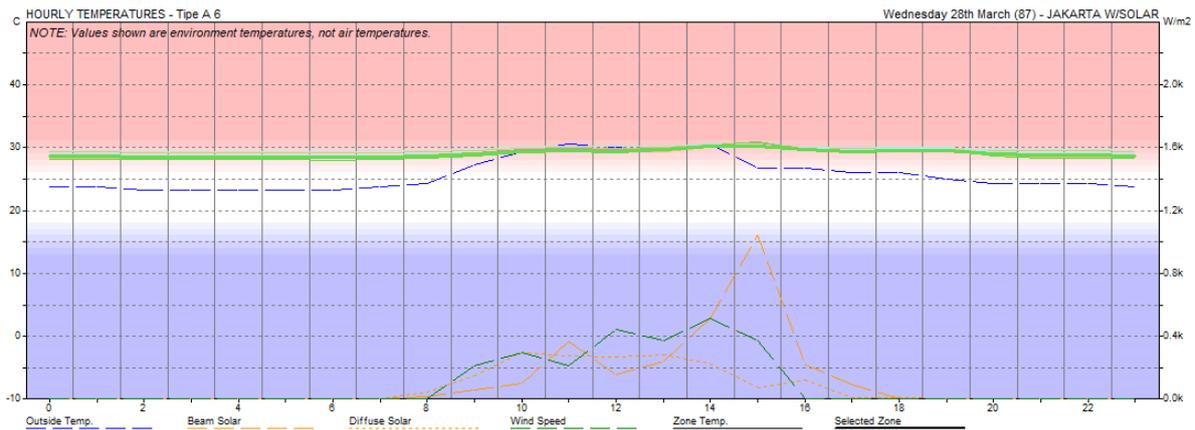
Penerapan modifikasi penggantian jenis jendela menjadi jendela putar atau *pivot* ini jika dibandingkan dengan suhu simulasi eksisting selisih yang terlihat semakin tinggi, penurunan paling efektif terjadi pada jam 8 pagi dengan besar $0,2^{\circ}\text{C}$, namun ketika jam 10 sampai jam 3 sore kenaikan suhu stabil diantara $+0,3^{\circ}\text{C}$ - $0,4^{\circ}\text{C}$. Hal ini jika dibandingkan dengan suhu netral kota malang belum mencukupi batas suhu netral yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

d. Lantai Enam Tipe A

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.



Gambar 4.74 Penggantian jenis jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe A lantai 6



Gambar 4.75 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 6 setelah modifikasi

Tabel 4.65 simulasi tipe kelas A lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.6	24.3	4.3
09.00	29.0	27.2	1.8
10.00	29.3	29.3	0.0
11.00	29.5	30.6	-1.1
12.00	29.4	30.0	-0.6
13.00	29.6	29.3	0.3
14.00	30.2	30.6	-0.4
15.00	30.2	26.7	3.5
16.00	29.6	26.7	2.9
Rata - rata	28.6	24.3	4.3

Tabel 4.66 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

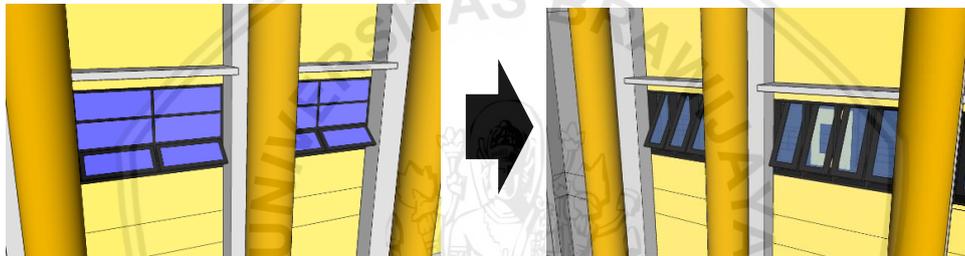
Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	29.1	28.6	0.5
09.00	29.4	29.0	0.4
10.00	29.6	29.3	0.3
11.00	29.8	29.5	0.3
12.00	29.7	29.4	0.3
13.00	30.0	29.6	0.4
14.00	30.4	30.2	0.2
15.00	30.3	30.2	0.1
16.00	30.0	29.6	0.4
Rata - rata	29.8	28.6	0.3

Penerapan modifikasi penggantian jenis jendela menjadi jendela putar atau *pivot* ini jika dibandingkan dengan suhu simulasi eksisting tidak banyak selisih yang terlihat,

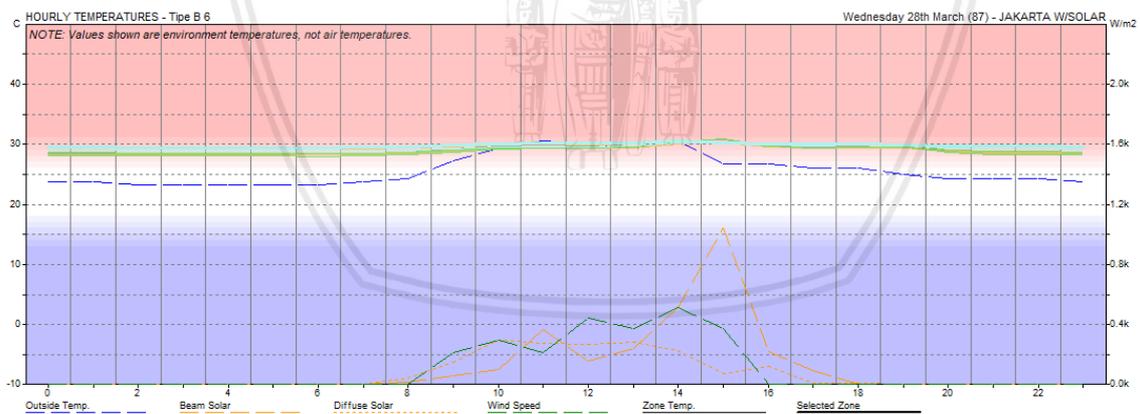
penurunan paling efektif terjadi pada jam 8 pagi dengan besar $0,5^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata setiap jam terjadi penurunan suhu dengan besar diantara $0,1^{\circ}\text{C}$ - $0,4^{\circ}\text{C}$. Hal ini jika dibandingkan dengan suhu netral kota malang belum mencukupi batas suhu netral yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

e. Lantai Enam Tipe B

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi utara yang pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.



Gambar 4.76 Penggantian jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe B lantai 6



Gambar 4.77 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe B lantai 6 setelah modifikasi

Tabel 4.67 simulasi tipe kelas B lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	29.5	24.3	5.2
09.00	29.8	27.2	2.6
10.00	30.1	29.3	0.8
11.00	30.3	30.6	-0.3
12.00	30.1	30.0	0.1

13.00	30.2	29.3	0.9
14.00	30.5	30.6	-0.1
15.00	30.1	26.7	3.4
16.00	30.1	26.7	3.4
Rata - rata	30.1	28.3	1.8

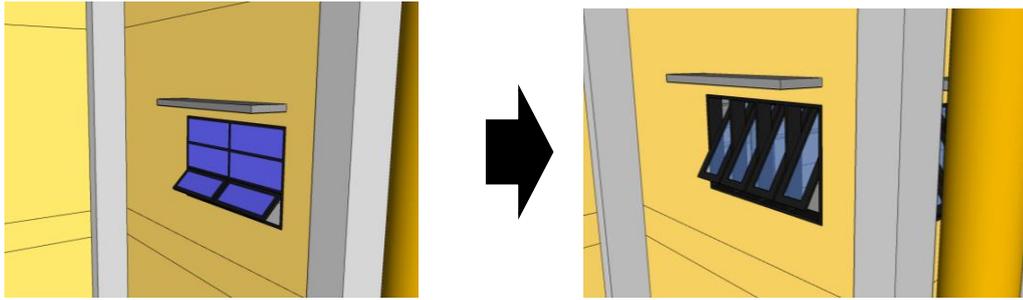
Tabel 4.68 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	30.1	29.5	0.6
09.00	30.4	29.8	0.6
10.00	30.5	30.1	0.4
11.00	30.7	30.3	0.4
12.00	30.6	30.1	0.5
13.00	30.7	30.2	0.5
14.00	31.0	30.5	0.5
15.00	30.8	30.1	0.7
16.00	30.7	30.1	0.6
Rata - rata	30.6	30.1	0.5

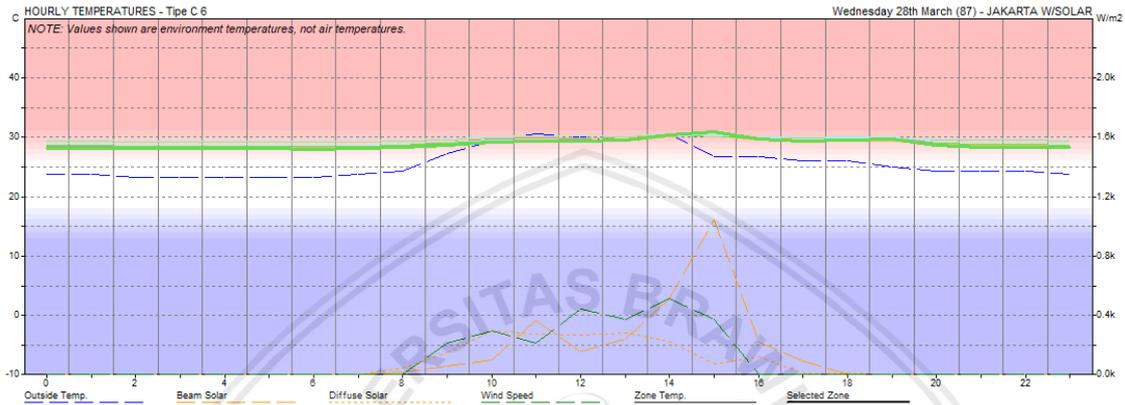
Penerapan modifikasi penggantian jenis jendela menjadi jendela putar atau *pivot* ini jika dibandingkan dengan suhu simulasi eksisting selisih yang terlihat semakin tinggi, penurunan paling efektif terjadi pada jam 3 sore dengan besar $0,7^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada jam lainnya penurunan suhu stabil diantara $0,4^{\circ}\text{C}$ - $0,6^{\circ}\text{C}$. Hal ini jika dibandingkan dengan suhu netral kota malang belum mencukupi batas suhu netral yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

f. Lantai Enam Tipe C

Penggantian jenis jendela pada tipe ini difokuskan pada jenis ventilasi sisi barat hampir sama dengan tipe A ini pada eksisting sebelumnya adalah jendela awning yang memiliki kemampuan mengalirkan udara sampai 75%. Namun dikarenakan luasnya yang kurang dan tidak sampai 10% dari luas lantai menjadikan kurang maksimalnya kinerja jendela awning tersebut.



Gambar 4.78 Penggantian jenis jendela awning menjadi jendela putar pada kelas tipe C lantai 6



Gambar 4.79 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 6 setelah modifikasi

Tabel 4.69 simulasi tipe kelas C lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.2	24.3	3.9
09.00	28.7	27.2	1.5
10.00	29.2	29.3	-0.1
11.00	29.3	30.6	-1.3
12.00	29.3	30.0	-0.7
13.00	29.6	29.3	0.3
14.00	30.4	30.6	-0.2
15.00	30.9	26.7	4.2
16.00	29.7	26.7	3.0
Rata - rata	29.5	28.3	1.2

Tabel 4.70 Tabel perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	28.7	28.2	0.5
09.00	29.0	28.7	0.3
10.00	29.3	29.2	0.1
11.00	29.4	29.3	0.1
12.00	29.4	29.3	0.1
13.00	29.7	29.6	0.1

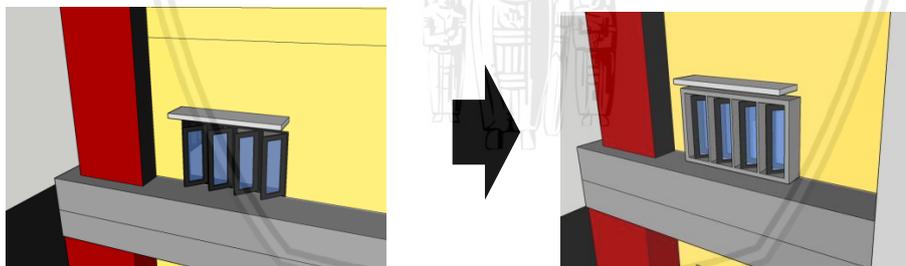
14.00	30.2	30.4	-0.2
15.00	30.3	30.9	-0.6
16.00	29.9	29.7	0.2
Rata - rata	29.5	29.5	0.1

Penerapan modifikasi penggantian jenis jendela menjadi jendela putar atau *pivot* ini jika dibandingkan dengan suhu simulasi eksisting selisih yang terlihat semakin tinggi, penurunan paling efektif terjadi pada jam 8 pagi dengan besar $0,5^{\circ}\text{C}$, namun ketika jam 2 sampai jam 3 sore kenaikan suhu stabil sampai dengan $0,6^{\circ}\text{C}$. Hal ini jika dibandingkan dengan suhu netral kota malang belum mencukupi batas suhu netral yaitu $27,45^{\circ}\text{C}$. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

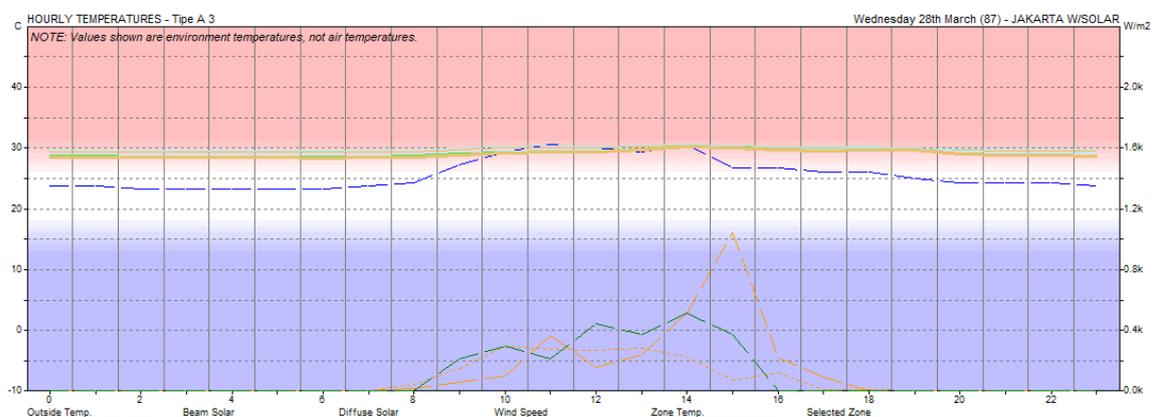
4.8.3 Modifikasi – pengaplikasian *shading device*

a. Lantai Tiga Tipe A

Pengaplikasian pada tipe A ini akan menerapkan *Shading device* jenis Eggcrate untuk menfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis Eggcrate ini juga memberikan peneduhan pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.



Gambar 4.80 Pengaplikasian *shading device eggcrate* pada kelas tipe A lantai 3 sisi barat



Gambar 4.81 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.71 simulasi tipe kelas A lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.5	24.3	3.9
09.00	28.9	27.2	1.7
10.00	29.2	29.3	0.4
11.00	29.4	30.6	-0.7
12.00	29.3	30.0	-0.3
13.00	29.6	29.3	0.8
14.00	30.1	30.6	0.4
15.00	30.1	26.7	4.9
16.00	29.6	26.7	3.2
Rata - rata	29.4	28.3	1.6

Tabel 4.72 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

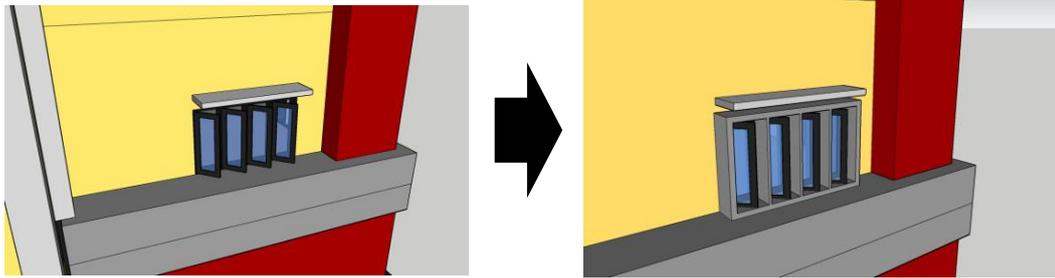
Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	28.8	28.5	0.3
09.00	29.0	28.9	0.1
10.00	29.2	29.2	0.0
11.00	29.4	29.4	0.0
12.00	29.4	29.3	0.1
13.00	29.7	29.6	0.1
14.00	30.2	30.1	0.1
15.00	30.2	30.1	0.1
16.00	29.8	29.6	0.2
Rata - rata	29.5	29.4	0.1

Penerapan *shading devive* jenis *eggcrate* pada ruang tipe A ini khususnya pada sisi barat dikarenakan ventilasi sisi barat ini tidak mendapatkan cukup pembayangan dan kondisi terpapar matahari khususnya pada jam 1-4 sore. Terlihat pada tabel diatas penerapan ini *shading device* ini terjadi penurunan paling tinggi yaitu pada jam 8 pagi dengan besar 0,3°C dan jam 10 sampai 11 pagi tidak terjadi penurunan suhu. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

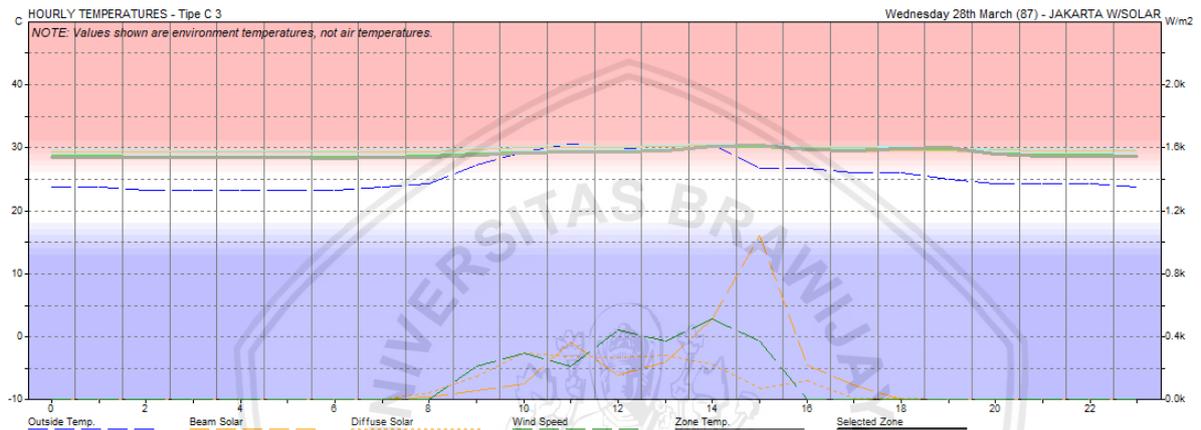
b. Lantai Tiga Tipe C

Pengaplikasian pada tipe C sama dengan tipe A yang menerapkan Shading device jenis Eggcrate untuk menfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis

Eggcrate ini juga memberikan peneduhan pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.



Gambar 4.82 Pengaplikasian shading device eggcrate pada kelas tipe C lantai 3 sisi barat



Gambar 4.83 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 3 setelah modifikasi

Tabel 4.73 simulasi tipe kelas C lantai 3

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.5	24.3	3.8
09.00	28.8	27.2	1.4
10.00	29.2	29.3	-0.1
11.00	29.3	30.6	-1.2
12.00	29.3	30.0	-0.6
13.00	29.5	29.3	0.6
14.00	30.2	30.6	0.7
15.00	30.3	26.7	6.5
16.00	29.7	26.7	3.6
Rata - rata	29.4	28.3	1.6

Tabel 4.74 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

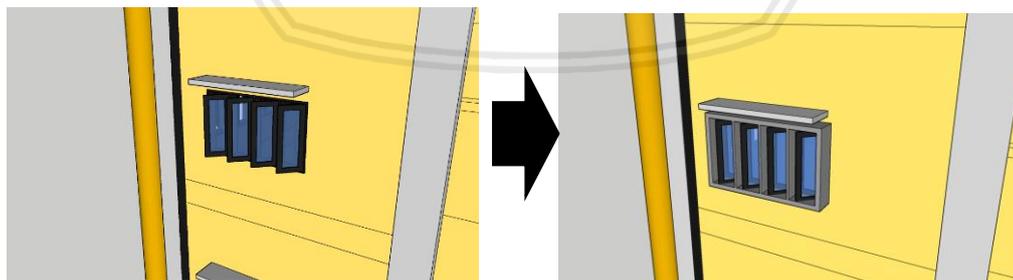
Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	28.8	28.5	0.3
09.00	29.1	28.8	0.3

10.00	29.3	29.2	0.1
11.00	29.4	29.3	0.1
12.00	29.4	29.3	0.1
13.00	29.7	29.5	0.2
14.00	30.2	30.2	0.0
15.00	30.3	30.3	0.0
16.00	29.9	29.7	0.2
Rata - rata	29.6	29.4	0.1

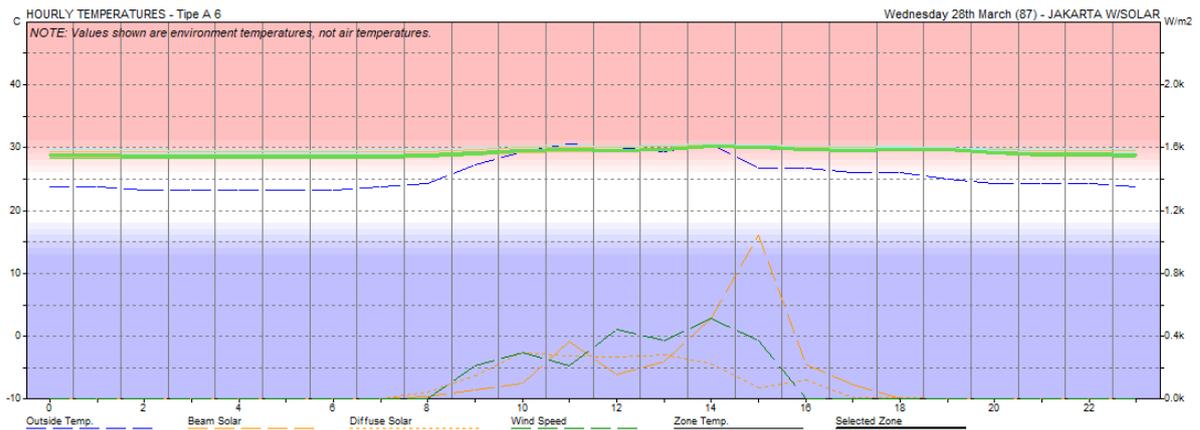
Penerapan *shading devive* jenis *eggcrate* pada ruang tipe C ini khususnya pada sisi barat dikarenakan ventilasi sisi barat ini tidak mendapatkan cukup pembayangan dan kondisi terpapar matahari khususnya pada jam 1-4 sore. Terlihat pada tabel diatas penerapan ini *shading device* ini terjadi penurunan paling tinggi yaitu pada jam 8 sampai 9 pagi dengan besar $0,3^{\circ}\text{C}$ dan jam 2 sampai 3 sore tidak terjadi penurunan suhu. . Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

c. Lantai Enam Tipe A

Pengaplikasian pada tipe A ini akan menerapkan Shading device jenis Eggcrate untuk menfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis Eggcrate ini juga memberikan peneduhan pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.



Gambar 4.84 Pengaplikasian *shading device eggcrate* pada kelas tipe A lantai 6 sisi barat



Gambar 4.85 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe A lantai 6 setelah modifikasi

Tabel 4.75 simulasi tipe kelas A lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.8	24.3	4.2
09.00	29.1	27.2	1.9
10.00	29.4	29.3	0.4
11.00	29.6	30.6	-0.6
12.00	29.5	30.0	-0.3
13.00	29.7	29.3	0.7
14.00	30.2	30.6	0.2
15.00	30.0	26.7	4.5
16.00	29.7	26.7	3.2
Rata - rata	29.6	28.3	1.6

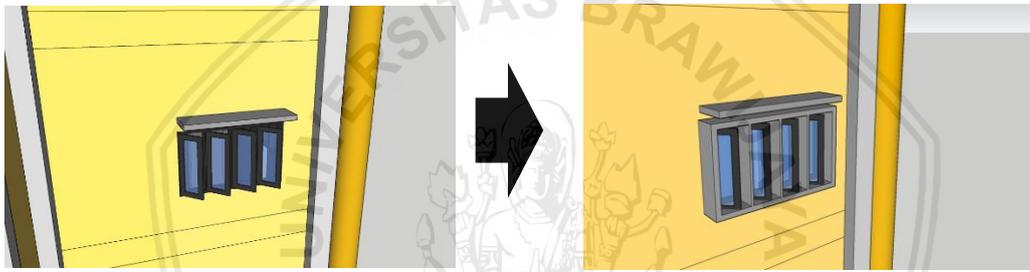
Tabel 4.76 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	29.1	28.8	0.3
09.00	29.4	29.1	0.3
10.00	29.6	29.4	0.2
11.00	29.8	29.6	0.2
12.00	29.7	29.5	0.2
13.00	30.0	29.7	0.3
14.00	30.4	30.2	0.2
15.00	30.3	30.0	0.3
16.00	30.0	29.7	0.3
Rata - rata	29.8	29.6	0.3

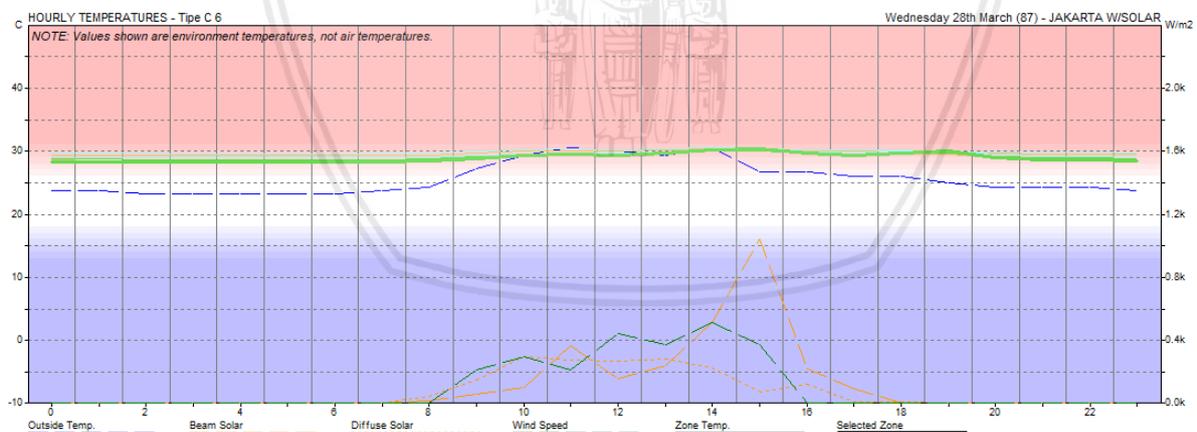
Penerapan *shading device* jenis *eggcrate* pada ruang tipe A ini khususnya pada sisi barat dikarenakan ventilasi sisi barat ini tidak mendapatkan cukup pembayangan dan kondisi terpapar matahari khususnya pada jam 1-4 sore. Terlihat pada tabel diatas penerapan ini *shading device* ini terjadi penurunan yang sama dari jam 8 pagi sampai 4 sore ini dengan besaran diantara $0,2^{\circ}\text{C}$ - $0,3^{\circ}\text{C}$. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

d. Lantai Enam Tipe C

Pengaplikasian pada tipe C sama dengan tipe A yang menerapkan *Shading device* jenis *Eggcrate* untuk memfokuskan aliran udara ke dalam ruangan pada sisi barat. Jenis *Eggcrate* ini juga memberikan peneduh pada sisi barat yang pada sisi ini arah matahari pada siang hari dapat menghalangi panas matahari langsung secara maksimal.



Gambar 4.86 Pengaplikasian *shading device eggcrate* pada kelas tipe C lantai 6 sisi barat



Gambar 4.87 Grafik simulasi pada ruang kelas tipe C lantai 6 setelah modifikasi

Tabel 4.77 simulasi tipe kelas C lantai 6

Jam	Indoor	Outdoor	Selisih
08.00	28.4	24.3	3.5
09.00	28.8	27.2	1.5
10.00	29.3	29.3	0.4
11.00	29.4	30.6	-0.8

12.00	29.4	30.0	-0.1
13.00	29.6	29.3	1.1
14.00	30.2	30.6	1.2
15.00	30.4	26.7	7.1
16.00	29.7	26.7	3.7
Rata - rata	29.5	28.3	2.0

Tabel 4.78 perbandingan suhu simulasi eksisting dan suhu hasil modifikasi

Jam	Suhu Simulasi Eksisting	Suhu Modifikasi	Selisih
08.00	28.7	28.4	0.3
09.00	29.0	28.8	0.2
10.00	29.3	29.3	0.0
11.00	29.4	29.4	0.0
12.00	29.4	29.4	0.0
13.00	29.7	29.6	0.1
14.00	30.2	30.2	0.0
15.00	30.3	30.4	-0.1
16.00	29.9	29.7	0.2
Rata - rata	29.5	29.5	0.1

Penerapan *shading devive* jenis *eggcrate* pada ruang tipe C ini khususnya pada sisi barat dikarenakan ventilasi sisi barat ini tidak mendapatkan cukup pembayangan dan kondisi terpapar matahari khususnya pada jam 1-4 sore. Terlihat pada tabel diatas penerapan ini *shading device* ini terjadi penurunan paling tinggi yaitu pada jam 8 pagi dengan besar 0,3°C dan jam 10 sampai 12 siang tidak terjadi penurunan suhu. Pada modifikasi ini walaupun mampu melakukan penurunan suhu namun belum cukup memenuhi suhu netral, sehingga dalam modifikasi ini dinilai kurang mampu dalam upaya menurunkan suhu ruangan.

4.8.4 Hasil modifikasi terhadap kenyamanan termal

Dari rekomendasi modifikasi terhadap ventilasi alami yang dilakukan masing-masing penerapan modifikasi yang disimulasikan mendapat hasil berupa data suhu selanjutnya dibuat rangkuman untuk membandingkan terhadap 3 model modifikasi yang telah dilakukan pada tiap tipe kelas dan diambil data suhu modifikasi yang memiliki nilai efektif menurunkan suhu ruang dalam, sebagai berikut:

Tabel 4.79 rangkuman hasil perbandingan suhu eksisting dengan hasil 3 modifikasi tiap tipe pada lantai 3

Jam	Tipe A				Tipe B			Tipe C			
	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Simulasi Eksisting	Mod 1	Mod 2	Simulasi Eksisting	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Simulasi Eksisting
08.00	28.4	28.4	28.5	28.8	29.3	29.3	29.8	28.3	28.6	28.5	28.8
09.00	28.8	28.8	28.9	29.0	29.6	29.6	30.0	28.7	29.1	28.8	29.1
10.00	29.2	29.2	29.2	29.2	29.9	29.8	30.1	29.1	29.7	29.2	29.3
11.00	29.4	29.3	29.4	29.4	30.0	30.0	30.3	29.3	29.8	29.3	29.4
12.00	29.3	29.3	29.3	29.4	29.9	29.9	30.2	29.3	29.8	29.3	29.4
13.00	29.7	29.6	29.6	29.7	30.1	30.0	30.4	29.6	30.0	29.5	29.7
14.00	30.2	30.2	30.1	30.2	30.4	30.3	30.7	30.3	30.6	30.2	30.2
15.00	30.3	30.3	30.1	30.2	30.1	30.0	30.5	30.8	30.7	30.3	30.3
16.00	29.6	29.6	29.6	29.8	30.0	29.9	30.4	29.7	29.9	29.7	29.9
Rata - rata	29.4	29.4	29.4	29.5	29.9	29.9	30.3	29.5	28.6	29.4	29.6
Suhu Min.	28.4	28.4	28.5	28.8	29.3	29.3	29.8	28.3	28.6	28.5	28.8
Suhu Max.	30.3	30.3	30.1	30.2	30.4	30.3	30.7	30.8	30.7	30.3	30.3

Dari ketiga modifikasi yang diterapkan pada setiap tipe ruang kelas, terdapat modifikasi yang paling efektif diterapkan untuk menurunkan suhu. Pada tabel kesimpulan dan rangkuman hasil output suhu simulasi di atas, di tiap modifikasi yang bertanda biru merupakan hasil simulasi dan modifikasi yang berhasil menurunkan suhu ter efektif. Seperti dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, modifikasi 1 adalah penambahan rasio ventilasi untuk memenuhi standar rasio dari 10% luas ruang, sedangkan modifikasi 2 adalah penggantian jenis jendela untuk memaksimalkan aliran udara yang masuk ke dalam ruang sehingga dapat menurunkan suhu di dalam ruang. Dan modifikasi 3 adalah penambahan *shading device* untuk mengurangi paparan matahari langsung yang mengarah ke dalam ruang sehingga tidak menambah suhu ruang dalam.

Pada tipe kelas A lantai 3 ini modifikasi yang menunjukkan penurunan suhu yang sangat efektif adalah modifikasi 2 dengan penggantian jenis jendela yang sebelumnya hanya terdapat jendela jenis awning dengan luasan yang kurang dari 10% ini diganti dengan jendela jenis putar atau *pivot* sehingga dapat memaksimalkan pergerakan udara dari luar ke dalam ruang. Sehingga modifikasi 2 dapat diterapkan di ruang kelas tipe A lantai 3.

Pada tipe kelas B lantai 3 ini modifikasi yang menunjukkan penurunan suhu yang sangat efektif adalah modifikasi 2 dengan penggantian jenis jendela yang sebelumnya hanya terdapat jendela jenis awning dengan luasan yang kurang dari 10% ini diganti dengan

jendela jenis putar atau *pivot* sehingga dapat memaksimalkan pergerakan udara dari luar ke dalam ruang. Sehingga pada ruang kelas tipe B lantai 3 yang dapat diterapkan adalah penggantian jenis jendela.

Pada tipe kelas C lantai 3 ini modifikasi yang menunjukkan penurunan suhu yang lebih efektif dibandingkan yang lain adalah modifikasi 1 dengan penambahan rasio bukaan agar luasan bukaan mencapai 10% dari luas ruang. Pada model modifikasi 1 ini dapat diterapkan pada eksisting karena hasil dari simulasi modifikasi menunjukkan penurunan suhu yang cukup signifikan.

Tabel 4.80 rangkuman hasil perbandingan suhu eksisting dengan hasil 3 modifikasi tiap tipe pada lantai 6

Jam	Tipe A				Tipe B			Tipe C			
	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Simulasi Eksisting	Mod 1	Mod 2	Simulasi Eksisting	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Simulasi Eksisting
08.00	28.6	28.6	28.8	29.1	29.5	29.5	30.1	28.2	28.2	28.4	28.7
09.00	29.0	29.0	29.1	29.4	29.9	29.8	30.4	28.7	28.7	28.8	29.0
10.00	29.4	29.3	29.4	29.6	30.2	30.1	30.5	29.3	29.2	29.3	29.3
11.00	29.6	29.5	29.6	29.8	30.3	30.3	30.7	29.5	29.3	29.4	29.4
12.00	29.5	29.4	29.5	29.7	30.2	30.1	30.6	29.4	29.3	29.4	29.4
13.00	29.7	29.6	29.7	30.0	30.3	30.2	30.7	29.7	29.6	29.6	29.7
14.00	30.2	30.2	30.2	30.4	30.5	30.5	31.0	30.5	30.4	30.2	30.2
15.00	30.2	30.2	30.0	30.3	30.1	30.1	30.8	30.9	30.9	30.4	30.3
16.00	29.6	29.6	29.7	30.0	30.1	30.1	30.7	29.7	29.7	29.7	29.9
Rata - rata	29.5	28.6	29.6	29.8	30.1	30.1	30.6	29.5	29.5	29.5	29.5
Suhu Min.	28.6	28.6	28.8	29.1	29.5	29.5	30.1	28.2	28.2	28.4	28.7
Suhu Max.	30.2	30.2	30.2	30.4	30.5	30.5	31.0	30.9	30.9	30.4	30.3

Dari ketiga modifikasi yang diterapkan pada setiap tipe ruang kelas, terdapat modifikasi yang paling efektif diterapkan untuk menurunkan suhu. Pada tabel kesimpulan dan rangkuman hasil output suhu simulasi di atas, ditiap modifikasi yang bertanda biru merupakan hasil simulasi dan modifikasi yang berhasil menurunkan suhu ter efektif. Seperti dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, modifikasi 1 adalah penambahan rasio ventilasi untuk memenuhi standar rasio dari 10% luas ruang, sedangkan modifikasi 2 adalah penggantian jenis jendela untuk memaksimalkan aliran udara yang masuk ke dalam ruang sehingga dapat menurunkan suhu di dalam ruang. Dan modifikasi 3 adalah penambahan *shading device*

untuk mengurangi paparan matahari langsung yang mengarah ke dalam ruang sehingga tidak menambah suhu ruang dalam.

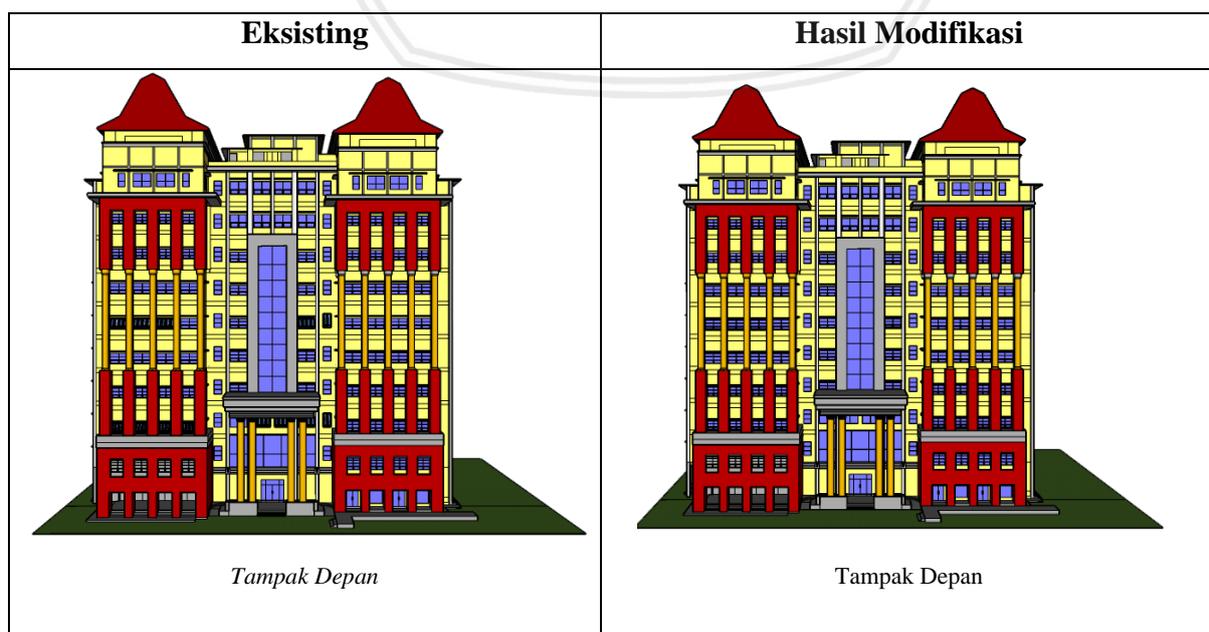
Pada tipe kelas A lantai 3 ini modifikasi yang menunjukkan penurunan suhu yang sangat efektif adalah modifikasi 2 dengan penggantian jenis jendela yang sebelumnya hanya terdapat jendela jenis awning dengan luasan yang kurang dari 10% ini diganti dengan jendela jenis putar atau *pivot* sehingga dapat memaksimalkan pergerakan udara dari luar ke dalam ruang. Sehingga modifikasi 2 dapat diterapkan di ruang kelas tipe A lantai 3.

Pada tipe kelas B lantai 3 ini modifikasi yang menunjukkan penurunan suhu yang sangat efektif adalah modifikasi 2 dengan penggantian jenis jendela yang sebelumnya hanya terdapat jendela jenis awning dengan luasan yang kurang dari 10% ini diganti dengan jendela jenis putar atau *pivot* sehingga dapat memaksimalkan pergerakan udara dari luar ke dalam ruang. Sehingga pada ruang kelas tipe B lantai 3 yang dapat diterapkan adalah penggantian jenis jendela.

Pada tipe kelas C lantai 3 ini ini modifikasi yang menunjukkan penurunan suhu yang sangat efektif adalah modifikasi 2 dengan penggantian jenis jendela yang sebelumnya hanya terdapat jendela jenis awning dengan luasan yang kurang dari 10% ini diganti dengan jendela jenis putar atau *pivot* sehingga dapat memaksimalkan pergerakan udara dari luar ke dalam ruang. Pada model modifikasi 2 ini dapat diterapkan pada eksisting karena hasil dari simulasi modifikasi menunjukkan penurunan suhu yang cukup signifikan.

4.8.5 Tampilan Bangunan Hasil Modifikasi

Tabel 4.81 Tampilan Bangunan Hasil Modifikasi





Tampak Samping Kiri



Tampak Samping Kiri



Tampak Belakang



Tampak Belakang



Tampak Samping Kanan



Tampak Samping Kanan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kondisi termal dari tata ventilasi eksisting yang mempengaruhi pada ruang kelas yang digunakan pada proses perkuliahan. Kondisi termal yang terukur pada eksisting dengan perwakilan empat tipe kelas yang berbeda dan memiliki karakteristik kelas masing-masing tercatat bahwa kondisi suhu yang cukup tinggi dan berada di luar batas suhu nyaman Kota Malang yaitu rentang $22,45^{\circ}\text{C}$ – $24,95^{\circ}\text{C}$ – $27,45^{\circ}\text{C}$ dengan rata – rata suhu eksisting $27,6^{\circ}\text{C}$, Kelembaban rata-rata 80 % dan kecepatan angin dalam ruangan seluruhnya adalah 0 m/s. hal tersebut membuat ruang kelas menjadi tidak nyaman sehingga menyebabkan turunnya konsentrasi pada proses perkuliahan.

Pada hasil penelitian ini dilakukan rekomendasi yang digunakan untuk mengatasi simulasi eksisting dengan menggunakan penggantian jenis jendela yang sebelumnya awning menjadi jendela putar (*pivot window*). Penggunaan rekomendasi ini dapat menurunkan suhu rata – rata tiap ruangnya diantara $0,1^{\circ}\text{C}$ – $1,2^{\circ}\text{C}$. Walaupun suhu ruang dalam tidak memenuhi standar suhu nyaman Kota Malang, rekomendasi modifikasi penggunaan jendela putar ini lebih efektif dalam menurunkan suhu dibandingkan jendela awning.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, dapat melakukan simulasi dengan alternatif lain sehingga didapatkan hasil yang lebih maksimal lagi dalam menurunkan temperatur udara pada ruang kelas. Dapat juga meneliti dalam aspek bahan bangunan, konstruksi dalam peningkatan kenyamanan termal bangunan. Pada penelitian ini, belum dilakukan simulasi berdasarkan kecepatan udara. Maka dari itu, dapat dilakukan simulasi berdasarkan kecepatan udara dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya. Sehingga didapatkan rekomendasi bukaan yang lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

Akbari, H. e. a., 1990. *Summer Heat Island, Urban Trees and White Surfaces*. s.l.:ASHRAE Transactions.

ASHRAE, 1989. *Physiological Principles, Comfort, and Health ASHRAE*. Handbook of Fundamental Chapter 8 ed. USA: s.n.

Bucket, H. E. & Godfrey, J. A., 1974. *Windows: Performance, Design and Installation*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.

Daish, N. C., Linden, P. F. & da Graca, G. C., 2015. *A Model for Natural Cross Ventilation*. Elsevier, Volume 89, pp. 72-85.

Frick, H. & Mulyani, T. H., 2006. *Arsitektur Ekologis: Konsep Arsitektur di Iklim Tropis, Penghijauan Kota dan Kota Ekologis serta Energi Terbarukan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Juhana, 2001. *Arsitektur dalam Masyarakat : Pengaruh Bentuk Arsitektur dan Iklim terhadap Kenyamanan Termal Rumah Tinggal Suku Bajo di Wilayah Pesisir Bajoe Kabupaten Bone Sulawesi Selatan*. Semarang: Bendera.

Karyono, Tri Harso (2000), *Teori Adaptasi dan Keberlakuannya bagi Penentuan Suhu Nyaman di Indonesia*, *Jurnal Kalang*, Volume II, Nomor 1, Januari

Liddament, Martin W., and Agence internationale de l'énergie. *Air Infiltration. A guide to energy efficient ventilation*. Coventry: *Air Infiltration and Ventilation Centre*, 1996.

Lippsmeier, G., 1994. *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga

Muhammad Rofiqi A. dan, Totok Ruki B. *Optimasi Penggunaan Pencahayaan Alami pada Ruang Kerja dengan Mengatur Perbandingan Luas Jendela terhadap Dinding* JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2014) 1-6, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Nematchoua, M. K., Tchinda, R. & Orosa, J. A., 2014. *Adaptation and Comparative Study of Thermal Comfort in Naturally Ventilated Classrooms and Buildings in the Wet Tropical Zones*. Elsevier, pp. 321-328.

Satwiko, P., 2004. *Fisika Bangunan 1*. Yogyakarta: ANDI

_____, 1992. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers ed. Atlanta, USA: s.n.

_____, 2004. *Thermal Environmental Condition for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55)*. Atlanta US: ASHRAE

SNI, 2001. *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*, s.l.: s.n.

Susanti, L., 2013. *Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang*. s.l.:Laboratorium Sistem Kerja dan Ergonomi, Jurusan Teknik Industri, Universitas Andalas.

Szokolay, 1973. *Manual of Tropical Housing and Building; India*. India: s.n..

