



JENDELA SEBAGAI PENDINGIN ALAMI PADA RUSUNAWA GRUDO SURABAYA

SKRIPSI

LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AISYAH ADZKIA YULI WARTO

NIM. 13506050011110 42

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN ARSITEKTUR

MALANG

2017

LEMBAR PENGESAHAN

JENDELA SEBAGAI PENDINGIN ALAMI PADA RUSUNAWA GRUDO
SURABAYA

SKRIPSI

LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AI SYAH ADZKIA YULIWARTO

NIM. 135060500111042

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 8 Agustus 2017

Dosen Pembimbing


Agung Murti Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19740915 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Arsitektur




Ir. Heru Sufianto, M. Arch.St, Ph.D
NIP. 19650218 199002 1 00

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia Skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (Sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 8 Agustus 2017

Mahasiswa,



Aisyah Adzkia Yuliwanto
NIM. 13506050111020

Repository Universitas Brawijaya

*Karya ilmiah ini kutujukan kepada
Ibu dan Bapak tercinta
serta adik-adik tersayang
dan mereka yang berjuang
di bidang arsitektur*

RINGKASAN

Aisyah Adzkia Yuliwarto, Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2017, *Jendela sebagai Pendingin Alami pada Rusunawa Grudo Surabaya*, Dosen Pembimbing : Agung Murti Nugroho.

Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia dengan rata-rata suhu yang mencapai 34,8°C. Kondisi suhu kota yang tinggi memancing penggunaan pendinginan buatan pada bangunan untuk mencapai kenyamanan termal. Salah satu rusunawa di Surabaya, yaitu Rusunawa Grudo, memiliki kondisi suhu yang lebih tinggi dari ruang luar. Penggunaan pendinginan buatan sebagai solusi pada rusunawa dapat meningkatkan penggunaan energi pada bangunan, padahal penggunaan energi pada rusunawa sendiri telah melebihi target pemerintah. Namun, penerapan pendinginan alami mampu menurunkan suhu dalam ruangan tanpa menggunakan energi. Salah satu penerapan pendinginan alami adalah melalui kinerja jendela. Perbedaan segi desain (dimensi, posisi, dan jenis), orientasi terhadap matahari, dan *overhang* pada jendela memberikan pengaruh terhadap suhu dan kecepatan angin ruangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela sebagai pendingin alami dengan kondisi iklim Kota Surabaya dalam menurunkan suhu dan mencapai kenyamanan ventilasi pada unit hunian Rusunawa Grudo Surabaya.

Kinerja jendela dapat diketahui melalui hasil simulasi suhu dan kecepatan angin pada beberapa alternatif desain, orientasi, dan *overhang*. *Software* simulasi yang digunakan adalah ANSYS 14.5. Hasil simulasi masing-masing alternatif dibandingkan untuk dipilih satu alternatif yang memiliki suhu paling rendah. Kecepatan angin yang dihasilkan oleh alternatif terpilih kemudian dibandingkan dengan kebutuhan kecepatan angin pada kondisi suhu alternatif tersebut, apabila terpenuhi maka alternatif tersebut telah mencapai kenyamanan ventilasi. Alternatif yang terpilih menunjukkan kinerja jendela sebagai pendingin alami.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa alternatif terpilih adalah jendela dengan desain *inlet* yang memiliki dimensi 1,5 m × 0,5 m, posisi ketinggian dari lantai +1 m, dan jenis jendela nako dengan sudut 90° dan desain *outlet* yang memiliki dimensi 1 m × 1 m, posisi ketinggian dari lantai +1 m, dan jenis jendela nako dengan sudut 135°. Desain jendela tersebut mampu menurunkan suhu hingga 0,3°C dan mencapai kenyamanan ventilasi dengan menghasilkan kecepatan angin sebesar 0,78 m/s. Perubahan orientasi jendela dari barat ke utara mampu menurunkan suhu hingga 0,6°C dan ke selatan mampu menurunkan hingga 0,36°C. Modifikasi *overhang* pada jendela utara dengan lebar 1,44 m dengan jarak 0,3 m ke atas dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,12 °C. Modifikasi *overhang* pada jendela selatan dengan lebar 0,5 m dengan jarak 0,15 m ke samping dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,04 °C. Kinerja jendela dengan pendekatan orientasi cenderung menurunkan suhu lebih banyak dibandingkan dengan pendekatan desain jendela dan penambahan *overhang*.

Kata kunci : jendela, pendinginan alami, rumah susun sederhana

SUMMARY

Aisyah Adzkia Yuliwanto, Department of Architectural Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, August 2017, *Window as Passive Coolant in Rusunawa Grudo Surabaya*, Academic Supervisor : Agung Murti Nugroho.

Surabaya city is one of the big city in Indonesia with average temperature reaching 34,8°C. This high urban's temperature may provoke the use of mechanical cooling in building to achieve thermal comfort. One of the low-cost apartment in Surabaya, Rusunawa Grudo, have a higher indoor temperature than outdoor temperature. Using mechanical cooling as a solution will only increasing energy use in building, whereas the use of energy in low-cost apartment itself has exceeded the government target. However, using passive cooling can lower the temperature without using energy. One of the ways to conduct passive cooling is through window design. The difference in design (dimension, position, and type), orientation to the sun, and overhang of window influences the temperature and air velocity condition of building. The purpose of this research is to know how the performance of windows as a passive coolant to lower the temperature and achieve the comfort of ventilation at Rusunawa Grudo Surabaya.

The performance of window can be known through simulation of temperature and air velocity in some alternative design, orientation, and overhang. The simulation software used is ANSYS 14.5. The results of each alternative simulation is compared to select one alternative that has the lowest temperature. The wind speed generated by the selected alternative is then compared with the wind speed requirement under these alternative temperature conditions, if fulfilled then the alternative has achieved the ventilation comfort. The selected alternative shows the performance of window as passive coolant.

The simulation result shows that the selected alternative is a window with inlet's design that have dimensions of 1.5 m×0.5 m, height position +1 m from the floor, and jalousie window type with 90° angle and outlet's design that have dimensions 1 m×1 m, height position +1 m from the floor, and jalousie window type with 135° angle. The selected alternative is able to lower the temperature by 0.3°C and achieve the ventilation comfort by producing air velocity of 0.78 m/s. Changes in building orientation from west to north can lower the temperature by 0,6°C and to the south can lower lower the temperature by 0,36°C. Changes of overhang in the northern window to 1.44 m wide with a distance of 0,30 m to the top from window managed to lowers the temperature by 0.12°C. Changes of overhang in southern window to 0.50 m wide with a distance of 0,15 m to the side from window also lowers the temperature by 0.04 °C. Window performance with orientation approach tends to lower the temperature more than the window design and overhang approach.

Keywords : window, passive cooling, low-cost apartment

PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena hanya atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Jendela sebagai Pendingin Alami pada Rusunawa Grudo Surabaya” untuk memperoleh gelar sarjana.

Proses penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan masukan kepada penulis dari awal hingga penyusunan. Laporan ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada :

1. Bapak Agung Murti Nugroho, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah mendukung dan memberi banyak masukan positif dalam penyusunan laporan skripsi ini
2. Ibu Eryani Nurma Yulita, S.T., M.T., M.Sc selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan banyak masukan untuk penyempurnaan laporan skripsi ini
3. Ibu Wasiska Iyati, S.T., M.T selaku dosen penguji II selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan banyak masukan untuk penyempurnaan laporan skripsi ini
4. Bapak Ir. Heru Sufianto, M.Arch.St., Ph.D selaku Ketua Prodi S1 Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
5. Ibu Ir. Rinawati P. Handajani, M.T selaku Dosen Penasehat Akademik
6. Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron selaku Kepala Laboratorium Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Teknik Mesin FT-UB
7. Saudara Isfan selaku Asisten Laboratorium Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Teknik Mesin FT-UB yang telah membantu dalam proses penyusunan laporan skripsi ini
8. Segenap warga penghuni Rusunawa Grudo Surabaya yang telah membantu dalam penyelesaian laporan skripsi ini
9. Kedua orang tua penulis, Sugeng Yuliwanto dan Daru Kuswardani yang telah banyak memberi dukungan hingga laporan skripsi ini selesai
10. Kedua adik penulis, Atikah dan Dinda yang telah banyak memberi dukungan hingga laporan skripsi ini selesai

11. Sahabat penulis Haris, Zaki, Karin, Jasmine, Ines, Nai, Dwi, Almas, Dichi yang telah banyak membantu dalam penyelesaian laporan skripsi ini.

12. Serta pihak-pihak lain yang ikut membantu dalam penyelesaian skripsi ini

Laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna dengan segala keterbatasan kemampuan dalam penyelesaian. Kritik dan saran dari semua pihak yang membangun diharapkan untuk langkah perbaikan di masa mendatang. Laporan skripsi diharapkan dapat berguna dalam rangka meningkatkan pendidikan khususnya di bidang arsitektur dan membantu dalam proses penelitian yang dilakukan selanjutnya.

Malang, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERTANYAAN ORISINALITAS	iii
PERUNTUKAN	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vii
PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Sistematika Kajian	5
1.8 Kerangka Pemikiran	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Iklim	9
2.1.1. Iklim tropis	10
2.1.2. Iklim tropis lembab	10
2.1.3 Kondisi iklim Kota Surabaya	11
2.2 Kenyamanan Termal	13
2.2.1 Kenyamanan suhu	14
2.2.2 Kenyamanan ventilasi	15
2.3 Pendinginan	17
2.3.1 Penghindaran panas	18
2.3.2 Pendinginan alami	23
2.4 Jendela	26
2.4.1. Orientasi jendela	26
2.4.2. Dimensi jendela	28
2.4.3. Posisi jendela	30
2.4.4. Jenis jendela	31
2.4.5. <i>Overhang</i> pada jendela	34
2.5 Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa)	35
2.6 Studi Terdahulu	36
2.7 Kerangka Teori	38
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Metode Umum dan Tahapan Penelitian	39
3.1.1 Metode umum penelitian	39
3.1.2 Tahapan operasional penelitian	40



3.2	Lokus dan Fokus Penelitian	41
3.2.1	Lokus penelitian	41
3.2.2	Fokus penelitian	42
3.3	Jenis dan Metode Pengumpulan Data	43
3.3.1	Jenis data	43
3.3.2	Metode pengumpulan data	44
3.4	Populasi dan Sampel	44
3.5	Variabel Penelitian	45
3.6	Metode Analisis Data	46
3.7	Waktu Penelitian	47
3.8	Teknik Pengumpulan Data	48
3.9	Teknik Analisis Data	48
3.10	Teknik Sintesis Data	54
3.11	Instrumen Penelitian	54
3.12	Kerangka Penelitian	55
3.12.1	Alur penelitian	55
3.12.2	Alur modifikasi	56
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1	Identifikasi Objek	57
4.1.1	Kondisi iklim Kota Surabaya	57
4.1.2	Kondisi tapak Rusunawa Grudo Surabaya	59
4.1.3	Kondisi bangunan Rusunawa Grudo Surabaya	60
4.2	Analisis Suhu Kota Surabaya	62
4.2.1	Komparasi suhu antar kota di Indonesia	62
4.2.2	Suhu netral Kota Surabaya	64
4.3	Analisis Visual	66
4.3.1	Pembayangan bangunan	66
4.3.2	Jendela	78
4.3.3	Ruang dan aktifitas	82
4.4	Analisis Data Pengukuran	84
4.4.1	Data pengukuran	84
4.4.2	Suhu udara	89
4.4.3	Kecepatan angin	92
4.5	Analisis Simulasi	95
4.5.1	Validasi	96
4.5.2	Hasil simulasi	100
4.6	Modifikasi Jendela	102
4.6.1	Dimensi jendela	104
4.6.2	Posisi jendela	117
4.6.3	Jenis jendela	130
4.6.4	Modifikasi jendela terpilih	143
4.7	Modifikasi orientasi jendela	146
4.8	Modifikasi <i>overhang</i> pada jendela	154
4.8.1	<i>Overhang</i> pada jendela dengan orientasi utara	155
4.8.2	<i>Overhang</i> pada jendela dengan orientasi selatan	166
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	177
5.1	Kesimpulan	177
5.2	Saran	179
	DAFTAR PUSTAKA	181
	LAMPIRAN	183

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kondisi iklim Kota Surabaya.....	12
Tabel 2.2	Pengaruh Angin terhadap Kenyamanan Ventilasi	15
Tabel 2.3	Kecepatan Angin terhadap Kenyamanan Vent ilasi	16
Tabel 2.4	Studi Terdahulu	36
Tabel 3.1	Variabel Penelitian	46
Tabel 3.2	Pengaturan Model Simulasi	51
Tabel 3.3	Pengaturan kondisi batas simulasi	53
Tabel 4.1	Validasi pembayangan pada <i>sketch up</i>	68
Tabel 4.2	Pembayangan Bangunan Pukul 08.00.....	69
Tabel 4.3	Pembayangan Bangunan Pukul 12.00.....	71
Tabel 4.4	Pembayangan Bangunan Pukul 16.00.....	73
Tabel 4.5	Pembayangan pada Pengukuran Suhu	77
Tabel 4.6	Kondisi Jendela Eksisting	79
Tabel 4.7	Kebutuhan Dimensi Jendela.....	81
Tabel 4.8	Gambaran Umum Waktu Aktifitas Berdasarkan Ruangnya	83
Tabel 4.9	Pengaturan Kondisi Batas Geometri Simulasi Eksisting	96
Tabel 4.10	Kondisi Batas pada Validasi Simulasi	97
Tabel 4.11	Validasi Simulasi	99
Tabel 4.12	Kondisi Jendela Eksisting	103
Tabel 4.13	Penyederhanaan Jendela untuk Simulasi Dimensi.....	105
Tabel 4.14	Alternatif Dimensi Jendela.....	105
Tabel 4.15	Kondisi Batas Geometri pada Simulasi Dimensi.....	106
Tabel 4.16	Alternatif Modifikasi Dimensi Jendela.....	107
Tabel 4.17	Selisih Suhu Modifikasi Dimensi terhadap Suhu Simulasi Eksisting.....	111
Tabel 4.18	Hasil Simulasi Angin Modifikasi Dimensi Jendela	112
Tabel 4.19	Selisih kecepatan angin alternatif modifikasi dimensi terhadap kecepatan angin hasil simulasi eksisting.....	116
Tabel 4.20	Perubahan Jendela untuk Simulasi Posisi	118
Tabel 4.21	Alternatif Posisi Jendela.....	118
Tabel 4.22	Data Kondisi Batas Simulasi Posisi	119
Tabel 4.23	Alternatif Modifikasi Posisi Jendela	119
Tabel 4.24	Selisih Suhu Modifikasi Posisi terhadap Suhu Hasil Simulasi	124



Tabel 4.25	Hasil Simulasi Angin Modifikasi Posisi Jendela	125
Tabel 4.26	Selisih kecepatan angin alternatif modifikasi posisi terhadap kecepatan angin hasil simulasi eksisting	129
Tabel 4.27	Perubahan Jendela untuk Simulasi jenis	131
Tabel 4.28	Alternatif jenis jendela	131
Tabel 4.29	Data Kondisi Batas Simulasi Jenis	132
Tabel 4.30	Alternatif Modifikasi Jenis Jendela	133
Tabel 4.31	Selisih Suhu Modifikasi Jenis terhadap Suhu Hasil Simulasi Eksisting ..	137
Tabel 4.32	Hasil Simulasi Angin Modifikasi Jenis Jendela	138
Tabel 4.33	Selisih Kecepatan Angin Modifikasi Jenis terhadap Kecepatan Angin Hasil Simulasi Eksisting	142
Tabel 4.34	Pengaturan Alternatif Orientasi	148
Tabel 4.35	Kondisi Batas Geometri Simulasi Orientasi	148
Tabel 4.36	Hasil Simulasi Modifikasi Orientasi	149
Tabel 4.37	Selisih suhu hasil simulasi orientasi dengan orientasi eksisting	153
Tabel 4.38	Hasil pembayangan orientasi terpilih pada sisi utara	156
Tabel 4.39	Gambar potongan alternatif modifikasi <i>overhang</i> sisi utara	161
Tabel 4.40	Kondisi Batas Geometri Simulasi <i>Overhang</i>	162
Tabel 4.41	Hasil simulasi modifikasi <i>overhang</i> sisi utara	163
Tabel 4.42	Selisih suhu pada alternatif modifikasi <i>overhang</i> pada sisi utara	165
Tabel 4.43	Hasil pembayangan orientasi terpilih pada sisi selatan	167
Tabel 4.44	Gambar potongan alternatif modifikasi <i>overhang</i> sisi selatan	172
Tabel 4.45	Kondisi Batas Geometri Simulasi <i>Overhang</i>	173
Tabel 4.46	Hasil simulasi modifikasi <i>overhang</i> sisi selatan	174
Tabel 4.47	Selisih suhu pada alternatif modifikasi <i>overhang</i> pada sisi selatan	176

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Diagram kerangka pemikiran.....	8
Gambar 2.1	Kebutuhan kecepatan angin untuk kenyamanan ventilasi	17
Gambar 2.2	Pergerakan matahari pada iklim panas lembab	18
Gambar 2.3	<i>Sunpath</i> untuk lokasi Kota Surabaya	19
Gambar 2.4	<i>Shading mask</i>	20
Gambar 2.5	Proyeksi SBH pada pembayang horizontal.....	21
Gambar 2.6	Proyeksi SBH pada pembayang horizontal.....	22
Gambar 2.7	Penentuan SBV dan SBH pada diagram <i>sunpath</i>	23
Gambar 2.8	Pengaruh orientasi jendela terhadap penggunaan energi bangunan.....	27
Gambar 2.9	Pengaruh orientasi terhadap distribusi angin dalam ruang	27
Gambar 2.10	Perubahan rata-rata suhu terkait rasio bukaan terhadap lantai.....	28
Gambar 2.11	Perbandingan kebutuhan energi terkait dimensi jendela terhadap rasio WWR.....	29
Gambar 2.12	Pengaruh dimensi <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> terhadap aliran udara ruangan	30
Gambar 2.13	Pengaruh peletakan jendela terhadap distribusi angin di dalam ruangan.....	30
Gambar 2.14	Posisi bukaan terhadap aliran udara.....	31
Gambar 2.15	Pengaruh posisi bukaan terhadap aliran angin.....	31
Gambar 2.16	Pengaruh jenis bukaan terhadap efektifitas udara yang masuk.....	32
Gambar 2.17	Jenis jendela menurut Lechner.....	32
Gambar 2.18	Pengaruh jenis jendela <i>awning</i> dan <i>hopper</i> terhadap pembelokan angin.....	33
Gambar 2.19	Pengaruh sudut jendela <i>jalousi</i> terhadap pembelokan angin	33
Gambar 2.20	Pengaruh peletakan overhang tepat diatas jendela terhadap aliran angin.....	34
Gambar 2.21	Peletakan overhang untuk mengarahkan angin ke zona manusia	34
Gambar 2.22	Kerangka teori.....	38
Gambar 3.1	Lokasi objek penelitian	42
Gambar 3.2	Fokus penelitian	42
Gambar 3.3	Denah Rusunawa Grudo Surabaya lt. 5	45
Gambar 3.4	Denah unit hunian nomor 50-9	45
Gambar 3.5	Diagram alir proses simulasi.....	50



Gambar 3.6	Geometri simulasi eksisting.....	52
Gambar 3.7	Geometri simulasi modifikasi	53
Gambar 3.8	Diagram alur penelitian	55
Gambar 3.9	Diagram alur modifikasi	56
Gambar 4.1	Lokasi stasiun BMKG di Kota Surabaya.....	57
Gambar 4.2	Rata-rata suhu tahunan Kota Surabaya 2010-2015.....	58
Gambar 4.3	Suhu bulanan Kota Surabaya 2010-2015.....	58
Gambar 4.4	Site plan Rusunawa Grudo	59
Gambar 4.5	Kondisi lingkungan rusunawa grudo	60
Gambar 4.6	Kondisi bangunan rusunawa grudo.....	60
Gambar 4.7	Denah Rusunawa Grudo Surabaya tipikal Lt. 2-5	61
Gambar 4.8	Kondisi ruang dalam rusunawa grudo	61
Gambar 4.9	Denah kamar hunian tipe 24	62
Gambar 4.10	Komparasi rata-rata suhu tahunan 2010-2015	64
Gambar 4.11	Suhu netral bulanan Kota Surabaya 2010-2015.....	65
Gambar 4.12	Suhu nyaman Kota Surabaya 2010-2015.....	66
Gambar 4.13	Site plan Rusunawa Grudo	67
Gambar 4.14	Hasil pengukuran suhu luar	76
Gambar 4.15	Pembayangan fasad kamar pada suhu tertinggi.....	78
Gambar 4.16	Tampak rusunawa grudo sisi barat	78
Gambar 4.17	<i>Keyplan</i> jendela pada unit kamar.....	79
Gambar 4.18	Denah unit hunian Rusunawa Grudo	83
Gambar 4.19	Titik pengukuran suhu	85
Gambar 4.20	Data pengukuran suhu	85
Gambar 4.21	Data pengukuran kecepatan angin	87
Gambar 4.22	Data pengukuran kelembaban udara.....	88
Gambar 4.23	Rangkuman data pengukuran suhu	89
Gambar 4.24	Perbandingan rata-rata suhu per jam terhadap suhu nyaman	90
Gambar 4.25	Rangkuman data pengukuran kecepatan angin.....	92
Gambar 4.26	Perbandingan rata-rata kecepatan angin per jam terhadap kenyamanan ventilasi.....	94
Gambar 4.27	Geometri simulasi eksisting.....	96
Gambar 4.28	Perbandingan suhu eksisting dan simulasi terhadap suhu nyaman.....	100
Gambar 4.29	Kontur suhu hasil simulasi pada suhu luar tertinggi dan terendah	101
Gambar 4.30	Pergerakan angin pada suhu tertinggi di luar.....	102



Gambar 4.31 Keyplan jendela modifikasi	103
Gambar 4.32 Keyplan jendela pada modifikasi dimensi jendela	105
Gambar 4.33 Geometri simulasi dimensi.....	106
Gambar 4.34 Hasil simulasi modifikasi dimensi	109
Gambar 4.35 Hubungan antara dimensi jendela dengan suhu	110
Gambar 4.36 Perbandingan kecepatan angin pada alternatif modifikasi dimensi jendela	114
Gambar 4.37 Hubungan antara dimensi dan kecepatan angin	115
Gambar 4.38 Jendela alternatif 7	117
Gambar 4.39 Keyplan jendela pada modifikasi posisi jendela	117
Gambar 4.40 Geometri simulasi posisi	119
Gambar 4.41 Hasil simulasi suhu modifikasi posisi	122
Gambar 4.42 Hubungan antara suhu dengan posisi jendela	123
Gambar 4.43 Perbandingan kecepatan angin pada alternatif modifikasi posisi jendela	127
Gambar 4.44 Hubungan alternatif posisi jendela terhadap kecepatan angin	128
Gambar 4.45 Jendela alternatif 7-1	130
Gambar 4.46 Keyplan jendela pada modifikasi jenis jendela	131
Gambar 4.47 Geometri simulasi jenis.....	132
Gambar 4.48 Hasil simulasi suhu alternatif jenis jendela.....	135
Gambar 4.49 Perbandingan antara suhu dengan sudut nako	136
Gambar 4.50 Perbandingan kecepatan angin pada alternatif modifikasi jenis jendela	140
Gambar 4.51 Perbandingan antara kecepatan angin terhadap sudut nako	141
Gambar 4.52 Jendela alternatif 7-1-8.....	143
Gambar 4.53 Potongan alternatif 7-1-8	143
Gambar 4.54 Perbandingan kontur suhu alternatif dengan simulasi eksisting	144
Gambar 4.55 Perbandingan kondisi suhu eksisting, simulasi eksisting, dan suhu nyaman Surabaya	145
Gambar 4.56 Kebutuhan kecepatan angin Rusunawa Grudo Surabaya	146
Gambar 4.57 Kondisi orientasi eksisting pada jendela	147
Gambar 4.58 Geometri jendela modifikasi terpilih	148
Gambar 4.59 Perbandingan hasil simulasi orientasi pada ruang tamu berdasarkan waktu	150
Gambar 4.60 Perbandingan hasil simulasi orientasi pada kamar tidur berdasarkan	



waktu.....	151
Gambar 4.61 Perubahan suhu kamar tidur pada simulasi orientasi.....	152
Gambar 4.62 Perubahan orientasi berdasarkan modifikasi orientasi terpilih	153
Gambar 4.63 Kondisi orientasi terpilih	154
Gambar 4.64 Diagram <i>sunpath</i> untuk orientasi utara.....	158
Gambar 4.65 Penentuan titik waktu diagram <i>sunpath</i> pada jendela sisi utara	159
Gambar 4.66 Penentuan SBV pada jendela sisi utara.....	160
Gambar 4.67 Proyeksi garis SBV pada jendela sisi utara	160
Gambar 4.68 Geometri simulasi <i>overhang</i>	162
Gambar 4.69 Perbandingan hasil simulasi <i>overhang</i> pada orientasi utara	164
Gambar 4.70 Potongan alternatif U2	165
Gambar 4.71 Diagram <i>sunpath</i> untuk orientasi selatan.....	169
Gambar 4.72 Penentuan titik waktu diagram <i>sunpath</i> pada jendela sisi selatan	170
Gambar 4.73 Penentuan SBV pada jendela sisi selatan	171
Gambar 4.74 Proyeksi garis SBV pada jendela sisi selatan	171
Gambar 4.75 Geometri simulasi <i>overhang</i>	173
Gambar 4.76 Perbandingan hasil simulasi <i>overhang</i> pada orientasi utara	175
Gambar 4.77 Potongan alternatif S1.....	176



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Gambar kerja Rusunawa Grudo Surabaya.....	183
Lampiran 1.1	Gambar <i>siteplan</i> Rusunawa Grudo Surabaya.....	184
Lampiran 1.2	Gambar denah lt. 1 Rusunawa Grudo Surabaya.....	185
Lampiran 1.3	Gambar denah lt. 2-5 Rusunawa Grudo Surabaya	186
Lampiran 1.4	Gambar potongan Rusunawa Grudo Surabaya.....	187
Lampiran 1.5	Gambar tampak barat Rusunawa Grudo Surabaya.....	188
Lampiran 1.6	Gambar tampak timur Rusunawa Grudo Surabaya	189
Lampiran 1.7	Gambar tampak selatan & utara Rusunawa Grudo Surabaya.....	190
Lampiran 2.	Lembar deteksi plagiasi.....	191
Lampiran 3.	Berita acara skripsi	192



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia dengan menduduki peringkat kota terbesar ke 2 setelah ibu kota. Kondisi iklim Kota Surabaya merupakan tropis panas-lembab dengan suhu rata-rata mencapai 34,8 °C. Standar kenyamanan suhu manusia menurut SNI adalah 20,5 °C - 21,7 °C, sehingga kondisi suhu Kota Surabaya cukup jauh dari kondisi nyaman. Kondisi suhu pada lingkungan memberi pengaruh besar terhadap kondisi suhu dalam ruangan. Meskipun tidak mutlak, namun kondisi suhu dalam ruangan memiliki hubungan dengan kondisi suhu lingkungan sehingga perlu dilakukan pengendalian suhu dalam bangunan agar suhu dalam bangunan dapat lebih rendah dari suhu luar ruangan dan mencapai kenyamanan termal.

Bangunan dapat melakukan pengendalian termal melalui pendinginan alami maupun *air conditioner* untuk mendapatkan kondisi termal yang diinginkan oleh penghuni. Penggunaan *air conditioner* mampu menghasilkan kondisi termal yang konstan, sedangkan pada bangunan dengan ventilasi alami kondisi termal bangunan memiliki kemiripan dengan kondisi termal lingkungan (Brager & de Gear, 2000). Pencapaian kenyamanan termal menjadi lebih mudah dengan *air conditioner*, namun konsumsi energi bangunan untuk pengondisian udara dapat mencapai 50% energi bangunan. Penggunaan *air conditioner* ini perlu diminimalisir dengan pengoptimalan pendinginan alami pada bangunan, sehingga dapat mengurangi penggunaan energi pada bangunan.

Kota Surabaya sendiri memiliki jumlah penduduk yang meningkat tiap tahunnya. Kebutuhan hunian pun meningkat, sehingga pemerintah melakukan pembangunan rusunawa, hunian vertikal dengan harga terjangkau untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal masyarakat. Penelitian sebelumnya mengkaji bahwa penggunaan energi listrik pada bangunan rusunawa ini meningkat sebesar 18% per tahun, padahal target pemerintah adalah peningkatan energi sebesar 13% per tahun (Daryanto & Utama, 2012). Kondisi ini menunjukkan bahwa perlu adanya upaya penghematan energi pada rusunawa. Pengendalian kondisi suhu melalui pendinginan alami selain

membantu menurunkan suhu dalam bangunan juga mampu menurunkan 50%-70% energi pada bangunan (Kamal, 2012). Hal ini dapat menjadi solusi untuk mencapai kenyamanan termal sekaligus penghematan energi.

Kota Surabaya telah melakukan program pembangunan rumah susun sederhana (rusunawa) selama beberapa tahun terakhir sebagai solusi penataan pemukiman padat dalam kota. Berdasarkan data data rumah susun Jawa Timur 2012 dan rekapitulasi rumah susun 2015 oleh Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah telah terbangun setidaknya rumah susun di 23 lokasi di Surabaya. Pembangunan pertama dilakukan pada tahun 1975 di Urip Sumoharjo. Rencana pembangunan rusunawa selanjutnya telah masuk dalam Rencana Strategi Dinas PU dan Permenpera 2014-2019.

Rencana “Menuju Kota Tanpa Kumuh 2019” dilakukan Pemerintah Surabaya melalui pembangunan rumah susun sederhana sewa (rusunawa) bagi masyarakat berpenghasilan rendah. Upaya peningkatan kualitas kota serta penataan pemukiman Surabaya pun mendapat pujian dari Menteri PU, karena telah berhasil merevitalisasi kawasan Boezem Morokrembangan. Kawasan ini yang dulunya merupakan kawasan kumuh dan kotor kini menjadi bersih dan tertata rapi. Pemerintah Kota Surabaya terus melakukan upaya pembangun rusunawa dengan melengkapi fasilitas pendukung berupa PAUD, taman bacaan, puskesmas pembantu, taman bermain, maupun *Board Learning Center* (BLC) (Surabaya.go.id).

Alfata *et al.* (2015), mengkaji rusunawa yang dibangun sebelum tahun 2008 memiliki kondisi suhu lebih baik daripada rusunawa setelah tahun 2008. Suhu bangunan dikondisikan menggunakan ventilasi alami sebagai pendinginan alami. Ventilasi alami pada rusunawa sebelum tahun 2008 mampu mengurangi suhu lingkungan sebesar 3.1-3.8°C. Rusunawa setelah tahun 2008 yang juga menggunakan ventilasi alami, justru memiliki kondisi suhu bangunan yang tetap sama bahkan lebih tinggi dari kondisi suhu lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan ventilasi alami untuk pendinginan pada rusunawa setelah tahun 2008 tidak berhasil. Rusunawa setelah tahun 2008 yang diteliti tersebut adalah Rusunawa Grudo Surabaya. Rusunawa ini merupakan salah satu rusun percontohan di Kota Surabaya. Kondisi rusunawa Grudo yang memiliki suhu ruang dalam lebih tinggi dari ruang luar ini perlu dikaji kembali dalam upaya menurunkan suhu dalam bangunan. Hal ini dilakukan agar penggunaan energi untuk pengendalian udara pada rusunawa dapat diminimalisir.

Salah satu upaya untuk menurunkan suhu dalam bangunan tanpa menggunakan banyak energi dapat dilakukan dengan pendinginan alami. Pendinginan alami selain menurunkan suhu dalam bangunan, juga mampu mengkondisikan suhu pada permukaan kulit manusia menggunakan angin dengan mencapai kenyamanan ventilasi apabila suhu bangunan tetap tidak mencapai kondisi nyaman. Pendinginan alami yang paling sesuai pada kondisi iklim tropis panas lembab adalah melalui ventilasi alami (Lechner, 2015). Bukaannya menjadi peran penting sebagai ventilasi sumber masuknya angin dan radiasi panas matahari. Masuknya angin dan radiasi panas ke dalam bangunan memengaruhi kondisi suhu dalam ruangan. Salah satu jenis bukaan sebagai ventilasi alami adalah jendela.

Upaya penurunan suhu untuk mencapai kondisi nyaman dapat dilakukan melalui pendekatan desain jendela sebagai pendingin alami. Jendela dari segi desain (dimensi, posisi, dan jenis), orientasi terhadap matahari dan desain tirisasi jendela mempengaruhi kinerja jendela terhadap kondisi suhu dan kecepatan angin di dalam bangunan. Kinerja jendela sebagai pendingin alami diharapkan dapat menjadi solusi pada Rusunawa Grudo untuk menurunkan suhu di dalam bangunan. Jendela juga berfungsi sebagai ventilasi yang dapat memberi penyegaran pada bangunan dan permukaan kulit manusia. Kecepatan angin yang tepat pada bangunan dapat menghasilkan kenyamanan ventilasi pada bangunan. Kinerja jendela dengan kondisi iklim Surabaya diharapkan mampu menurunkan suhu bangunan dan mencapai kenyamanan ventilasi bagi penghuninya.

1.2 Identifikasi Masalah

Berikut ini adalah identifikasi masalah yang diangkat pada penelitian, antara lain.

1. Bangunan yang berada pada kondisi iklim Kota Surabaya membutuhkan pengendalian suhu untuk menurunkan suhu didalam bangunan
2. Pengendalian suhu dalam bangunan menggunakan *air conditioner* yang menghabiskan 50% konsumsi energi bangunan perlu diminimalisir dengan menggunakan pendinginan alami yang optimal
3. Hasil pembangunan rusunawa di Surabaya menunjukkan penggunaan konsumsi energi yang meningkat sebesar 18% per tahun, hal ini tidak sesuai dengan pemerintah yang menargetkan konsumsi energi sebesar 13% per tahun
4. Kondisi suhu pada rusunawa setelah tahun 2008, yaitu Rusunawa Grudo, memiliki suhu yang lebih tinggi dari suhu lingkungan.

5. Pendinginan alami pada Rusunawa Grudo perlu diterapkan secara efektif melalui kinerja jendela dengan kondisi iklim Kota Surabaya.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian adalah bagaimana kinerja jendela sebagai pendingin alami dengan kondisi iklim Kota Surabaya untuk menurunkan suhu dan mencapai kenyamanan ventilasi pada unit hunian Rusunawa Grudo Surabaya?

1.4 Pembatasan Masalah

Batas lingkup pembahasan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada salah satu unit hunian Rusunawa Grudo, Kota Surabaya yang merupakan fungsi utama pada bangunan rusunawa. Salah satu unit hunian dipilih karena tipe unit hunian pada Rusunawa Grudo hanya terdiri dari satu tipe, yaitu tipe 24.
2. Pendingin alami yang dimodifikasi pada unit hunian berupa bukaan jendela yang menjadi *inlet* dan *outlet* udara dalam ruangan. Jendela dipilih sebagai alat untuk melakukan modifikasi karena jendela merupakan salah satu sumber masuknya panas dan udara ke dalam bangunan. Jendela yang menjadi *inlet* dan *outlet* udara lebih mempengaruhi kondisi suhu bangunan dibandingkan jendela mati, karena mampu memasukkan udara yang berperan dalam ventilasi bangunan.
3. Kualitas pendinginan alami ditentukan berdasarkan suhu dan kecepatan angin yang dihasilkan dalam ruang. Suhu dipilih sebagai parameter pendinginan alami karena memiliki peran yang dominan dalam mempengaruhi kenyamanan termal bangunan. Kecepatan angin dalam ruang mempengaruhi kondisi ventilasi pada bangunan. Ventilasi yang baik dapat mendinginkan bangunan secara alami dengan bantuan kecepatan angin yang masuk ke dalam ruangan.
4. *Software* simulasi yang digunakan untuk menentukan kriteria desain jendela adalah ANSYS 14.5. *Software* ANSYS merupakan program berbasis *computational fluid dynamic* (CFD) yang mampu melakukan perhitungan untuk menghasilkan kondisi suhu dan kecepatan angin di dalam maupun di luar bangunan. *Software* ini telah banyak digunakan pada penelitian-penelitian yang mengkaji mengenai penghawaan, kenyamanan termal, dll.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kondisi eksisting jendela unit hunian pada bangunan Rusunawa Grudo Surabaya
2. Mengetahui kriteria desain jendela sebagai pendingin alami yang sesuai pada iklim Kota Surabaya dalam upaya penurunan suhu dan pencapaian kenyamanan ventilasi pada unit hunian Rusunawa Grudo Surabaya

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Akademisi

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi studi mengenai pendinginan alami melalui pendekatan desain jendela dalam upaya untuk menurunkan suhu ruangan dan mencapai kenyamanan ventilasi.

2. Masyarakat

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi terkait jenis jendela yang dapat digunakan oleh masyarakat untuk mencapai kenyamanan ventilasi.

3. Pemerintah

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemerintah terkait upaya pengurangan penggunaan AC dengan memakai jendela untuk meminimalisir penggunaan energi.

1.7 Sistematika Kajian

Berikut ini adalah sistematika kajian yang dilakukan

1. Bab I

Bab I merupakan pendahuluan. Pendahuluan ini terdiri dari latar belakang, identifikasi masalah, tujuan, manfaat, sistematika kajian dan kerangka pemikiran. Latar belakang menguraikan tentang isu awal permasalahan bahwa penggunaan energi pada rusunawa melebihi target pemerintah dan kondisi suhu rusunawa dengan ventilasi alami pada saat ini memiliki suhu yang lebih tinggi dari suhu luar sehingga perlu adanya upaya penurunan suhu dalam mencapai kenyamanan tanpa menggunakan energi yang besar. Identifikasi masalah yang ditemukan adalah pendingin alami menggunakan jendela pada Rusunawa Grudo masih belum berhasil menurunkan suhu dalam bangunan agar kenyamanan penghuni tercapai. Tujuan penelitian ini adalah melakukan upaya penurunan suhu dan

mencapai kenyamanan ventilasi pada Rusunawa Grudo melalui kinerja jendela dengan kondisi iklim Surabaya. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini hasil penelitian dapat berguna bagi masyarakat untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela dalam penurunan suhu dan pencapaian kenyamanan ventilasi dan dapat membantu pemerintah dalam upaya penghematan energi rusunawa melalui penggunaan jendela. Sistematika kajian kemudian dijabarkan beserta kerangka pemikirannya.

2. Bab II

Bab II merupakan tinjauan pustaka. Tinjauan pustaka ini berisi teori dan standar yang dapat digunakan ketika menganalisis data. Teori dan standar ini di ambil dari buku literatur, jurnal, peraturan pemerintah dan internet. Teori yang ditinjau merupakan teori mengenai pemahaman terhadap kondisi iklim yang membantu dalam menganalisis data iklim yang ada. Teori mengenai kenyamanan suhu dan ventilasi serta pengendaliannya melalui pendinginan juga ditinjau untuk mengetahui konsep pendinginan alami dan parameter kualitasnya. Teori mengenai faktor-faktor desain jendela yang berpengaruh terhadap suhu dan angin ditinjau untuk diketahui kriteria jendela yang efektif sebagai pendingin alami. Teori mengenai standar rumah susun sederhana (rusunawa) yang telah diatur pemerintah untuk digunakan sebagai parameter kondisi eksisting bangunan, baik ruang dalam maupun elemen bangunan berupa jendela terkait penghawaan. Studi penelitian terdahulu yang membahas topik sejenis juga dikaji sebagai acuan untuk melakukan penelitian saat ini.

3. Bab III

Bab III merupakan metode penelitian. Metode umum penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Pengumpulan data pada penelitian dilakukan melalui pengukuran lapangan, observasi lapangan, dokumentasi, dan tinjauan pustaka. Data yang dikumpulkan berupa data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan adalah data fisik bangunan dan data sekunder yang digunakan adalah data suhu dan kecepatan angin dari penelitian sebelumnya serta teori dari literatur. Metode analisis data yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif dan kualitatif serta metode eksperimental. Metode deskriptif kuantitatif digunakan untuk menghitung suhu nyaman Kota Surabaya yang dijadikan parameter untuk menentukan kualitas pendingin serta selisihnya dengan suhu hunian eksisting dan modifikasi. Metode deskriptif kualitatif digunakan untuk menguraikan



identifikasi objek dan analisis visual terkait kondisi eksisting. Kondisi eksisting di lapangan kemudian dicari kesesuaiannya dengan teori dan standar. Ketidakesuaian kondisi dan hasil tinjauan pustaka menjadi acuan untuk melakukan simulasi. Metode eksperimental digunakan ketika melakukan simulasi dengan berbagai alternatif modifikasi kondisi eksisting. Hasil analisis data kemudian disintesis untuk menjawab permasalahan penelitian secara deskriptif.

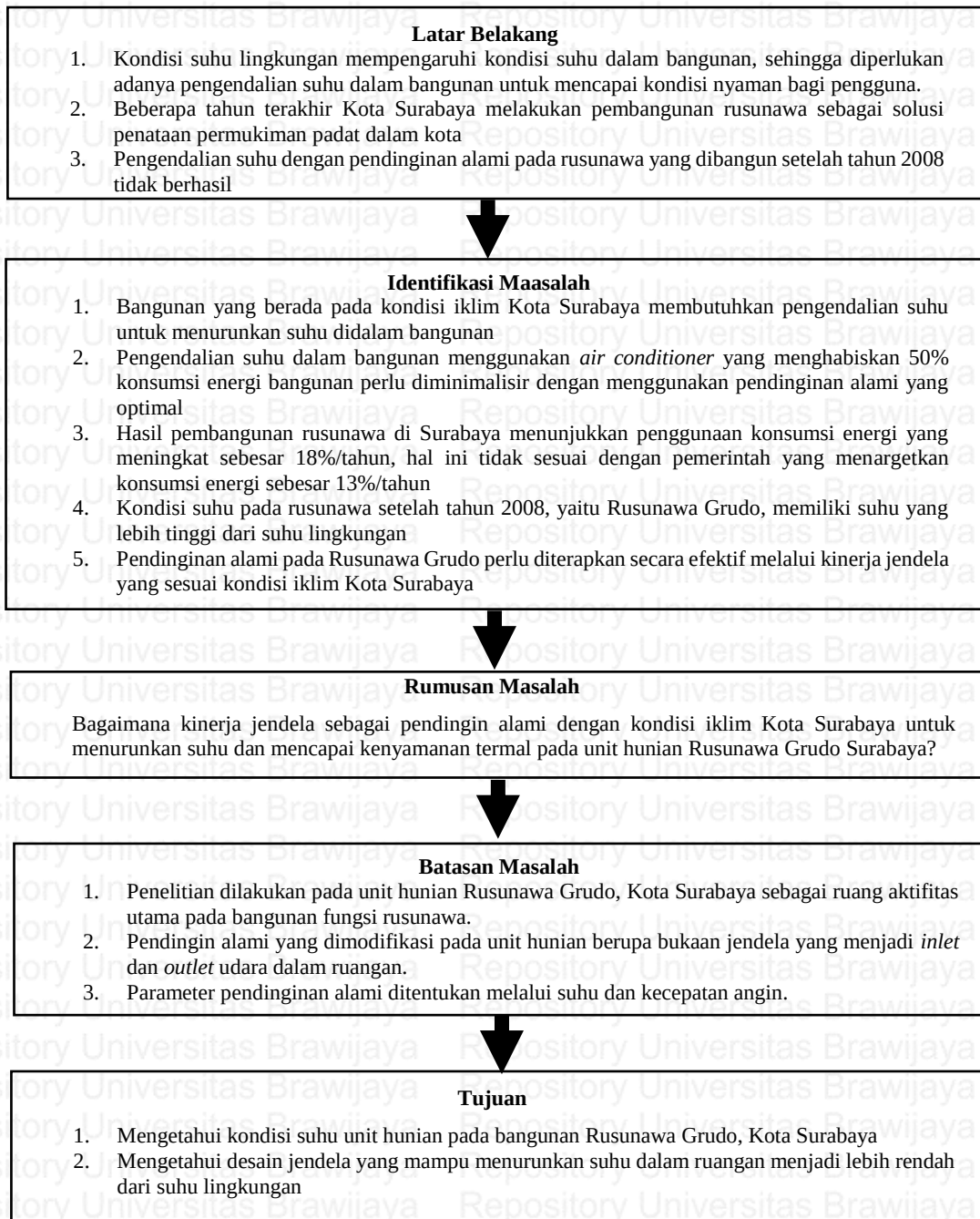
4. Bab IV

Bab IV merupakan hasil dan pembahasan. Hasil dan pembahasan berisi hasil pengumpulan data yang kemudian dianalisis satu persatu. Analisis yang dilakukan adalah analisis suhu Kota Surabaya terkait kenyamanan suhu rata-rata bulanan Kota Surabaya. Analisis selanjutnya merupakan analisis visual dimana kondisi eksisting dijabarkan dan dibandingkan dengan kajian pustaka yang telah dilakukan. Data pengukuran berupa suhu dan kecepatan angin dari penelitian sebelumnya juga dianalisis apakah sudah sesuai dengan kondisi nyaman. Ketidakesuaian yang ditemukan kemudian menjadi acuan untuk melakukan modifikasi. Keberhasilan modifikasi diketahui melalui hasil simulasi. Hasil simulasi dianalisis untuk diketahui alternatif mana yang menghasilkan suhu terendah. Hasil simulasi modifikasi juga dikaitkan dengan teori yang sudah dikaji. Keseluruhan analisis kemudian ditarik kesimpulan untuk menjawab permasalahan penelitian.

5. Bab V

Bab V merupakan kesimpulan dan saran. Kesimpulan berisi tentang jawaban dari permasalahan yang telah dikaji pada bab hasil dan pembahasan. Kesimpulan dari tiap analisis dirangkum dan diuraikan secara deskriptif. Saran berisi tentang masukan dari hasil analisis kepada pihak tertentu. Saran dapat berupa kesalahan ataupun kekurangan penelitian agar dapat ditinjau kembali kedepannya.

1.8 Kerangka Pemikiran



Gambar 1.1. Diagram kerangka pemikiran



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Iklim

Iklim adalah integrasi antara waktu dan kondisi fisik lingkungan atmosfer berdasarkan karakteristik letak geografik (Koenigsberger *et al.*, 2013). Iklim sendiri dibagi menjadi 2 kategori berdasarkan ruang lingkungannya, yaitu iklim makro dan iklim mikro. Iklim makro adalah iklim yang berada pada ruang lingkup global, ruang lingkup regional, dan ruang lingkup lokal. Hal ini terkait dengan peristiwa meteorologis pada atmosfer dan permukaan bumi dalam lingkup daerah yang luas. Iklim mikro adalah iklim yang berada pada lapisan udara dekat permukaan bumi dengan ruang lingkup terbatas, seperti ruang pada bangunan dan ruang di sekitar bangunan. (Darmawan, 2008)

Iklim ini sendiri memiliki beberapa unsur di dalamnya. Unsur-unsur ini masing-masing memiliki pengaruh yang berbeda terhadap lingkungan maupun manusia. Pengaruh tersebut dibagi menjadi 3 menurut Lippsmeier (1994), yaitu pengaruh terhadap kenyamanan dan kondisi manusia, pengaruh terhadap keselamatan bangunan, dan pengaruh terhadap kerusakan bangunan dan pelapukan bahan bangunan lebih dini. Berikut ini adalah unsur-unsur iklim tersebut yang dikelompokkan berdasarkan pengaruhnya.

1. Unsur iklim yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kondisi mental dan fisik manusia, antara lain radiasi matahari, kesilauan, suhu, curah hujan, kelembaban udara, gerakan udara atau angin, dan pencemaran udara.
2. Unsur iklim yang berhubungan dengan keselamatan bangunan, antara lain gempa bumi, badai, hujan lebat dan banjir, serta gelombang pasang dan biologis.
3. Unsur iklim yang dapat menyebabkan kerusakan bangunan dan pelapukan bahan bangunan lebih dini, antara lain faktor keselamatan bangunan, intensitas radiasi matahari yang kuat, kelembaban udara dan kondensasi yang tinggi, badai debu dan pasir, serta kandungan garam pada udara.

2.1.1. Iklim tropis

Iklim tropis adalah iklim dimana panas merupakan permasalahan utama dalam tiap tahunnya, sehingga diperlukan upaya untuk melakukan pendinginan, rata-rata suhu tiap tahunnya tidak kurang dari 20° C (Koenigsberger *et al.*, 2013). Iklim tropis dibagi menjadi dua klasifikasi bagian wilayah lainnya, yakni iklim tropis kering dan iklim tropis lembab. Iklim tropis terbagi menjadi dua berdasarkan kondisi geografis dan keadaan iklim pada daerah masing - masing. Kondisi iklim tropis kering ditandai dengan adanya padang pasir yang dominan diikuti oleh munculnya stepa dan savanna kering hujan yang turun lebat tiba-tiba, kondisi curah hujan pada umumnya minim dan kondisi suhu pada siang hari tinggi menyebabkan potensi penguapan yang tinggi. Hal ini berbeda dengan kondisi iklim tropis lembab yang ditandai dengan adanya savana lembab, temperatur udara yang sama di tiap tahunnya dan kelembaban udara yang tinggi (Lippsmeier, 1994).

Iklim tropis lembab atau disebut juga dengan iklim panas lembab berada di daerah sekitar garis khatulistiwa pada posisi 15° LU – 15° LS. Kondisi iklim ini tidak memiliki variasi musim yang banyak, dalam setahun hanya ada dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Iklim tropis kering atau disebut juga dengan iklim panas kering berada di daerah dengan posisi 15° LU – 30° LU dan 15° LS – 30° LS. Kondisi iklim ini juga tidak memiliki variasi musim, hanya ada musim panas dan musim dingin dalam setahun (Koenigsberger *et al.*, 2013).

2.1.2. Iklim tropis lembab

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di daerah iklim tropis. Hal ini dapat dilihat dari letak astronomis Indonesia yang berada di garis lintang 11° LU - 6° LS dan 95° - 141° BT. Lokasi Indonesia secara geografis cukup strategis, yaitu diapit oleh dua samudra dan dua benua. Indonesia termasuk pada golongan daerah dengan iklim tropis lembab karena masih berada dalam posisi 15° LU – 15° LS. Kondisi suhu di Indonesia berkisar antara 26° - 38° C dimusim kemarau, dan 20°- 29° C di musim hujan. Kadar kondisi kelembapan berkisar antara 40 – 70 % di musim kemarau dan 80 – 100% di musim hujan. Radiasi dari matahari pada wilayah tropis lembab sangat tinggi dan membuat kondisi kurang nyaman. Curah hujan di Indonesia cukup tinggi, yaitu mencapai 3000 mm/tahun. Indonesia memiliki tingkat kelembaban yang tinggi namun tidak dengan kecepatan anginnya. Kecepatan angin pada wilayah ini tergolong sangat rendah, yakni hanya berkisar 5m/detik.

Permasalahan yang sering terjadi pada daerah iklim tropis lembab adalah wilayah ini memiliki kondisi panas yang tidak menyenangkan (Lippsmeier, 1994). Kecepatan angin yang cenderung lambat membuat penguapan yang terjadi minim, hal ini mempersulit penurunan suhu melalui penguapan. Perlindungan dari radiasi panas dan curah hujan yang tinggi juga diperlukan agar penghuni merasa nyaman. Keberadaan serangga di sekitar juga cukup mengganggu. Bangunan yang tanggap terhadap iklim menjadi penting untuk mencapai kenyamanan bagi penghuni.

Bangunan yang tanggap terhadap iklim dirancang dengan memperhatikan kondisi lingkungannya. Kondisi yang perlu diperhatikan dapat diketahui melalui data terkait pola perubahan harian, bulanan bahkan tahunan. Hal ini dilakukan untuk mencapai kondisi nyaman penghuni. Berikut ini adalah data mengenai iklim tropis lembab, antara lain (Soegijanto, 1998).

1. Temperatur udara;
 - a. Maksimum rata-rata adalah antara 27°C - 32°C
 - b. Minimum rata-rata adalah antara 20°C - 23°C
 - c. Perubahan temperatur di harian sekitar 8°C, perubahan tahunannya juga kecil
2. Kelembaban udara rata-rata adalah 75% - 80%
3. Curah hujan selama setahun antara 1000mm – 5000mm
4. Kondisi langit pada umumnya berawan, dengan jumlah awan antara 60% - 90%
5. *Luminance* langit untuk langit yang seluruhnya tertutup awan tipis cukup tinggi, ialah dapat mencapai lebih dari 7000 candela / m², sedangkan yang seluruhnya tertutup awan tebal sekitar 850 candela / m²
6. Radiasi matahari global harian rata-rata bulanan sekitar 400 Watt / m², dengan perbedaan setiap bulanan-nya kecil
7. Kecepatan angin rata-rata sekitar 2 – 4m / detik

2.1.3 Kondisi iklim Kota Surabaya

Kota Surabaya merupakan ibu kota provinsi Jawa Timur. Surabaya terletak diantara 112° 36' – 122° 54' bujur timur dan 7° 21' lintang selatan. Batas wilayah Kota Surabaya antara lain yaitu, Selat Madura pada sisi utara dan sisi timur, Kabupaten Sidoardjo pada sisi selatan, dan Kabupaten Gresik pada sisi barat. Kota Surabaya memiliki 3 stasiun pengamat meteorology, yaitu Stasiun Perak I dan Perak II pada sisi utara serta Stasiun Juanda pada sisi selatan. Stasiun tersebut mencatat

seluruh kondisi iklim baik suhu, kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, maupun curah hujan.

Tabel 2.1 Kondisi Iklim Kota Surabaya

Bulan	Kelembaban (%)		Kecepatan angin (knot)			Suhu (°C)	
	Maks.	Min.	Arah	Maks.	Rata-rata	Maks.	Min.
Januari	91	58	Barat laut	25	7	33,5	25,3
Februari	93	59	Utara	25	5	33,8	24,9
Maret	91	59	Utara	22	5	33,4	25,2
April	92	61	Utara	22	5	33,8	25,5
Mei	87	55	Utara	18	5	34	25,6
Juni	89	49	Timur	22	7	34,3	24,7
Juli	85	50	Timur	27	9	33,2	24,3
Agustus	84	48	Timur	24	9	33,4	24,2
September	81	42	Tenggara	25	10	34,2	25,5
Oktober	83	40	Timur-tenggar	25	10	35,5	25,8
November	83	45	Utara	21	7	36,5	27,1
Desember	88	55	Selatan	24	6	34,8	26
Rata-rata	87,2	51,75		23,3	7,1	34,2	25,3

Sumber : Stasiun Meteorologi Perak I (2015, dalam surabayakota.bps.go.id)

Rata-rata suhu di Kota Surabaya adalah 27,6° C – 30,8° C. Rata-rata suhu tertinggi berdasarkan BMKG berada pada bulan November, sedangkan rata-rata suhu terendah berada pada bulan Juli. Hasil pengukuran pada stasiun pengamatan meteorology menunjukkan bahwa rata-rata suhu pada Stasiun Juanda lebih rendah daripada Stasiun Perak I dan II, sehingga dapat diketahui bahwa Surabaya bagian selatan memiliki suhu lebih rendah daripada bagian utara.

Kelembaban udara rata-rata di Surabaya berkisar antara 26%-100%. Kelembaban terendah berada pada bulan November dan kelembaban tertinggi berada pada bulan Desember. Kecepatan angin rata-rata mencapai 6,4 – 20,3 knot dengan arah angin dominan berasal dari arah timur. Pergerakan angin berubah-ubah selama satu tahun. Arah angin pada bulan januari berasal dari barat, sedangkan pada bulan Februari, Maret, April, dan Desember angin datang dari arah barat-barat laut. Angin datang dari arah timur pada bulan Mei, Juni, Juli, Agustus, September dan Oktober, kemudian pada bulan November angin datang dari arah timur-barat. Musim kemarau terjadi pada bulan Mei-Oktober dan musim hujan terjadi pada bulan November-April. Rata-rata curah hujannya adalah 165,3 mm dan berada di atas 200 mm pada musim hujan (Surabaya.go.id).

2.2 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal terjadi ketika suhu tubuh manusia berada pada rentang tertentu dimana kelembaban permukaan kulit rendah dan usaha manusia dalam menjaga kondisi suhu tubuh tetap kecil (Lechner, 2015). Kondisi kenyamanan tiap manusia berbeda dipengaruhi oleh aktifitas yang dilakukan dan pakaian yang digunakan. Kenyamanan ini juga dipengaruhi faktor dari luar berupa kondisi termal lingkungan. Kondisi termal lingkungan ini dibentuk oleh beberapa faktor lingkungan, yaitu suhu, kecepatan angin, kelembaban udara (Satwiko, 2004).

Berikut ini adalah pengaruh yang diberikan oleh faktor lingkungan terhadap kondisi termal lingkungan.

1. Suhu.

Suhu dibagi menjadi dua jenis, yaitu suhu udara dan rata-rata suhu permukaan (*mean radiant temperature*, MRT). Suhu udara merupakan factor dominan kondisi termal. Suhu udara menentukan tingkat pelepasan panas ke udara, umumnya melalui konveksi. Aliran panas akan berbalik pada kondisi suhu di atas 37°C dan menyebabkan tubuh menerima panas dari udara. Rata-rata suhu permukaan ruang. Rata-rata suhu permukaan ruang adalah suhu rata-rata pada permukaan elemen sekitar yang hanya dapat diukur melalui *black globe thermometer*. Rata-rata suhu permukaan ruang sebaiknya dijaga agar tidak terlalu berbeda dengan suhu udara untuk mencapai kenyamanan (Lechner, 2015).

2. Kecepatan angin.

Angin merupakan udara bergerak yang dipengaruhi oleh perbedaan tekanan dan suhu. Kecepatan angin mempengaruhi tingkat pelepasan panas melalui konveksi dan evaporasi (Lechner, 2015). Kecepatan angin juga dapat mengurangi koefisien pertukaran panas pada permukaan kulit dan pakaian serta menciptakan efek pendinginan secara psikologis (Szokolay, 2014).

3. Kelembaban udara.

Evaporasi pada kelembaban kulit manusia secara dominan dipengaruhi oleh kelembaban udara. Udara yang kering dapat menyerap kelembaban pada kulit dan evaporasi secara cepat dapat mendinginkan tubuh secara optimal. Sebaliknya, kondisi udara yang lembab menyebabkan udara menyimpan seluruh uap air dan pada tingkat 100% pendinginan secara evaporasi pun terhenti (Lechner, 2015).

Tingkat kelembaban udara yang paling efektif sebagai medium pendinginan alami pada iklim tropis adalah sebesar 35%-60% (Koenigsberger *et al.*, 2013).

Suhu udara dan kecepatan angin menjadi fokus penelitian dalam mencapai kenyamanan termal melalui pendinginan alami. Suhu udara dan kecepatan angin memiliki tingkat kenyamanannya masing-masing. Tingkat kenyamanan tersebut menjadi parameter kualitas pendinginan alami pada suatu lingkungan.

2.2.1 Kenyamanan suhu

Tubuh manusia memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan sekitarnya, terutama dalam menjaga keseimbangan kondisi suhu tubuh. Kondisi lingkungan yang panas akan menyebabkan tubuh manusia melepaskan kalor dengan cara memproduksi keringat, sehingga permukaan kulit mengalami penyejukan melalui evaporasi. Kemampuan beradaptasi ini tidak hanya melalui kondisi fisiologis, namun juga melalui psikologis dengan cara menerima kondisi dominan yang dialami sebagai kondisi netral (Szokolay, 2014).

Manusia mampu beradaptasi untuk menerima kondisi suhu lingkungan dalam jangka waktu tertentu baik bulanan maupun musiman sebagai suhu netral. Beberapa persamaan suhu netral telah ditemukan melalui penelitian-penelitian terdahulu, diantaranya adalah persamaan menurut Humphreys (1978), Auliciems (1981), dan Szokolay (2014). Humphreys telah banyak meneliti mengenai kenyamanan termal dan menghasilkan Persamaan (2-1) (Szokolay, 2014).

$$T_n = 11.9 + 0.534 T_{o.av} \quad (2-1)$$

dengan :

T_n = suhu netral (°C)

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

Humphreys merupakan penggagas pertama persamaan suhu netral. Persamaan tersebut kemudian disempurnakan kembali oleh Auliciems dan menghasilkan Persamaan (2-2). Penelitian berikutnya pun terus dilakukan, namun persamaan yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan persamaan Auliciems. Berikut ini adalah persamaan suhu netral tersebut (Szokolay, 2014).



$$T_n = 17.6 + 0.31 T_{o.av} \quad (2-2)$$

dengan :

$$T_n = \text{suhu netral } (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{o.av} = \text{suhu rata-rata per bulan } (^{\circ}\text{C})$$

Szokolay (2014) menyatakan bahwa suhu netral berubah mengikuti kondisi suhu rata-rata bulanan pada suatu lingkungan tertentu, sehingga muncullah Persamaan (2-3).

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_{o.av} \quad (2-3)$$

dengan :

$$T_n = \text{suhu netral } (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{o.av} = \text{suhu rata-rata bulanan } (^{\circ}\text{C})$$

Rentang kondisi suhu nyaman yang dapat diterima oleh manusia disebut sebagai zona nyaman. Batas suhu pada zona nyaman yang dapat diterima 90% ditentukan melalui suhu netral, yaitu pada rentang 5° . Zona nyaman tersebut berkisar di atas dan di bawah suhu netral, yaitu antara $(T_n - 2,5)^{\circ}\text{C}$ sampai $(T_n + 2,5)^{\circ}\text{C}$. Zona nyaman ini dapat digunakan untuk menentukan batas suhu nyaman pada suatu lingkungan (Szokolay, 2014).

2.2.2 Kenyamanan ventilasi

Kecepatan angin memberikan pengaruh terhadap kenyamanan melalui penyejukan terhadap permukaan kulit manusia. Suhu lingkungan yang panas menyebabkan tubuh mengeluarkan keringat untuk melepaskan panas. Pergerakan angin dapat menimbulkan penguapan pada permukaan kulit tersebut, sehingga terjadi penurunan suhu pada permukaan kulit. Perbedaan kecepatan angin memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kenyamanan termal termasuk efek penyejarannya. Berikut ini merupakan pengaruh yang diberikan oleh kecepatan angin (Frick & Mulyani, 2006).

Tabel 2.2 Pengaruh Angin terhadap Kenyamanan Ventilasi

Kecepatan angin bergerak	Pengaruh atas kenyamanan	Efek penyejukan (pada suhu 30°C)
$< 0,25 \text{ m/s}$	Tidak dapat dirasakan	0°C
$0,25 - 0,5 \text{ m/s}$	Paling nyaman	$0,5-0,7^{\circ}\text{C}$
$0,5 - 1 \text{ m/s}$	Masih nyaman, tetapi gerakan udara dapat dirasakan	$1-1,2^{\circ}\text{C}$
$1-1,5 \text{ m/s}$	Kecepatan maksimal	$1,7-2,2^{\circ}\text{C}$
$1,5-2 \text{ m/s}$	Kurang nyaman, berangin	$2,0-3,3^{\circ}\text{C}$
$> 2 \text{ m/s}$	Kesehatan penghuni terpengaruh oleh kecepatan angin yang tinggi	$2,3-4,2^{\circ}\text{C}$

Sumber: Frick & Mulyani (2006)

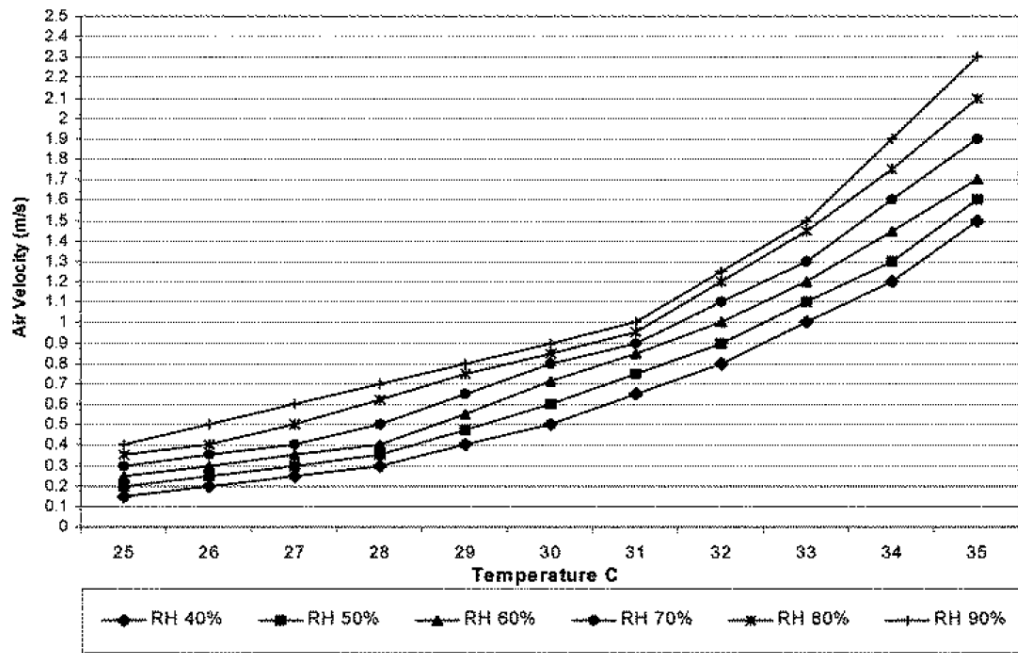
Rentang kecepatan angin yang nyaman menurut Frick & Mulyani (2006) berada pada rentang 0,25-1,5 m/s. Kecepatan >1,5 m/s pada ruang dalam sudah tidak nyaman lagi bagi penghuni (lihat tabel 2.3). Hal ini sedikit berbeda dengan kenyamanan ventilasi menurut Lechner (2015). Kenyamanan ventilasi terkait pendinginan pada permukaan kulit menggunakan pergerakan angin berada pada rentang 0,2-2 m/s dan kecepatan angin sebesar 2 m/s adalah kecepatan optimal untuk ventilasi alami pada iklim panas – lembab. Namun, kecepatan sebesar 2 m/s dapat diterima apabila kondisi bukaan tidak berada dekat penghuni karena kecepatan yang sesuai pada bukaan dekat penghuni adalah sebesar 0,25 m/s (lihat tabel 2.3).

Tabel 2.3 Kecepatan Angin terhadap Kenyamanan Ventilasi

Kecepatan angin (m/s)	Efek penurunan suhu (°C)	Efek kenyamanan
0,05	0	Pergerakan udara rendah, kurang nyaman
0,2	1,1	Sedikit terasa, namun nyaman
0,25	1,3	Sesuai untuk bukaan yang berada dekat penghuni
0,4	1,9	Terasa dan nyaman
0,8	2,8	Sangat terasa, namun hanya dapat diterima pada ruangan dengan tingkat aktifitas tinggi dengan kondisi udara panas
1	3,3	Batas kecepatan untuk ruang dengan <i>air conditioner</i>
2	3,9	Kecepatan angin yang sesuai untuk kenyamanan ventilasi pada iklim panas – lembab
4,5	5	Terasa sebagai angin sejuk pada kondisi luar ruang

Sumber: Lechner (2015)

Nugroho *et al.* (2007) meneliti mengenai digram untuk menentukan besarnya kebutuhan kecepatan angin dalam mencapai kenyamanan ventilasi. Kebutuhan kecepatan angin dapat ditentukan dengan mengetahui kondisi suhu dan kelembaban pada ruang tersebut. Kondisi suhu dan kelembaban disesuaikan menggunakan diagram *psychometrics* versi bioklimatik. Diagram ini menunjukkan besarnya kecepatan angin yang diperlukan pada suhu dan kelembaban tertentu.



Gambar 2.1 Kebutuhan kecepatan angin untuk kenyamanan ventilasi
Sumber: Nugroho *et al.* (2007)

2.3 Pendinginan

Menurut Lechner (2015), kenyamanan termal dapat dicapai melalui 3 tahap pendekatan, yaitu.

1. Tahap 1, penghindaran panas.

Pada tahap ini perancangan bangunan dilakukan untuk meminimalisir masuknya panas ke dalam bangunan. Strategi yang digunakan pada tahap ini melalui penggunaan pembayangan, orientasi, pemilihan warna, vegetasi, insulasi, sinar masuk, dan pengendalian sumber panas dalam bangunan.

2. Tahap 2, pendinginan alami.

Pada tahap ini suhu dalam bangunan tidak hanya diminimalisir namun juga dikurangi. Pendinginan alami melibatkan pergerakan udara untuk mengatur zona nyaman menuju suhu yang lebih tinggi.

3. Tahap 3, pendinginan mekanik.

Pada tahap ini pendinginan mekanik digunakan ketika upaya menghindari panas dan pendinginan alami tidak mampu memenuhi kenyamanan termal. Penggunaan pendinginan mekanik menghabiskan energi dan biaya, sehingga upaya ini sebaiknya dihindari.

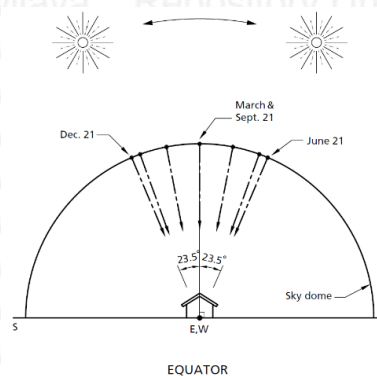
Ketiga pendekatan diatas merupakan upaya untuk menurunkan suhu dalam bangunan agar mendekati kenyamanan termal. Upaya untuk menghindari panas merupakan tahapan paling sederhana yang dapat dilakukan. Apabila tidak

memungkinkan untuk dilakukan, desain bangunan pada umumnya menggunakan pendinginan alami tanpa bantuan alat mekanik. Begitu juga seterusnya, apabila kenyamanan belum tercapai pengondisian udara dibantu dengan alat mekanik melalui pendinginan mekanik. Upaya utama yang sebaiknya dilakukan secara alami adalah melalui penghindaran panas dan pendinginan alami. Upaya pendinginan mekanik selain menghabiskan energy dan biaya, juga berdampak buruk terhadap lingkungan sehingga perlu dihindari.

2.3.1 Penghindaran panas

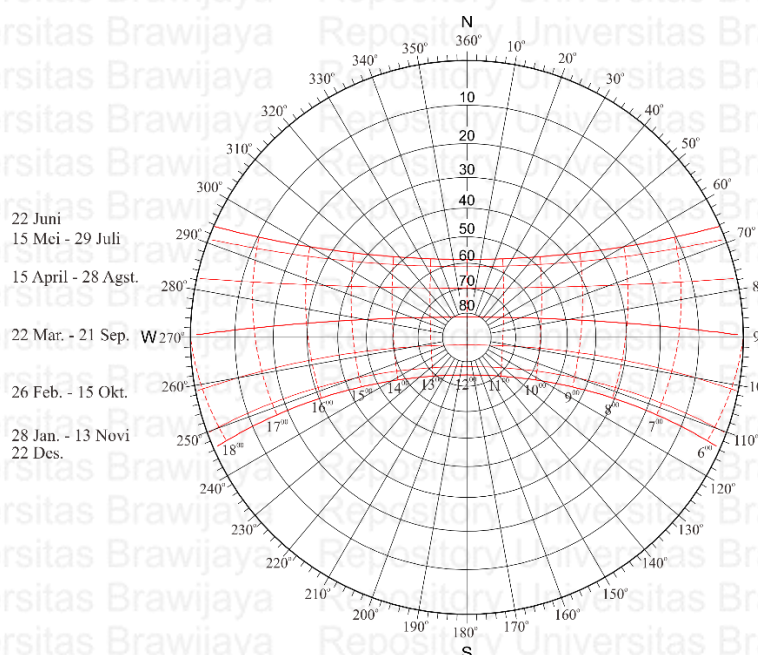
Penghindaran panas utamanya dilakukan melalui pendekatan orientasi bangunan dan pembayangan. Pembayang yang digunakan pada bangunan biasanya menggunakan tritisan dari atap, balkon, dan penutup jendela. Penambahan *shading device* dilakukan apabila tritisan atap belum mampu membayangi bukaan pada bangunan. Peletakan pembayang dan pemilihan orientasi ini dilakukan mengikuti kondisi pergerakan matahari.

Kondisi pergerakan matahari pada iklim panas lembab terbagi menjadi tiga macam berdasarkan lokasinya, yaitu pada garis khatulistiwa, garis lintang utara $23,5^{\circ}$, dan garis lintang selatan $23,5^{\circ}$. Pergerakan matahari pada daerah garis khatulistiwa mengalami posisi puncak (titik equinoks) dua kali dalam setahun, yaitu pada tanggal 21 Maret dan 23 September (lihat gambar 2.2). Titik balik matahari di daerah garis khatulistiwa berada pada tanggal 21 Juni dan 21 Desember sebagai posisi terendah matahari. Matahari hanya berada di titik equinoks sekali dalam setahun di daerah garis lintang utara $23,5^{\circ}$, dan garis lintang selatan $23,5^{\circ}$. Matahari terus menuju ke selatan hingga posisi terendah tanggal 21 Desember di daerah lintang selatan $23,5^{\circ}$, sebaliknya matahari terus menuju ke utara hingga posisi terendah tanggal 21 Juni (Lechner, 2015).



Gambar 2.2 Pergerakan matahari pada iklim panas lembab
Sumber: Lechner (2015)

Pergerakan matahari ini digambarkan lintasannya menggunakan diagram *sunpath*. Diagram ini dapat digunakan untuk mengetahui sudut matahari pada waktu tertentu (Szokolay, 2014). Sudut altitude, yaitu sudut matahari yang datang dari arah vertikal, digambarkan pada garis lingkaran. Sudut azimuth, yaitu sudut matahari yang datang dari arah horizontal, digambarkan pada perimeter lingkaran. Lintasan matahari berdasarkan waktu digambarkan dengan garis merah. Lintasan ini berbeda tiap lokasinya, pada Kota Surabaya yang digunakan adalah lintasan pada 7° LS. Berikut ini adalah *sunpath* yang dapat digunakan di Kota Surabaya.



Gambar 2.3 *Sunpath* untuk lokasi Kota Surabaya
Sumber: Jaloxa.eu

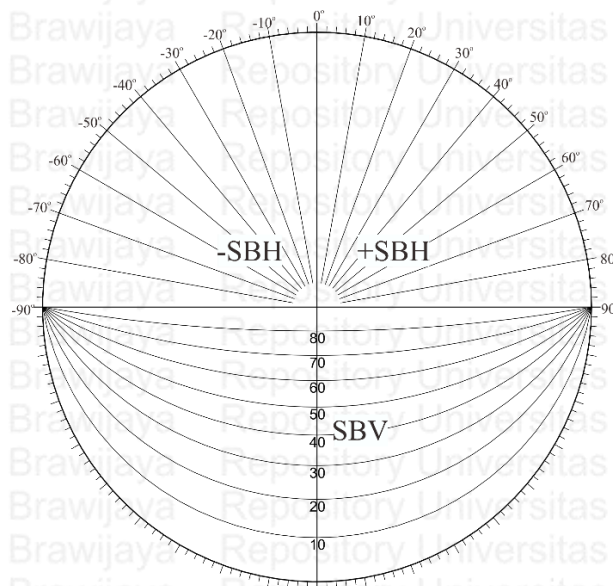
1. Orientasi bangunan

Matahari pada daerah garis khatulistiwa menyinari sisi selatan selama setengah tahun, dan menyinari sisi utara pada setengah tahun berikutnya. Hal ini menyebabkan fasad bangunan sisi utara dan selatan memiliki kondisi penyinaran matahari yang serupa. Matahari yang terbit dari timur ke barat juga menyebabkan sisi timur dan barat lebih banyak terkena sinar matahari dibandingkan sisi utara dan selatan. Penentuan orientasi bangunan pun menjadi penting untuk meminimalisir panas yang diterima oleh dinding bangunan. Orientasi bangunan sebaiknya memanjang ke arah timur-barat untuk menghindari sisi terpanjang bangunan berada di timur dan barat (Lechner, 2015).

2. Pembayang (*shading device*)

Iklim tropis cenderung memiliki suhu yang berada diatas zona nyaman selama setahun. Hal ini menyebabkan pembayang pada bukaan bangunan yang diperlukan tidak hanya untuk menghindari sinar langsung, namun juga sinar pantul dan sinar tidak langsung (Lechner, 2015). Kinerja pembayang dibutuhkan untuk membayangi jendela pada waktu terpanas. Pembayang yang tepat dapat ditentukan menggunakan *shading mask*.

Shading mask merupakan busur yang digunakan untuk mengukur sudut bayangan matahari. Sudut bayangan matahari ini menjadi pertimbangan desain pembayang untuk dapat membayangi jendela. Sudut bayangan pada *shading mask* terdiri dari 2 jenis berdasarkan posisinya, yaitu sudut bayangan horizontal dan sudut bayangan vertikal. Sudut bayangan dapat diketahui ketika *shading mask* digunakan dengan diagram *sunpath* mengikuti orientasi jendela dan posisi bangunan (Szokolay, 2014). Berikut ini adalah *shading mask* yang digunakan untuk menentukan pembayang.



Gambar 2.4 *Shading mask*
Sumber: Jaloxa.eu

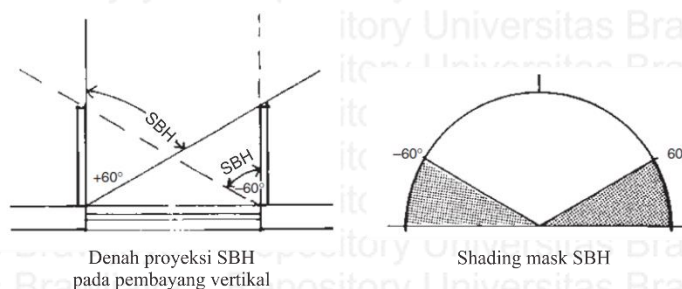
Jenis pembayang sendiri dibagi menjadi dua kategori berdasarkan lokasinya, yaitu pembayang interior dan pembayang eksterior. Keduanya apabila dibandingkan, maka dapat diketahui bahwa pembayang pada bukaan yang paling efektif adalah pembayang eksterior. Hal ini dikarenakan penggunaan pembayang interior masih membiarkan panas masuk terlebih dahulu baru menghalanginya.

Pembayang eksterior juga mampu mereduksi beban panas yang masuk ke dalam ruang hingga 80%, sedangkan pembayang interior hanya mampu mereduksi hingga 20% (Lechner, 2015). Sehingga pembayangan yang digunakan sebaiknya diprioritaskan pada pembayang eksterior.

Berikut ini adalah jenis pembayang eksterior yang dibagi menjadi 3 kategori dasar menurut Szokolay (2014).

a. Pembayang vertikal

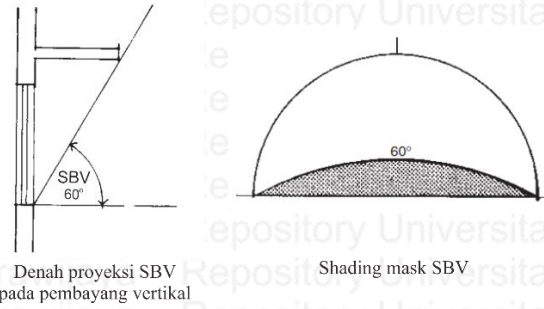
Pembayang vertikal merupakan pembayang untuk menghindari sudut matahari yang datang dari arah horizontal (azimuth). Contohnya adalah kisi-kisi vertikal dan *fin*. Desain pembayang ini dapat diketahui melalui sudut bayangan horizontal (SBH) yang dihasilkan oleh *shading mask*. SBH dihitung menggunakan *shading mask* pada bagian SBH dengan sudut 0° SBH mengarah ke orientasi jendela. SBH yang mengarah searah jarum jam bernilai positif dan SBH yang mengarah berlawanan arah jarum jam bernilai negatif. Berikut ini adalah contoh proyeksi SBH pada pembayang vertikal berdasarkan SBH yang dihasilkan *shading mask*.



Gambar 2.5 Proyeksi SBH pada pembayang horizontal
Sumber: Szokolay (2014)

b. Pembayang horizontal

Pembayang horizontal merupakan pembayang untuk menghindari sudut matahari yang datang dari arah vertikal (altitude). Contohnya adalah kisi-kisi horizontal dan *overhang*. Desain pembayang ini dapat diketahui melalui sudut bayangan vertikal (SBV) yang dihasilkan oleh *shading mask*. SBV dihitung menggunakan *shading mask* pada bagian SBV dengan sudut 90° SBV mengarah ke orientasi jendela. SBV selalu bernilai positif. Berikut ini adalah contoh proyeksi SBV pada pembayang horizontal berdasarkan SBV yang dihasilkan *shading mask*.



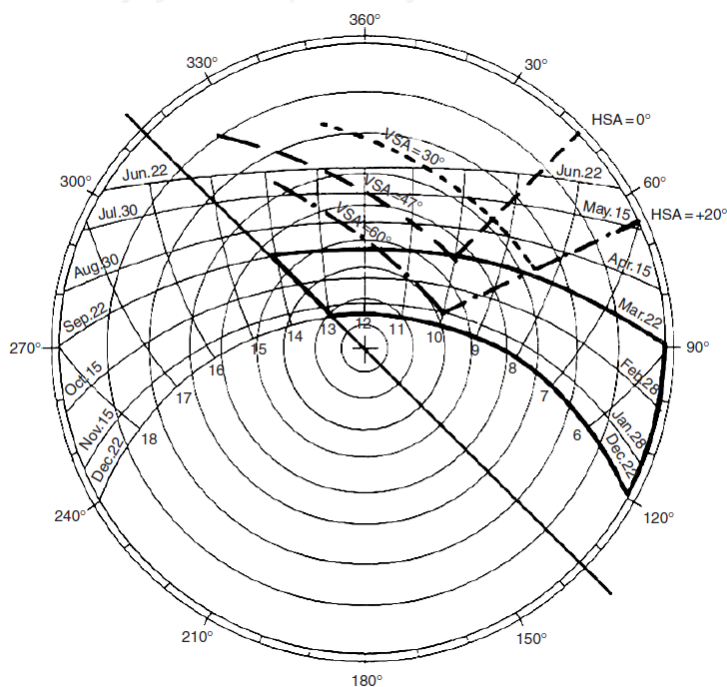
Gambar 2.6 Proyeksi SBH pada pembayang horizontal
Sumber: Szokolay (2014)

c. Pembayang *egg-crate*

Pembayang *egg-crate* merupakan kombinasi dari pembayang horizontal dan vertical. Contohnya adalah *concrete grill-blocks* dan *metal grill*. Pembayang ini ditentukan dengan menggunakan kombinasi *shading mask* SBV dan SBH.

Berikut ini adalah cara yang dapat digunakan untuk mencari SBV dan SBH menggunakan *shading mask* (Szokolay, 2014).

- Gunakan *sunpath* sesuai posisi lintang bangunan kemudian gambar garis memotong pada *sunpath* untuk mewakili dinding jendela yang ingin dibayangi.
- Tandai pada *sunpath* waktu yang ingin diketahui SBV dan SBH-nya, biasanya merupakan waktu terpanas (titik balik matahari dan equinox).
- Gunakan *shading mask* di atas digram *sunpath* pada posisi mengikuti orientasi jendela.
- Apabila menghitung SBH, maka tarik garis lurus pada busur SBH dipertemuan titik waktu *sunpath*, sehingga terlihat besar sudutnya. Apabila menghitung SBV, maka tarik garis lengkung pada busur SBV dipertemuan titik waktu *sunpath*, sehingga terlihat besar sudutnya. Berikut ini adalah gambar hasil proyeksi SBV dan SBH oleh *shading mask* pada *sunpath*.



Gambar 2.7 Penentuan SBV dan SBH pada diagram *sunpath*
Sumber: Szokolay (2014)

2.3.2 Pendinginan alami

Pendinginan alami dilakukan setelah upaya penghindaran panas dilakukan. Pencapaian pendinginan alami dapat dilakukan dengan cara mendinginkan bangunan ataupun mengubah zona nyaman agar sesuai dengan kondisi dalam bangunan. Pendinginan bangunan dapat dilakukan dengan menurunkan panas dalam bangunan, sedangkan zona nyaman dapat digeser dengan mengubah factor kelembaban, kecepatan angin, dan MRT. Berikut ini adalah 5 metode yang dapat digunakan untuk melakukan pendinginan alami (Lechner, 2015).

1. Pendinginan melalui ventilasi

Pendinginan melalui ventilasi dilakukan dengan memanfaatkan pergerakan angin untuk menurunkan suhu baik pada bangunan ataupun pada permukaan kulit manusia.

a. Ventilasi nyaman.

Ventilasi pada metode ini dilakukan pada siang dan malam hari dengan cara mengalirkan angin menuju permukaan kulit untuk meningkatkan proses terjadinya evaporasi pada kulit sehingga panas dapat terbuang dan mencapai kenyamanan termal. Kelemahannya pada siang hari, angin yang masuk dapat membawa panas ke dalam bangunan.

b. Pendinginan *night-flush*.

Ventilasi pada metode ini hanya dilakukan pada malam hari dengan meminimalisir masuknya angin yang membawa panas dari luar pada siang hari. Hal ini dilakukan agar masuknya panas dalam bangunan dapat dicegah dan bangunan dapat menjadi dingin pada hari berikutnya.

2. Pendinginan radiatif

Pendinginan ini dilakukan dengan memanfaatkan proses radiasi melalui perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke langit yang dingin.

a. Pendinginan radiasi secara langsung.

Metode ini dilakukan dengan memanfaatkan pendinginan struktur atap bangunan melalui radiasi terhadap langit malam.

b. Pendinginan radiasi secara tidak langsung.

Metode ini dilakukan dengan memanfaatkan pelepasan panas pada cairan melalui radiasi terhadap langit malam, yang kemudian dimanfaatkan untuk mendinginkan bangunan.

3. Pendinginan evaporatif

Pendinginan ini dilakukan dengan memanfaatkan penguapan pada air untuk menurunkan panas melalui proses evaporasi.

a. Evaporasi langsung.

Metode ini dilakukan dengan menyemprotkan air ke udara yang masuk menuju bangunan, sehingga uap air terbentuk dan menangkap panas dari lingkungan sekitarnya. Hal ini menyebabkan penurunan suhu dan peningkatan kelembaban.

b. Evaporasi tidak langsung.

Metode ini dilakukan dengan menyemprotkan air ke udara yang bergerak menuju bangunan, sehingga panas yang masuk berkurang tanpa meningkatkan kelembaban. Air juga dapat disemprotkan ke atap bangunan untuk mendinginkan atap bangunan.

4. Pendinginan bumi

Pendinginan bumi dilakukan dengan memanfaatkan lapisan bumi pada kedalaman tertentu untuk mendinginkan bangunan. Hal ini memanfaatkan kondisi lapisan tanah pada bumi yang semakin dalam semakin rendah suhunya pada musim panas dan semakin tinggi pada musim dingin.

a. *Coupling* langsung.

Metode ini dilakukan dengan cara menyelubungi bangunan menggunakan tanah pada kedalaman tertentu sehingga suhu tanah yang tersalurkan ke bangunan.

b. *Coupling* tidak langsung.

Metode ini dilakukan menggunakan ventilasi dengan saluran yang tertanam di dalam tanah, sehingga udara dari luar yang masuk ke dalam bangunan sudah diturunkan suhunya ketika udara mengalir melewati tanah.

5. Penurunan kelembaban

Pendinginan dilakukan dengan mengurangi kelembaban dari udara. Pengurangan kelembaban dapat dilakukan dengan dua acara, yaitu mendinginkan udara sampai pada suhu titik embun dan menggunakan *desiccant* (penyerap kelembaban).

Metode pendinginan alami pada iklim panas lembab yang memungkinkan untuk dilakukan adalah penggunaan pendinginan melalui ventilasi. Kondisi iklim yang lembab tidak dianjurkan untuk penggunaan evaporasi karena dapat meningkatkan kelembaban dalam ruangan. Penggunaan pendinginan bumi juga hanya dapat dicapai pada bangunan yang menggunakan selubung tebal sebagai insulasi, sedangkan pada iklim tropis panas lembab selubung yang sesuai adalah selubung tipis yang ringan. Iklim panas lembab juga memiliki kondisi langit yang cenderung berawan sehingga sulit untuk menggunakan pendinginan radiatif dengan melepas panas ke langit. Penurunan kelembaban masih mungkin dilakukan namun hasilnya tidak begitu berpengaruh terhadap kenyamanan termal pada iklim panas lembab (Lechner, 2015).

Pendinginan menggunakan ventilasi menurut Koenigsberger *et al.* (2013) memiliki tiga tujuan, yaitu untuk pertukaran udara, pendinginan konvektif dan pendinginan fisiologis. Pertukaran udara yang dibutuhkan dalam ruang mengikuti kebutuhan penghuni. Pendinginan konvektif memanfaatkan angin untuk membawa panas dari area yang suhunya lebih tinggi ke suhu lebih rendah. Hal ini dapat diterapkan apabila kondisi ruang dalam lebih tinggi suhunya dibandingkan ruang luar, sehingga angin dapat membawa panas dari ruang dalam ke luar. Pendinginan fisiologis merupakan pendinginan pada permukaan kulit manusia untuk memberikan efek penurunan suhu pada kulit manusia melalui proses evaporasi dan konveksi.

Kondisi iklim tropis yang selalu memiliki suhu rata-rata diatas suhu nyaman membuat penurunan suhu pada bangunan menjadi sulit. Penurunan suhu yang sulit dapat diatasi melalui bantuan pergerakan angin yang mengarah ke penghuni yang disebut sebagai pendinginan fisiologis. Pendinginan fisiologis ini memungkinkan penghuni merasa nyaman meskipun kondisi suhu dalam bangunan diatas nyaman. Pendinginan fisiologis lebih efektif ketika dilakukan pada siang hari dan malam hari karena sasarannya adalah manusia, namun serangga pada malam hari dapat mengganggu penghuni apabila bukaan dibuka.

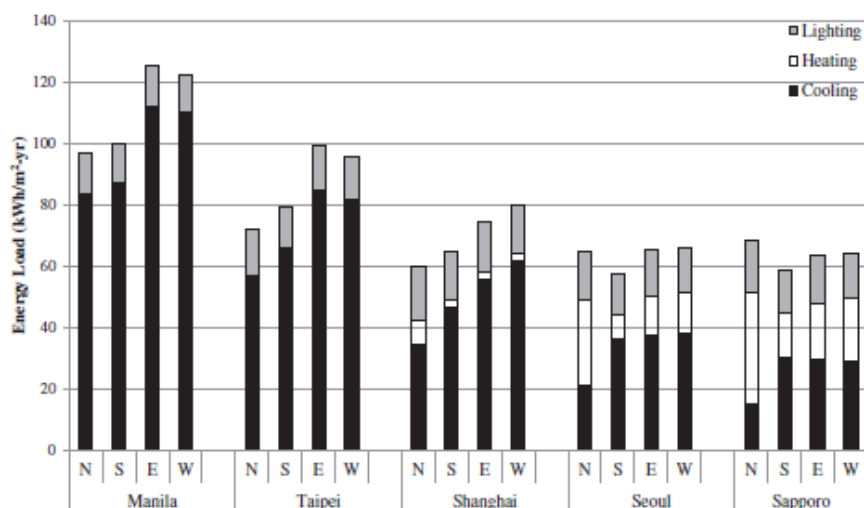
2.4 Jendela

Menurut Koenigsberger *et al.* (2013), sumber masuknya panas ke dalam bangunan adalah radiasi matahari yang masuk melalui jendela sehingga suhu dalam ruangan meningkat menjadi lebih besar dari suhu luar ruangan. Permasalahan panas akibat radiasi matahari dapat diatasi dengan pendinginan alami melalui pendekatan desain terhadap jendela. Jendela selain menjadi sumber masuknya panas juga menjadi sumber masuknya angin. Angin yang masuk ke dalam ruangan melalui jendela dapat membantu penurunan suhu pada ruangan dan permukaan kulit penghuni. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja jendela terhadap suhu dalam ruangan adalah sebagai berikut.

2.4.1. Orientasi jendela

Orientasi memberikan pengaruh terhadap masuknya radiasi matahari ke dalam bangunan. Orientasi menentukan seberapa besar beban radiasi yang diterima bangunan oleh matahari. Penentuan orientasi yang tepat diperlukan untuk meminimalisir panas yang masuk ke dalam bangunan. Orientasi jendela utama yang tepat untuk menghindari masuknya panas akibat radiasi matahari adalah dengan menghadap ke arah utara ataupun selatan. Hal ini disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi yang diterima pada sisi timur dan barat (Koenigsberger *et al.*, 2013).

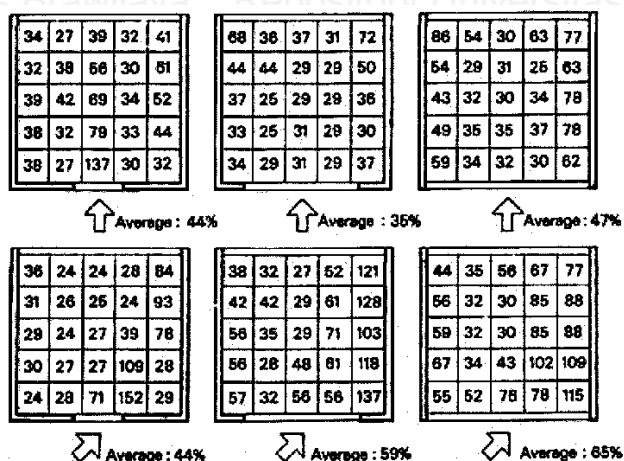
Hal ini juga diperkuat dengan penelitian Lee *et al.* (2013) yang membanding perbedaan orientasi jendela dengan besarnya energi yang dihasilkan untuk pengondisian termal bangunan terkait radiasi yang diterima bangunan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada orientasi jendela yang paling baik secara berurutan adalah menghadap utara, selatan, barat, kemudian timur. Hal ini diteliti berdasarkan kondisi iklim Manila yang memiliki kondisi iklim serupa dengan Indonesia, yaitu tropis panas lembab. Beban penggunaan energy semakin besar jika orientasi bukaan yang digunakan tidak tepat.



Gambar 2.8 Pengaruh orientasi jendela terhadap penggunaan energi bangunan
Sumber: Lee *et al.* (2013)

Orientasi jendela selain berpengaruh terhadap arah matahari juga berpengaruh terhadap arah datangnya angin. Orientasi bukaan terhadap angin memberikan pengaruh terhadap ventilasi dalam ruangan. Angin yang datang secara tegak lurus ke arah bukaan akan menimbulkan tekanan yang besar. Ketika arah angin dibelokkan terhadap jendela, maka tekanan yang dihasilkan juga berbeda dan mempengaruhi arah angin yang masuk ke dalam ruangan. Angin yang masuk ke dalam bangunan dengan sudut 45° dapat menurunkan tekanan sebesar 50% (Lechner, 2015).

Bukaan dalam bangunan lebih baik ketika memiliki orientasi yang menyerong dari arah datangnya angin daripada ventilasi yang tegak lurus dengan arah datangnya angin, karena angin yang masuk dari arah menyerong memiliki pergerakan yang lebih besar ketika memasuki bangunan. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan Givoni dalam Koenigsberger *et al.* (2013), bahwa sudut masuk angin sebesar 45° memberikan distribusi angin yang lebih baik (lihat gambar 2.5).

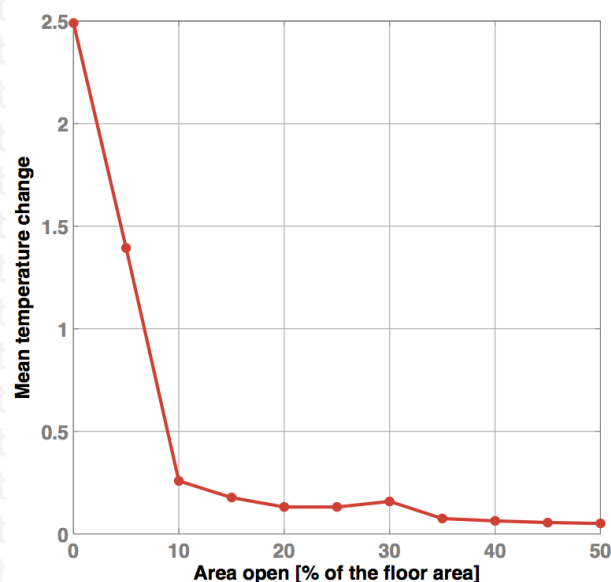


Gambar 2.9 Pengaruh orientasi terhadap distribusi angin dalam ruang
Sumber: Koenigsberger *et al.* (2013)

Arah datangnya angin juga menentukan posisi bukaan sebagai tempat masuknya angin (*inlet*) dan tempat keluarnya angin (*outlet*). Orientasi jendela terhadap arah angin memang penting terhadap peningkatan kecepatan angin dalam ruang, namun orientasi terhadap matahari sebaiknya lebih diutamakan karena angin dapat diarahkan dan matahari tidak.

2.4.2. Dimensi jendela

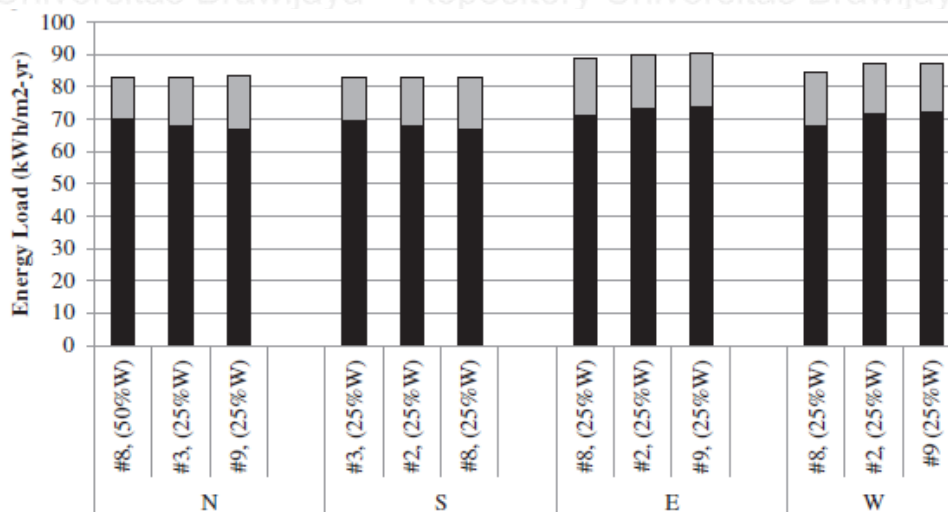
Dimensi jendela memberikan pengaruh besarnya radiasi panas dan angin yang masuk ke dalam bangunan sehingga mempengaruhi suhu dalam ruangan. Nayar (2012) melakukan penelitian mengenai parameter suhu dalam ruangan terhadap luasan bukaan jendela melalui simulasi. Hasil penelitian menunjukkan perubahan suhu menurun secara signifikan ketika jendela tertutup dengan jendela terbuka 10% dari luas lantai (lihat gambar 2.6). Penambahan rasio jendela selanjutnya sampai pada rasio 35% terus mengurangi suhu dalam ruangan pada malam hari dan siang hari. Rasio jendela >35% tidak memberikan perubahan suhu yang signifikan dalam ruangan (lihat gambar 2.6). Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa dimensi jendela yang paling efektif untuk mengurangi suhu adalah yang memiliki rasio terhadap ruangan sebesar 10%-35%.



Gambar 2.10 Perubahan rata-rata suhu terkait rasio bukaan terhadap lantai
Sumber: Nayar (2012)

Dimensi jendela menggunakan rasio WWR (*Wall window ratio*) juga memberikan pengaruh terhadap besarnya radiasi panas yang masuk ke dalam ruangan. Panas yang masuk memberi pengaruh terhadap suhu dalam bangunan. Lee *et al.* (2013) mengkaji mengenai rasio WWR terhadap kebutuhan energi pendingin

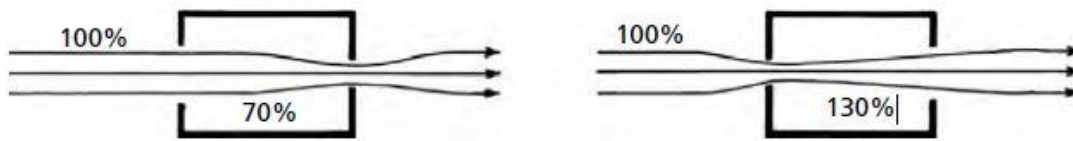
bangunan. Kebutuhan pendingin ini sejajar dengan kebutuhan penurunan suhu dalam ruangan, semakin tinggi suhu dalam ruangan maka semakin besar kebutuhan energi untuk mendinginkan ruangan. Hasil penelitian Lee *et al.* (2013) menunjukkan bahwa pada iklim manila yang memiliki kondisi iklim menyerupai Indonesia, rasio WWR yang semakin besar mengakibatkan kebutuhan energi untuk pendinginan ruangan semakin besar pula. Hal yang berbeda kemudian terjadi ketika dimensi jendela tersebut dikaitkan dengan orientasi jendela. Penelitian Lee *et al.* (2013) kemudian menunjukkan bahwa kebutuhan energi terkecil pada orientasi utara dapat dicapai pada rasio 50%, sedangkan pada sisi selatan, timur, dan barat pada rasio 25% (lihat gambar 2.7). Kesimpulan dari penelitian ini adalah pada upaya penghematan energi orientasi jendela lebih berpengaruh dibandingkan dimensi jendela itu sendiri.



Gambar 2.11 Perbandingan kebutuhan energi terkait dimensi jendela terhadap rasio WWR dan orientasi jendela
Sumber : Lee *et al.* (2013)

Jendela sebagai sumber masuknya angin dalam ruangan memiliki fungsi sebagai ventilasi. Jendela sebagai bukaan angin memiliki dua fungsi, yaitu sebagai tempat masuknya udara (*inlet*) dan tempat keluarnya udara (*outlet*). Penentuan jendela sebagai *inlet* dan *outlet* terjadi berdasarkan arah datang dan keluarnya angin. Dimensi *inlet* dan *outlet* ini pada umumnya sama, namun *inlet* sebaiknya memiliki dimensi yang lebih kecil karena hal tersebut dapat meningkatkan kecepatan aliran udara dalam bangunan sehingga memberi pengaruh terhadap kenyamanan termal. Arah angin yang selalu berubah membuat penentuan *inlet* dan *outlet* dengan ukuran *inlet* lebih kecil menjadi sulit. Ukuran *inlet* dan *outlet* yang sama besar akan lebih baik diterapkan pada kondisi ini. Ukuran *inlet* yang lebih kecil akan menaikkan

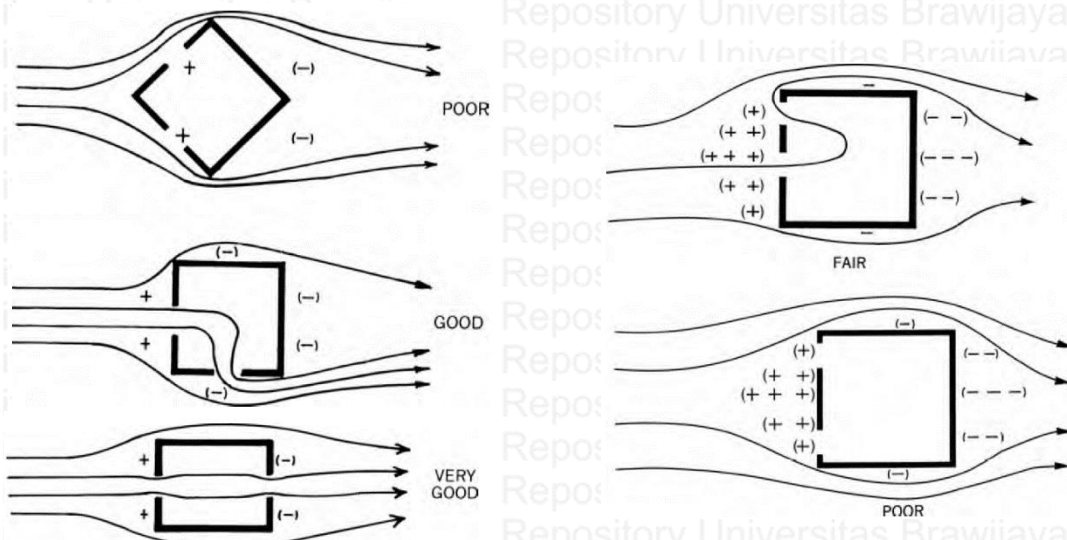
kecepatan angin sebesar 30% sedangkan ukuran *outlet* yang lebih kecil akan mengurangi kecepatan angin sebesar 30% (Lechner, 2015).



Gambar 2.12 Pengaruh dimensi *inlet* dan *outlet* terhadap aliran udara ruangan
Sumber : Lechner (2015)

2.4.3. Posisi jendela

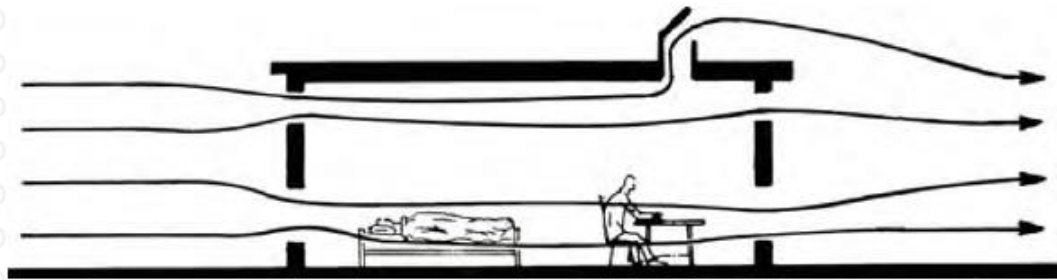
Peletakan jendela pada dua sisi bangunan menimbulkan ventilasi silang, dimana aliran angin didorong dan ditarik oleh tekanan positif pada area datangnya angin dan tekanan negatif pada area pembuangan angin. Ruang dengan jendela hanya pada salah satu sisi bangunan memiliki kualitas ventilasi yang lebih buruk. Kualitas ventilasi pada satu sisi bangunan berbeda-beda tergantung letak bukaan, karena tekanan angin yang masuk pada bukaan di tengah dinding lebih besar daripada tekanan angin pada bukaan di pinggir dinding. Perbedaan tekanan terjadi ketika jendela diletakkan secara asimetris sedangkan pada peletakan jendela yang simetris tidak terdapat perbedaan tekanan (Lechner, 2015).



Gambar 2.13 Pengaruh peletakan jendela terhadap distribusi angin di dalam ruangan
Sumber: Lechner (2015)

Posisi jendela menentukan distribusi aliran udara yang masuk ke dalam bangunan. Ventilasi yang nyaman memasukkan angin ke dalam ruang dengan mengarah ke zona aktifitas manusia (hingga ketinggian 2 m) agar angin yang masuk dapat dirasakan manusia (Koenigsberger *et al.*, 2013). Jendela sebaiknya memiliki ketinggian antara 30 – 60 cm diatas lantai sesuai dengan aktifitas manusia yang

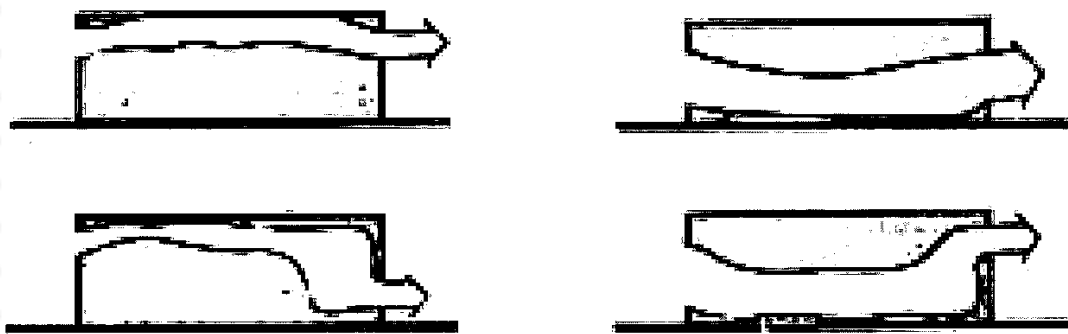
sedang duduk. Jendela yang diletakkan pada posisi tinggi dapat mereduksi udara panas yang terkumpul dekat plafon (Lechner, 2015).



Gambar 2.14 Posisi bukaan terhadap aliran udara

Sumber : Lechner (2015)

Posisi jendela sebagai *inlet* yang berada di dekat plafon selalu menghasilkan aliran angin di atas zona aktifitas manusia terlepas dari posisi *outlet*-nya, hal ini baik untuk mereduksi panas didaerah plafon namun tidak memberikan reduksi panas pada zona aktifitas manusia (lihat gambar 2.11). Hal ini berbeda dengan posisi *inlet* pada zona manusia. Posisi jendela sebagai *inlet* pada zona manusia lebih baik karena aliran angin selalu berada di zona aktifitas manusia (lihat gambar 2.11). Kombinasi posisi keduanya juga dapat diterapkan pada bangunan untuk hasil maksimal.

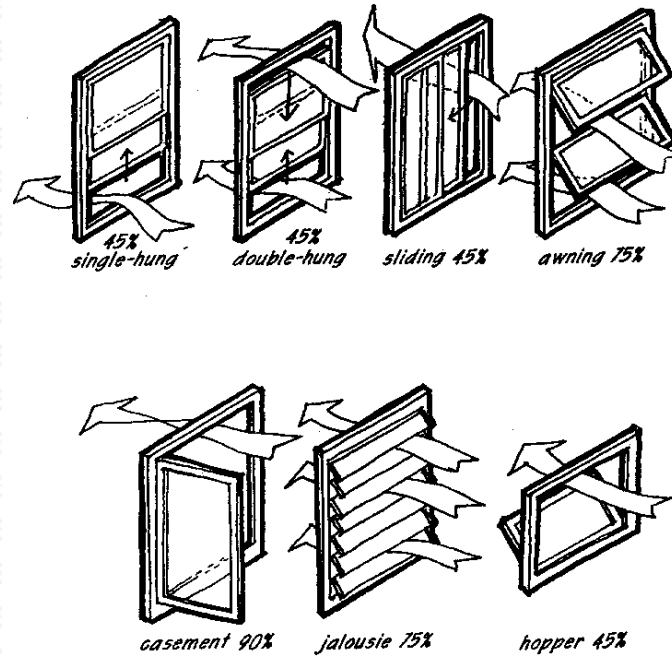


Gambar 2.15 Pengaruh posisi bukaan terhadap aliran angin

Sumber: Koenigsberger *et al.* (2013)

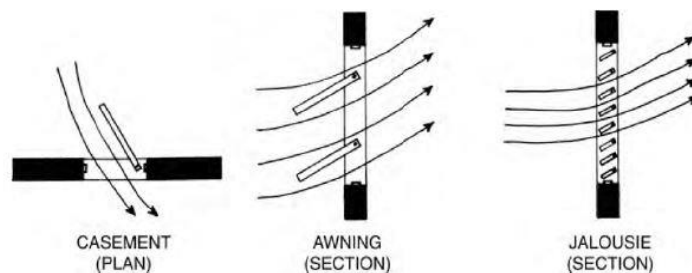
2.4.4. Jenis jendela

Jenis jendela memiliki pengaruh terhadap masuknya radiasi panas ke dalam bangunan, terutama terhadap aliran angin yang masuk terkait ventilasi. Jenis jendela mempengaruhi efektifitas angin yang dapat masuk ke dalam bangunan dan arah aliran angin yang masuk. Pengaruh efektifitas masing-masing jendela berbeda tergantung mekanismenya (lihat gambar 2.12). Jendela yang paling efektif untuk memasukkan angin adalah jendela casement dengan efektifitas sebesar 90% dan jendela awning, hopper dan jalousi dengan efektifitas sebesar 75%. Jendela jenis hung dan sliding justru menghalangi 65% aliran angin yang masuk, sehingga jenis ini kurang efektif untuk pendinginan.



Gambar 2.16 Pengaruh jenis bukaan terhadap efektifitas udara yang masuk
Sumber: Moore (1993, dalam Mediastika, 2002)

Jenis jendela juga mempengaruhi arah aliran udara yang masuk ke dalam bangunan. Aliran udara yang masuk dapat dikontrol melalui jenis jendela untuk meratakan distribusi angin dalam ruangan. Pembelokan aliran udara secara vertikal dapat dilakukan menggunakan jendela jenis *hopper*, *awning*, atau *jalousie* (lihat gambar). Pembelokan udara secara horizontal dapat dilakukan menggunakan jendela jenis *casement* (lihat gambar 2.13). Jenis jendela *awning* dan *jalousie* cocok dipakai pada iklim tropis untuk menahan tampias air hujan, namun apabila jendela sudah memiliki *shading device* ataupun tritisan tidak masalah menggunakan jendela manapun.



Gambar 2.17 Jenis jendela menurut Lechner
Sumber : Lechner (2015)

Jenis jendela *awning* dan *hopper* sama-sama tipe jenis pembelok angin secara vertikal dengan daun jendela menggantung pada satu sisi, namun keduanya memiliki peran yang berbeda dalam membelokkan angin. Jendela *awning* cenderung



mengarahkan angin ke atas plafon (lihat gambar 2.14), hal ini kurang sesuai karena sasaran pendinginan adalah manusia yang berada hingga ketinggian 2 m dari lantai. Jendela jenis *hopper* justru mampu membelokkan angin ke arah zona aktifitas manusia (lihat gambar 2.14), hal ini sesuai dengan sasaran pendinginan yang mengarah ke zona aktifitas manusia. Kelemahan jendela *hopper* cenderung memasukkan air hujan sehingga perlu adanya penambahan tritisan apabila menggunakan jendela tersebut pada iklim panas lembab.



Gambar 2.18 Pengaruh jenis jendela *awning* dan *hopper* terhadap pembelokan angin
Sumber: Koenigsberger *et al.* (2013)

Jendela *jalousie* memiliki macam-macam jenis berdasarkan sudut kemiringan kisi-kisinya. Sudut kemiringan yang berbeda memberikan pengaruh yang berbeda juga terhadap arah aliran angin secara vertikal dalam ruang. Pengaruh arah sudut *jalousie* sama dengan jenis jendela *hopper* dan *awning*, pada sudut 15° *jalousie* yang mengarah ke atas membelokkan angin ke arah plafond dan *jalousie* yang mengarah ke bawah membelokkan angin ke arah zona aktifitas manusia. Jendela *jalousie* yang mengarah ke atas dapat tetap membelokkan angin ke zona aktifitas manusia apabila sudut *jalousie* sebesar 20° . Hal ini berbeda dengan jendela *jalousie* yang mengarah ke atas pada sudut 15° dan 30° dan angin tetap berbelok ke arah plafond.

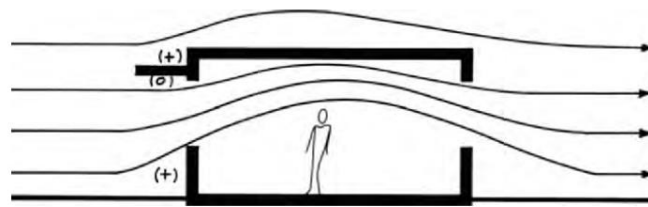


Gambar 2.19 Pengaruh sudut jendela *jalousie* terhadap pembelokan angin
Sumber: Koenigsberger *et al.* (2013)

Penelitian lain oleh Prianto & Depecker (2003) menunjukkan bahwa kenyamanan pada tingkat aktifitas berdiri dapat dicapai menggunakan jendela *jalousie* pada sudut kisi-kisi manapun, sedangkan pada tingkat aktifitas duduk harus menggunakan kisi dengan sudut 60° - 90° . Kenyamanan pada tingkat aktifitas duduk dan berdiri dapat dicapai menggunakan jendela *jalousie* pada ketinggian plafon dan lantai dengan sudut 45° .

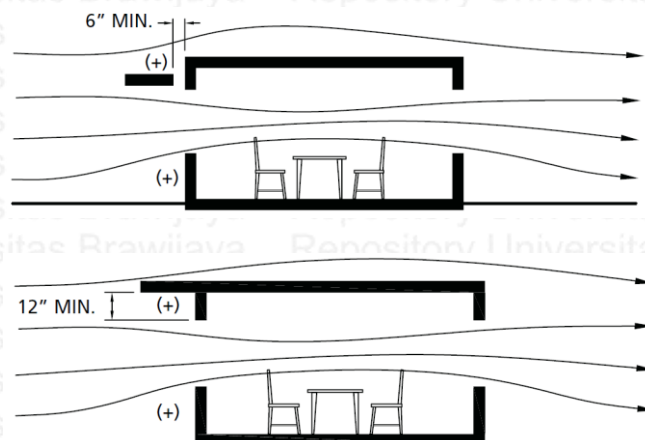
2.4.5. *Overhang* pada jendela

Overhang merupakan tritisan atau pembayang horizontal untuk melindungi bangunan dari paparan sinar matahari. *Overhang* banyak ditempatkan dibukaan jendela untuk mengurangi panas yang masuk melalui jendela dan menjaga kenyamanan visual. Kelemahannya adalah penempatan *overhang* posisi horizontal tepat di atas jendela dapat menyebabkan aliran angin membelok ke arah plafon. Hal ini disebabkan oleh terhalangnya tekanan positif oleh *overhang* untuk menyeimbangkan tekanan positif di bawah jendela. Angin yang membelok ke arah plafon akan bergerak menjauhi zona aktifitas manusia sehingga angin tidak dapat dirasakan untuk kenyamanan ventilasi (Lechner, 2015).



Gambar 2.20 Pengaruh peletakan *overhang* tepat diatas jendela terhadap aliran angin
Sumber : Lechner (2015)

Solusi peletakan *overhang* disekitar jendela tanpa mengarahkan angin ke plafon adalah dengan memberi jarak antara *overhang* dengan dinding bangunan. Pemberian jarak ini mampu meneruskan aliran angin ke zona aktifitas manusia. Jarak antara *overhang* dengan dinding yang disarankan adalah 6" (15 cm) atau lebih. Peletakan *overhang* yang lebih tinggi di atas jendela juga dapat menjaga arah aliran tetap mengarah ke zona aktifitas manusia. Jarak minimal peletakan diatas jendela adalah 12" (30 cm) (Lechner, 2015).



Gambar 2.21 Peletakan *overhang* untuk mengarahkan angin ke zona manusia
Sumber : Lechner (2015)

2.5 Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa)

Rusunawa adalah rumah susun sederhana yang disewakan kepada masyarakat perkotaan yang tidak mampu untuk membeli rumah atau yang ingin tinggal untuk sementara waktu misalnya para mahasiswa, pekerja temporer dan lain lainnya (Perumnas,). Rusunawa ini dibangun dalam suatu lingkungan yang terbagi dalam bagian-bagian yang distrukturkan secara fungsional dalam arah horizontal maupun vertikal dan merupakan satuan-satuan yang masing-masing digunakan secara terpisah, status penguasaannya sewa serta dibangun dengan menggunakan dana Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara atau Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah dengan fungsi utamanya sebagai hunian (Permenpera No. 18/PERMEN/M/2007).

Tujuan pembangunan rusunawa saat ini dilakukan untuk upaya peningkatan kualitas permukiman dalam kota dengan menyediakan perumahan yang dapat disewa masyarakat dengan harga terjangkau. Hal ini dilakukan sebagai penanganan dan pencegahan kawasan kumuh dalam kota berdasarkan UU No. 1 Tahun 2011. Pola penanganan tersebut dilaksanakan oleh tiap kota/kab yang memiliki SK kawasan kumuh. Rincian pelaksanaan diserahkan ke masing-masing pemerintah kota. Salah satu kota besar yang memiliki SK kawasan kumuh adalah Kota Surabaya yang merupakan ibu kota Jawa Timur. Hal ini telah menjadi isu infrastruktur PU Kota Surabaya untuk melakukan percepatan penurunan angka *backlog* perumahan melalui pembangunan Rusun Sewa bagi Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR) sesuai dengan misi dalam mewujudkan lingkungan permukiman yang layak huni dan mendorong masyarakat untuk memenuhi kebutuhan perumahan yang sehat, aman dan teratur (Rencana Kerja 2016 PU Jawa Timur).

Fasilitas yang tersedia pada rusunawa yang dibangun oleh pemerintah ini, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Prasarana dan sarana dalam bangunan, lingkungan dan atau kawasan disediakan sesuai dengan persyaratan yang mempertimbangkan jumlah pemakai dan intensitas pemakainya.
2. Luasan unit satuan rusun adalah 24 m² dilengkapi dengan *pantry* dan kamar mandi dan WC.

Kualitas bangunan yang diharapkan pada rusunawa adalah permukiman layak yang memiliki pengelolaan sanitasi yang baik. Adapun persyaratan kualitas ruang

pada hunian rusunawa terkait penghawaan, yaitu menggunakan sistem pertukaran udara *cross ventilation*. *Cross ventilation* ini hanya terjadi apabila pada dinding ruang bersebrangan terdapat jendela di masing-masing dinding. Bukaannya yang berfungsi untuk memasukkan angin harus memiliki luas minimum 1% dari luas ruang tersebut (Permenpu No. 60/PRT/1992).

2.6 Studi Terdahulu

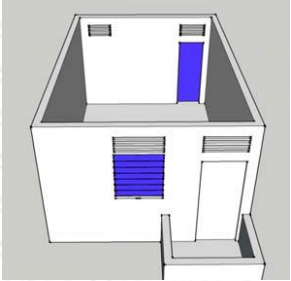
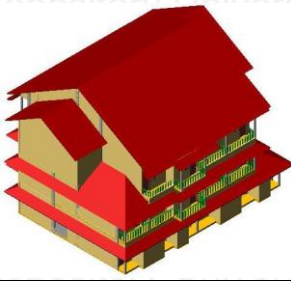
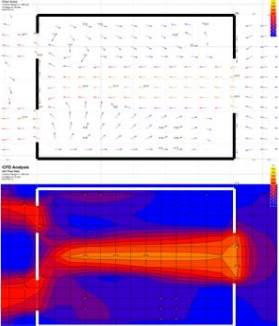
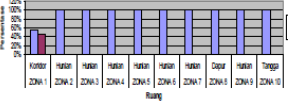
Studi terdahulu yang ditinjau adalah penelitian yang berkaitan dengan jendela sebagai pendingin yang dianalisis menggunakan simulasi pada studi kasus rumah susun yang berada di Indonesia. Hal yang ingin ditinjau dari penelitian tersebut adalah lokasi, tujuan, metode, data iklim/pengukuran, analisis iklim/pengukuran, analisis kondisi eksisting, alat simulasi, model simulasi, hasil simulasi, modifikasi, dan kesimpulan. Studi yang ditinjau berasal dari dua jurnal yang memiliki judul, yaitu jendela hemat energi pada fasad rumah susun di Jakarta dan kinerja ventilasi pada Rumah Susun Dupak Surabaya. Berikut ini adalah tinjauan yang dilakukan pada studi terdahulu.

Penelitian A: Jendela Hemat Energi Pada Fasad Rumah Susun di Jakarta (Daryanto & Utama, 2012)

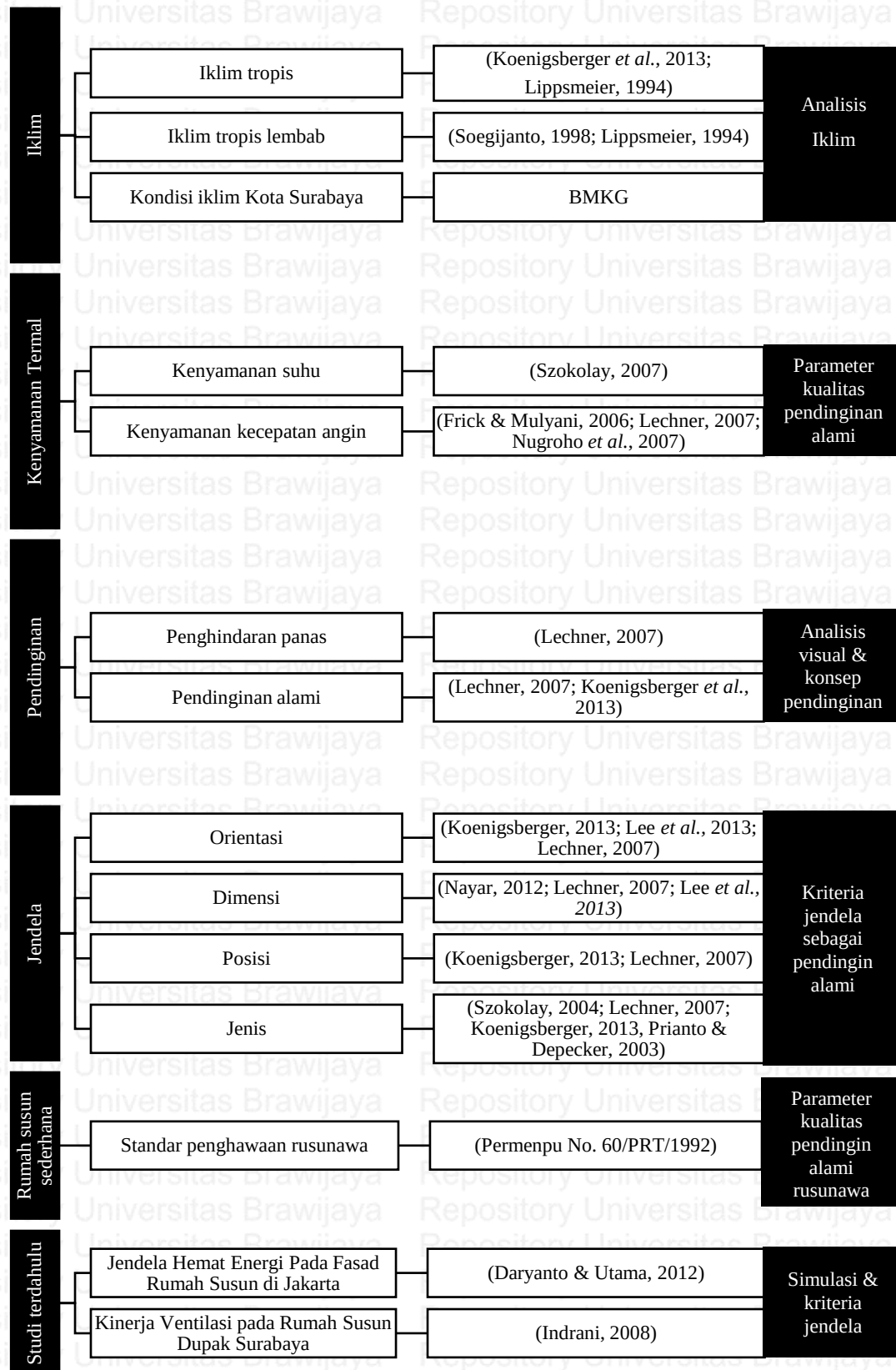
Penelitian B: Kinerja Ventilasi pada Rumah Susun Dupak Surabaya (Indrani, 2008)

Tabel 2.4 Studi Terdahulu

Tinjauan	Penelitian A	Penelitian B	Kontribusi
Lokasi	Rusun Kemayoran Rusun Benhil Rusun Petamburan Kota Jakarta	Rusun Dupak Kota Surabaya	Objek penelitian merupakan rusun di kota besar dengan permasalahan termal.
Tujuan	Mengetahui model jendela yang dapat digunakan untuk kenyamanan visual dan termal sesuai iklim Kota Jakarta	Mengetahui kinerja ventilasi pada rusun terkait orientasi dan luas bukaan terhadap aliran angin	Mengetahui kriteria desain jendela sebagai pendingin alami.
Metode	Analisis kuantitatif Metode deskriptif Metode eksperimental	Analisis kuantitatif Metode eksperimental	Metode utama yang digunakan adalah analisis kuantitatif dan eksperimental.
Data iklim/ pengukuran	Pengukuran kelembaban, suhu, kecepatan angin selama 3 minggu mewakili 1 bulan	Hasil penelitian sebelumnya berupa rata-rata suhu dan kecepatan angin perjam pada bulan terdingin (januari) dan terpanas (oktober) Kota Surabaya	Data iklim yang digunakan untuk acuan simulasi dapat berupa hasil pengukuran maupun penelitian sebelumnya.
Analisis iklim/ pengukuran	Analisis komparasi hasil pengukuran antar rusun terkait kesesuaian kualitas suhu, cahaya, kelembaban dengan standar	Data iklim dianalisis dengan membandingkan suhu rata-rata bulanan dengan suhu nyaman Kota Surabaya	Data iklim dianalisis dengan dikaitkan kesesuaiannya dengan standar atau teori.
Analisis kondisi eksisting	1. Luas kamar 2. Luas dan letak jendela 3. Material jendela 4. Desain tata ruang 5. Suasana lingkungan 6. Pemeliharaan gedung	1. Orientasi 2. Luas bukaan terhadap arah angin 3. Analisis pergantian udara eksisting menggunakan <i>software</i> simulasi dikaitkan	Kondisi eksisting jendela yang dievaluasi merupakan kondisi yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal.

Tinjauan	Penelitian A	Penelitian B	Kontribusi
		dengan standar pergantian udara	
Alat simulasi	Program CFD dan Ecotect (winair)	AILOS	Simulasi dilakukan menggunakan software yang dapat mensimulasi angin ataupun suhu.
Model simulasi	1 unit ruang pada salah satu rusun sesuai kondisi lapangan 	1 bangunan dengan menyederhanakan zona simulasi 	Model simulasi dapat berupa 1 unit ruang sebagai sampel atau 1 bangunan.
Hasil simulasi	<i>Flow vector dan air flow rate</i> 	<i>Air flow rate dan air change</i> PEMENUHAN AIR EXCHANGE BULAN JANUARI 1980 Bangunan Asli - Lantai 1 	Hasil simulasi dapat berupa gambar kontur ataupun data kuantitatif yang kemudian diolah.
Modifikasi	1. Luas jendela 2. Posisi atau letak jendela 3. Jenis jendela 4. Kebutuhan tritisan 5. Material kusen jendela	1. Luas bukaan 2. Penambahan <i>bouvenlicht</i>	Modifikasi ditentukan berdasarkan kriteria desain jendela yang berpengaruh terhadap angin atau suhu dan kebutuhan eksisting.
Kesimpulan	Luas jendela rusun rata-rata 20% sudah memenuhi untuk mengalirkan udara. Posisi atau letak jendela berada di tengah fasad dan terdiri dari 2 bukaan yang bersebrangan untuk mengoptimalkan ventilasi. Jenis jendela nako mampu mengatur masuknya udara ke dalam ruangan sesuai kebutuhan pengguna. Tritisan diperlukan dengan posisi horizontal berada pada sisi barat-timur dan posisi vertical berada pada sisi utara-selatan. Material kusen yang baik adalah alumunium atau UPVC karena memiliki daya guna hingga ratusan tahun meskipun harga relatif mahal. Prinsip jangka panjang yang menjadi kriteria utama pada bangunan hemat energi.	Kinerja rusun yang tidak memiliki orientasi bukaan tegak lurus aliran angin masih dapat memenuhi persyaratan pergantian udara apabila pintu dan jendela memiliki <i>bovenlicht</i> yang terbuka selama 24 jam. Ruang yang di dalam ruang tidak memenuhi persyaratan pergantian udara sehingga luas bukaan perlu ditingkatkan minimal 50% luas lantai. Orientasi bukaan yang berada di wilayah <i>wind shadow</i> memiliki nilai C_p negative sehingga ruangan justru menerima tekanan hisap bukan angin. Pengaturan kecepatan angin juga dapat dicapai melalui dimensi <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> . <i>Inlet</i> yang lebih kecil dapat menaikkan kecepatan angin. Jenis jendela yang beragam perlu diperhatikan luasan bukaan efektifnya (A_e). Apabila besar A_e sedikit maka diperlukan jumlah jendela yang banyak.	Hasil kesimpulan penelitian terdahulu dapat menjadi acuan kriteria desain jendela penelitian ini.

2.7 Kerangka Teori



Gambar 2.22 Kerangka teori



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Umum dan Tahapan Penelitian

Metode penelitian merupakan prosedur yang dilakukan untuk mencapai tujuan dan fungsi tertentu dengan cara mendapatkan dan mengolah data (Sugiyono, 2006). Berikut ini adalah uraian mengenai metode umum dan tahapan penelitian yang dilakukan.

3.1.1 Metode umum penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian skripsi yang berjudul “Jendela sebagai Pendingin Alami pada Bangunan Rusunawa Grudo Surabaya” adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif adalah metode penelitian yang meneliti suatu sampel atau populasi dengan karakteristik data yang dapat diukur atau bersifat kuantitatif untuk dilakukan pengumpulan data dan dianalisis secara kuantitatif/statistik dalam mencapai tujuan tertentu. Tujuan utama penelitian untuk mengetahui kriteria desain jendela sebagai pendingin alami dalam upaya mencapai kenyamanan suhu atau kecepatan angin. Data yang diolah bersifat kuantitatif karena data tersebut merupakan suhu dan kecepatan angin yang dapat diukur.

Penelitian ini merupakan pengembangan lanjutan dari penelitian Alfata *et al.* (2015) yang berjudul “*Field Investigation of Indoor Thermal Environments in Apartments of Surabaya, Indonesia Potential Passive Cooling Strategies for Middle-class Apartments*”. Pembahasan penelitian sebelumnya yang mengarah kepada potensi pendinginan alami dikembangkan untuk dilanjutkan penerapan pendinginan alami melalui desain jendela. Penjabaran bahasan penelitian dilakukan dari umum ke khusus berdasarkan data lapangan yang kemudian dikaitkan dengan teori dan penelitian sebelumnya yang menjadi pustaka untuk penelitian. Data lapangan digunakan untuk melakukan simulasi, kemudian hasilnya dikaitkan dengan teori pustaka. Hasil akhir berupa kesimpulan yang ditarik dari penyelesaian masalah yang sedang dikaji.

Teknik penelitian yang dilakukan adalah pengambilan data lapangan melalui dokumentasi, pengukuran lapangan, studi pustaka kemudian analisis melalui simulasi. Data objek berupa dimensi ruang diperoleh melalui survey lapangan

sedangkan data berupa suhu ruang dalam dan ruang luar diperoleh dari penelitian sebelumnya. Data tersebut kemudian dijabarkan secara terperinci sesuai dengan kebutuhan dari masalah yang diangkat, setelah itu data yang didapat disandingkan dengan teori-teori yang ada, dan dari data tersebut kemudian disimulasikan dengan simulasi arsitektur yang menghasilkan pengukuran keadaan suhu secara kuantitatif. Studi pustaka dan hasil analisis data eksisting kemudian dijadikan acuan untuk melakukan modifikasi pada jendela. Modifikasi pada jendela kemudian disimulasikan untuk diketahui desain jendela yang dapat mencapai kenyamanan suhu ataupun kecepatan angin.

3.1.2 Tahapan operasional penelitian

Tahapan penelitian yang diterapkan dalam metode ini sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berperan penting untuk menentukan permasalahan yang ingin diselesaikan. Tahapan ini diterapkan dalam membuktikan fakta yang telah dituliskan pada latar belakang sebagai penentuan pokok permasalahan. Isu yang berkembang adalah tingginya kebutuhan rusunawa di Kota Surabaya diikuti oleh perkembangan pembangunan rusunawa Surabaya, sedangkan kebutuhan energi pada rusunawa meningkat menjadi 18%/tahun dengan target maksimum 13%/tahun. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kondisi suhu pada Rusunawa Grudo yang terbangun setelah tahun 2008 memiliki suhu dalam ruangan yang lebih tinggi dari suhu luar ruangan. Pemenuhan kenyamanan suhu pada bangunan hunian saat ini sangat sulit dicapai tanpa menggunakan pendinginan mekanik, namun penggunaan pendinginan mekanik menghabiskan 50% energi bangunan. Pendinginan alami menjadi solusi untuk mencapai kenyamanan suhu. Upaya pendinginan alami dapat dilakukan dengan kinerja jendela. Jendela sebagai elemen arsitektural menjadi sumber masuk dan keluarnya radiasi panas dan angin dalam bangunan. Kinerja jendela diharapkan dapat menurunkan suhu dan mencapai kenyamanan ventilasi dengan konsep pendinginan alami.

2. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan adalah data yang dibutuhkan untuk mencapai kriteria desain jendela sebagai pendingin alami. Jenis data berdasarkan sumbernya adalah data primer dan sekunder. Data primer dapat diperoleh dari hasil

survei/observasi lapangan dan dokumentasi, sedangkan data sekunder diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya dan studi pustaka. Data tersebut kemudian diolah untuk mencapai tujuan penelitian.

3. Analisis Data

Data dianalisis berdasarkan studi pustaka terkait iklim, kenyamanan termal, pendinginan alami dan jendela untuk mengetahui kesesuaian kondisi eksisting bangunan dengan konsep pendinginan alami dan kinerja jendela terhadap penurunan suhu dan kenyamanan ventilasi. Analisis kondisi iklim, visual dan data pengukuran dilakukan menggunakan metode deksriptif baik kualitatif maupun kuantitatif. Analisis simulasi untuk modifikasi jendela dilakukan menggunakan metode eksperimental. Hasil analisis berupa gambaran kondisi pendinginan eksisting pada bangunan dan kinerja jendela sebagai pendingin alami dalam menurunkan suhu dan mencapai kenyamanan ventilasi di Rusunawa Grudo.

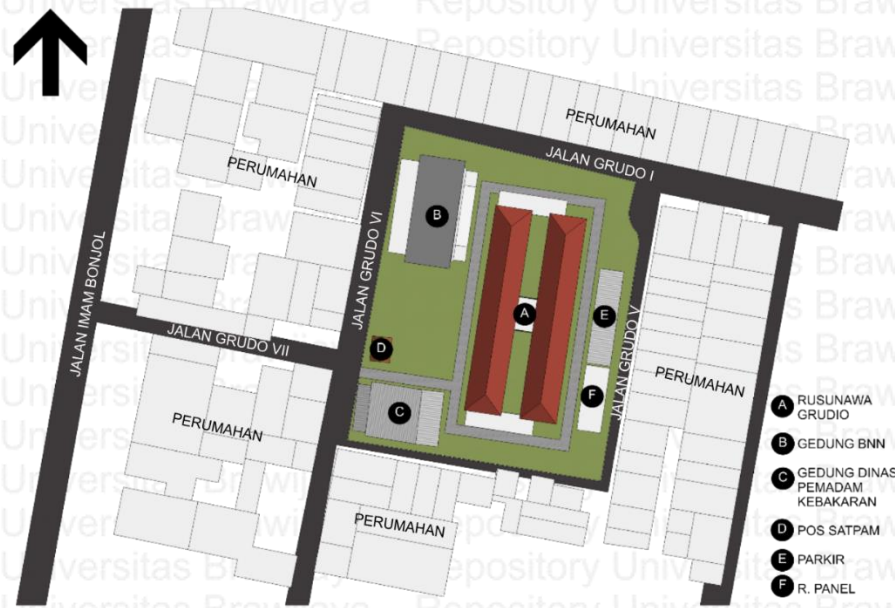
4. Sintesis

Sintesis pada penelitian ini berupa kesimpulan yang ditarik dari hasil analisis permasalahan pada Rusunawa Grudo Surabaya yang telah diteliti sebelumnya. Sintesis dilakukan untuk menjawab permasalahan penelitian berupa kriteria jendela sebagai pendingin alami yang dapat menurunkan suhu dan mencapai kenyamanan ventilasi.

3.2 Lokus dan Fokus Penelitian

3.2.1 Lokus penelitian

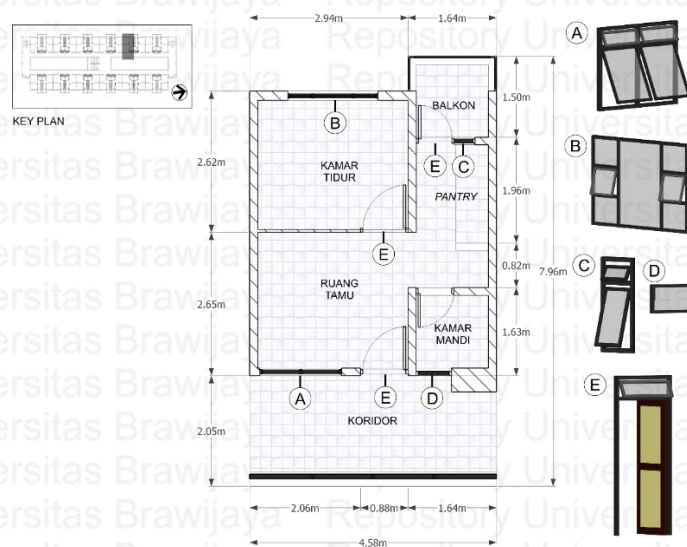
Lokus penelitian merupakan rumah susun yang berada di Kota Surabaya, yaitu Rusunawa Grudo Surabaya. Rusunawa Grudo Surabaya ini terletak di jalan Grudo Gang 5, Kecamatan Tegalsari, Kota Surabaya. Lokasi ini berada pusat Kota Surabaya dikelilingi oleh perumahan warga. Rusunawa Grudo dikaji karena bangunan ini telah dilakukan penelitian sebelumnya dimana hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa rusunawa ini memiliki permasalahan terkait suhu bangunan. Kota Surabaya sendiri merupakan ibu kota Jawa Timur dengan luas sekitar 350,54 km². Letak Kota Surabaya secara geografis berada diantara 0721' Lintang Selatan dan 11236' – 11254' Bujur Timur.



Gambar 3.1 Lokasi objek penelitian

3.2.2 Fokus penelitian

Penelitian ini difokuskan pada jendela yang berada di unit hunian rusunawa. Jendela dikaji dengan kriteria desain yang dapat mencapai kenyamanan terkait suhu dan angin. Kriteria desain tersebut antara lain, dimensi jendela, posisi jendela dan jenis jendela. Pendinginan alami dipilih sebagai tema dasar penelitian. Jendela pada fokus penelitian ini berfungsi sebagai pendingin alami. Desain jendela menjadi faktor penting untuk menentukan kualitas pendinginan alami. Kualitas pendinginan alami ini dapat ditentukan melalui kenyamanan suhu dan kecepatan angin yang dihasilkan.



Gambar 3.2 Fokus penelitian



3.3 Jenis dan Metode Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berkaitan dengan penelitian mengenai jendela sebagai pendingin alami pada Rusunawa Grudo Surabaya dibagi menurut jenis dan metode pengumpulannya.

3.3.1 Jenis data

Jenis data dibagi menjadi dua berdasarkan sumbernya, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh melalui survei lapangan ataupun pengamatan secara langsung. Data primer yang diperlukan pada penelitian ini, antara lain.

a. Data fisik Rusunawa Grudo Surabaya

Data fisik dari Rusunawa Grudo Surabaya berupa denah kamar hunian dari Rusunawa Grudo Surabaya, letak dan dimensi jendela yang ada pada kamar hunian Rusunawa Grudo Surabaya serta kondisi eksisting bangunan. Data ini diperoleh melalui pengamatan langsung pengukuran di lapangan, hasil yang diperoleh dapat berupa foto dokumentasi, maupun sketsa.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui buku, jurnal penelitian serta internet. Data sekunder yang diperlukan pada penelitian ini, antara lain.

a. Data iklim Kota Surabaya

Data iklim Kota Surabaya terdiri dari data suhu selama 5 tahun terakhir serta data kecepatan dan arah angin. Data ini diperoleh melalui internet.

b. Data mengenai teori kenyamanan termal, jendela, dan rusunawa

Data mengenai kenyamanan termal diperlukan untuk mengetahui standar kenyamanan angin dan suhu nyaman Kota Surabaya sedangkan data mengenai teori rusunawa diperlukan untuk mengetahui standar penghawaan rusun. Data mengenai teori jendela diperlukan sebagai acuan kriteria desain jendela.

c. Data iklim objek bangunan

Data mengenai suhu, kelembaban, dan kecepatan angin pada unit hunian Rusunawa Grudo yang terukur selama 24 jam dalam kurun waktu 5 hari. Data ini diperoleh melalui jurnal penelitian terdahulu.

3.3.2 Metode pengumpulan data

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data terbagi menjadi dua berdasarkan jenis datanya, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer

Metode pengumpulan data primer yang digunakan adalah melalui tinjauan lokasi secara langsung maupun berinteraksi secara langsung dengan objek yang diteliti. Metode yang dilakukan, antara lain.

a. Pengukuran lapangan

Data lapangan berupa data fisik rusunawa grudo terkait dimensi dan bentuk ruang serta jendela diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan meteran. Pengukuran dilakukan dengan pendekatan secara kuantitatif. Hasil pengukuran digunakan sebagai data untuk menganalisa.

b. Observasi dan dokumentasi

Data lapangan berupa gambaran fisik rusunawa grudo dikumpulkan dengan observasi dan dokumentasi langsung pada kamar hunian Rusunawa Grudo Surabaya serta pada elemen jendelanya. Hasil survei digunakan sebagai data untuk menganalisa.

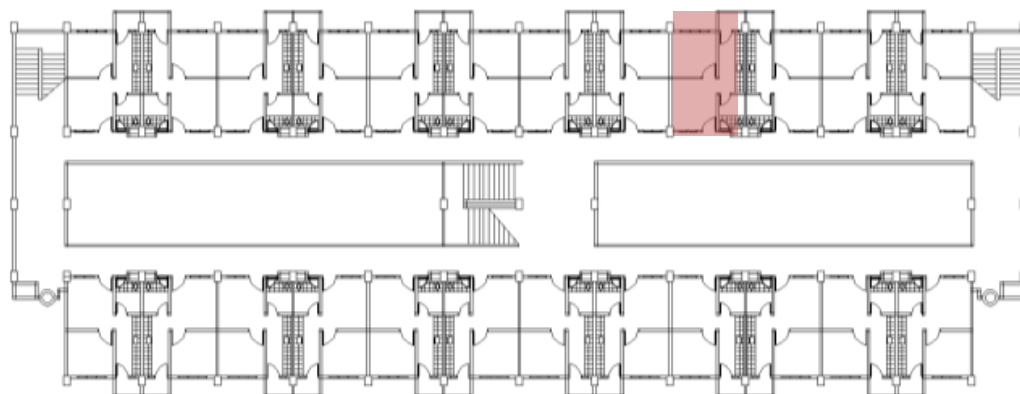
2. Data sekunder

Pengumpulan data sekunder berasal dari studi kepustakaan, berupa buku – buku, jurnal, dll. Pengumpulan data sekunder juga dapat diperoleh melalui informasi internet yang berkaitan dengan data iklim Kota Surabaya. Penelitian sejenis terkait jendela dan rumah susun yang telah dikaji sebelumnya juga diambil manfaatnya untuk diterapkan pada penelitian saat ini.

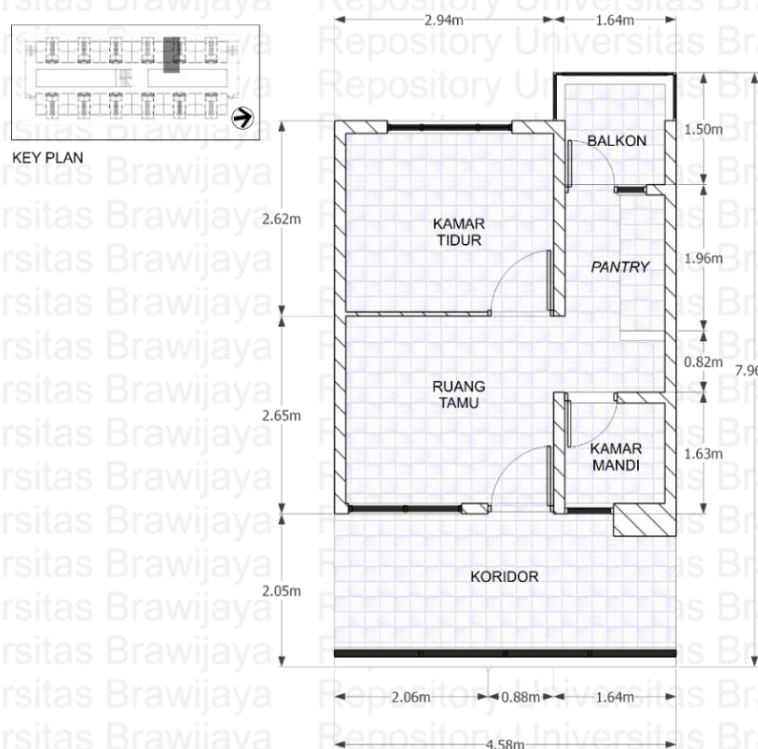
3.4 Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh unit hunian pada Rusunawa Grudo Surabaya karena unit hunian merupakan fungsi utama rusunawa. Jumlah anggota populasi adalah 99 buah karena total unit hunian berjumlah 99 unit. Tipe unit hunian sama pada Rusunawa Grudo ini sama yaitu, tipe 24. Teknik sampling yang digunakan adalah *probability sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel dengan mengkondisikan setiap anggota populasi memiliki peluang yang sama untuk dipilih sebagai sampel (Sugiyono, 2006). Pengambilan sampel dilakukan secara acak tanpa memperhatikan hirarki pada populasi (*simple random sampling*) dalam hal ini seluruh unit hunian dianggap sama (homogen) karena tipe hunian sejenis. Sampel

yang diambil adalah salah satu kamar hunian, yaitu unit nomor 50-9. Kamar ini berada di lantai 5 pada sisi barat bangunan.



Gambar 3.3 Denah Rusunawa Grudo Surabaya Lt. 5
Sumber : Mufidah *et al.* (2016)



Gambar 3.4 Denah unit hunian nomor 50-9

3.5 Variabel Penelitian

Variabel Variabel pada penelitian ini terdiri dari dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan variabel terikat, sedangkan variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat dari variabel bebas (Sugiyono, 2006).

Variabel merupakan hal yang dikaji pada penelitian, berikut ini adalah variabel yang dikaji pada penelitian ini.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel bebas	Sub variabel bebas	Variabel terikat	Indikator
Iklm	Suhu bulanan	Rata-rata suhu bulanan	Suhu nyaman surabaya
Pembayaran	Waktu	Fasad bangunan	Fasad yang terbayangi
Jendela eksisting	Dimensi	Prosentase bukaan	Permenpu No. 60/PRT/1992
	Posisi	Ketinggian dari lantai	Ketinggian zona manusia
	Jenis	Sudut bukaan	Prosentase angin masuk
Ruang & aktifitas	Ruang	Aktifitas	Waktu aktifitas
Data pengukuran	Waktu	Suhu	Suhu nyaman Surabaya
		Kecepatan angin	Standar kenyamanan ventilasi
	Dimensi	Suhu	Suhu nyaman Surabaya
		Kecepatan angin	Standar kenyamanan ventilasi
	Posisi	Suhu	Suhu nyaman Surabaya
		Kecepatan angin	Standar kenyamanan ventilasi
	Jenis	Suhu	Suhu nyaman Surabaya
		Kecepatan angin	Standar kenyamanan ventilasi
Orientasi	Arah mata angin	Suhu	Suhu nyaman Surabaya
Overhang	Dimensi	Suhu	Suhu nyaman Surabaya

3.6 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini yakni metode analisis deskriptif kualitatif, analisis deskriptif kuantitatif dan analisis eksperimental. Berikut ini adalah penjabaran metode analisis yang digunakan pada data, antara lain.

1. Analisis deskriptif kuantitatif

Analisis deskriptif kuantitatif pada penelitian ini dilakukan dengan menghitung suhu nyaman Kota Surabaya kemudian menghitung selisih suhu kondisi eksisting dan simulasi dengan suhu nyaman Kota Surabaya. Data berupa suhu dan kecepatan angin dianalisis menggunakan grafik untuk mendapat gambaran suhu dan kecepatan secara ringkas.

2. Analisis deskriptif kualitatif

Analisis deskriptif kualitatif pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kesesuaian antara data objek penelitian dengan hasil studi pustaka sehingga dapat diketahui bagaimana kondisi eksisting objek terkait teori pada literatur.

3. Analisis eksperimental

Analisis eksperimental pada penelitian ini adalah mengubah variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat, sehingga diperoleh hasil variabel terikat yang diharapkan. Variabel bebas yang dimaksud adalah faktor desain jendela, sedangkan variabel terikat yang dimaksud adalah suhu dan kecepatan angin yang ingin disesuaikan dengan standar kenyamanan. Analisa eksperimental dilakukan dengan simulasi menggunakan *software ansys*. Modifikasi kondisi eksisting dilakukan dengan merubah variabel bebas berupa dimensi jendela, posisi jendela, jenis jendela, dan orientasi jendela terhadap matahari (faktor desain jendela). Perubahan variabel bebas akan mempengaruhi variabel terikat berupa suhu dan kecepatan angin. Hasil suhu terendah pada masing alternatif dimensi, posisi, jenis, orientasi jendela terhadap matahari, dan *overhang* jendela menjadi alternatif modifikasi yang terpilih.

3.7 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap. Berikut ini tahapan waktu penelitian yang dilakukan.

1. Tahap penelitian sebelumnya

Penelitian sebelumnya oleh Alfata *et al.* dilakukan pada tahun 2015. Data yang dihasilkan berupa suhu dalam dan luar ruangan pada bangunan Rusunawa Grudo. Pengukuran suhu dilakukan pada musim kemarau dengan kondisi suhu terpanas antara bulan Agustus – Oktober 2014. Kondisi termal terkait suhu udara, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu lingkungan diukur pada dua ruang utama, yaitu ruang tidur dan ruang tamu. Pengukuran dilakukan pada keadaan ruang yang kosong dan dalam kondisi ventilasi alami yang berbeda-beda, yaitu ventilasi siang hari, ventilasi malam hari, ventilasi satu hari, dan tanpa ventilasi. Masing-masing kondisi ventilasi dilakukan pengukuran selama 6-7 hari. Suhu dalam ruangan diukur secara vertikal pada ketinggian yang berbeda, yaitu 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m, 1,5 m, 2 m dan 2,6 m. Data ini kemudian digunakan pada penelitian saat ini.

2. Tahap penelitian saat ini

Penelitian saat ini dilakukan sejak bulan November 2016. Penelitian dimulai dengan pengumpulan data fisik kamar hunian Rusunawa Grudo Surabaya pada bulan November 2016. Pengumpulan data pengukuran berupa suhu dan

kecepatan angin tanggal 31 Agustus – 4 Oktober 2016 pada penelitian sebelumnya digunakan pada penelitian ini. Selanjutnya, pada bulan Desember data yang diperoleh mulai dianalisis. Eksperimen menggunakan *software ansys* kemudian mulai dilakukan pada bulan Januari untuk mencapai tujuan penelitian.

3.8 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah melalui survei lapangan pada Rusunawa Grudo Surabaya dan kajian pustaka.

1. Pengukuran fisik kamar hunian
2. Pengukuran fisik jendela pada kamar hunian
3. Pengumpulan data suhu dalam dan luar ruang dari penelitian sebelumnya
4. Pengumpulan teori mengenai kriteria desain jendela pendinginan alami

3.9 Teknik Analisis Data

Berikut ini adalah teknik analisis data yang dilakukan pada penelitian ini.

1. Analisis suhu kota surabaya

Analisis iklim dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi suhu Kota Surabaya secara umum tiap bulannya dalam 5 tahun terakhir (2015-2011) kemudian dikomparasikan dengan suhu di kota besar lainnya yang berada di pesisir Pulau Jawa. Suhu nyaman Kota Surabaya juga dianalisis melalui perhitungan suhu bulanan dalam 5 tahun terakhir sebagai acuan suhu nyaman yang ini dicapai.

2. Analisis visual

Analisis visual dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik bangunan secara visual terkait pembayangan dan elemen bangunan berupa jendela. Analisis pembayangan dilakukan dengan mensimulasikan pembayangan mengikuti waktu titik equinox matahari dan waktu pengukuran suhu & angin. Pembayangan dilakukan dengan tujuan mengetahui bagaimana kondisi visual bangunan terhadap bayangan oleh matahari. Analisis jendela dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting dan teori/standar terkait dimensi, posisi, dan jenis sehingga diketahui bagaimana kesesuaiannya. Analisis ruang dan aktifitas juga dilakukan untuk mengetahui waktu penggunaan pada masing-masing ruang di unit hunian dan ruang yang paling dominan untuk digunakan.

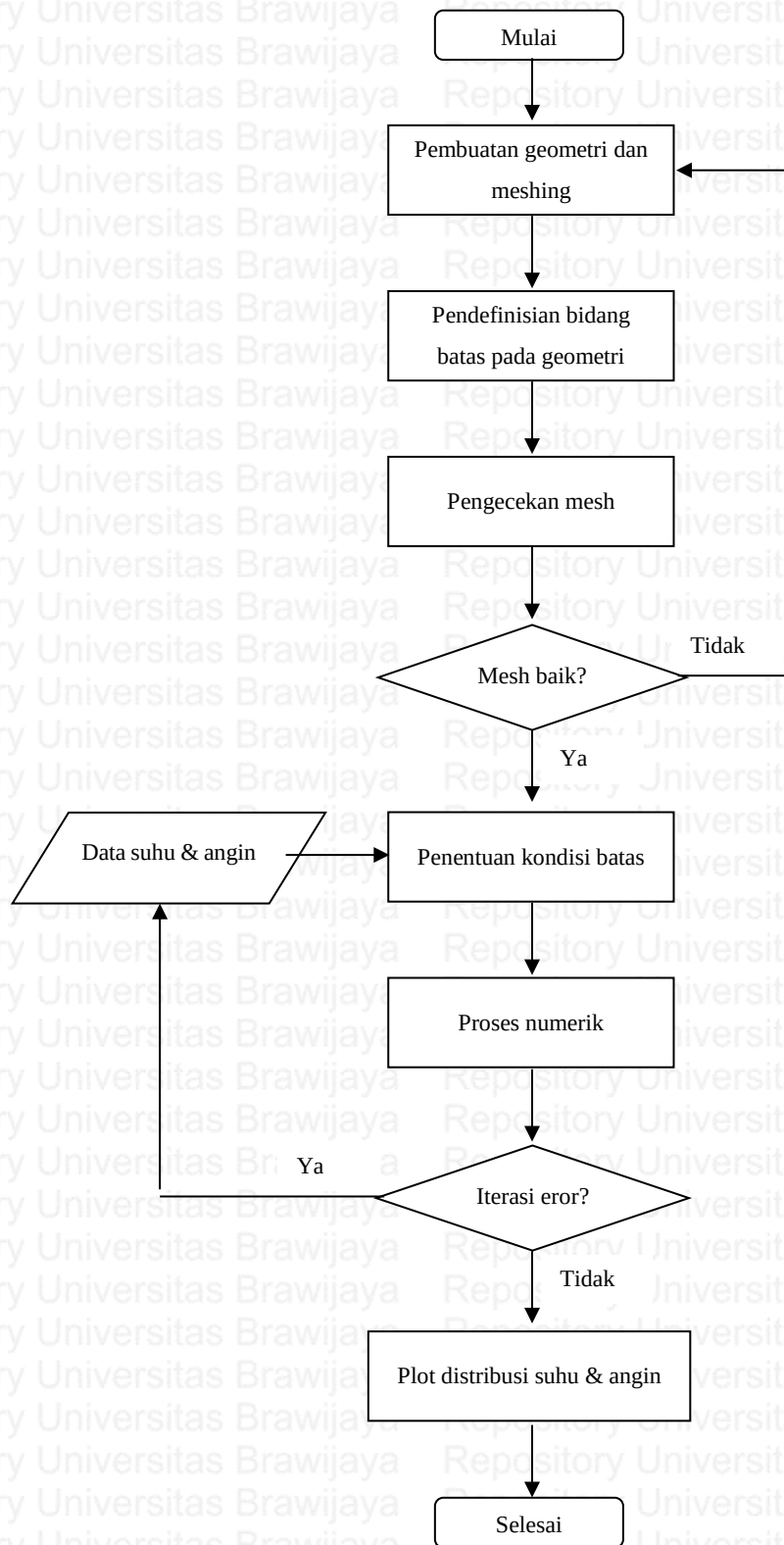
3. Analisis pengukuran

Analisis pengukuran dilakukan dengan menyajikan data secara grafik yang kemudian dideskripsikan secara kuantitatif. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar kenyamanannya apakah sudah memenuhi atau belum. Data pengukuran juga dikaitkan dengan analisis visual yang telah dilakukan sebelumnya mengenai hubungan kondisi fisik bangunan dengan hasil pengukuran lapangan. Data pengukuran yang dianalisis berupa suhu dalam dan luar ruangan, kecepatan angin, serta kelembaban udara.

4. Analisis simulasi

Analisis simulasi untuk mengetahui besarnya suhu dan kecepatan angin dalam ruangan dilakukan menggunakan *software* ANSYS 14.5 yang berbasis *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Penelitian mengenai prediksi besarnya suhu dan kecepatan angin telah banyak dilakukan menggunakan *software* berbasis CFD dalam melakukan perhitungan secara komputasi seiring dengan perkembangan computer dan kemudahan pada tampilan CFD. CFD mampu menyelesaikan berbagai perhitungan, seperti persamaan kekekalan massa, momentum, energi, konsentrasi kimia, dan turbulensi sehingga diperoleh hasil distribusi tekanan udara, kecepatan angin, suhu udara, dan kelembaban udara pada ruang luar dan ruang dalam. *Software* CFD juga telah digunakan secara luas untuk penelitian mengenai kualitas suhu dalam ruang, kenyamanan termal, keamanan terhadap api, sistem HVAC, dll di berbagai jenis bangunan (Chen, 2009).

ANSYS memiliki beberapa istilah yang digunakan dalam menjalankan simulasi, beberapa istilah tersebut adalah geometri, meshing, kondisi batas, dan iterasi. Geometri merupakan permodelan yang digunakan pada ANSYS untuk disimulasikan. Meshing merupakan pembagian volume dari permodelan geometri sehingga geometri dapat dianalisis melalui ANSYS. Kondisi batas merupakan data yang diinput ke dalam ANSYS untuk melakukan simulasi. Iterasi merupakan proses perhitungan persamaan dalam ANSYS yang dilakukan secara berulang kali untuk menyelesaikan permasalahan. Simulasi menggunakan ANSYS dilakukan melalui beberapa tahapan dimulai dari pembuatan geometri atau memasukkan geometri kedalam ANSYS hingga diperoleh hasil distribusi suhu, kecepatan angin, tekanan, dll. Berikut ini adalah tahapan simulasi yang dilakukan pada *software* ANSYS 14.5 untuk mendapatkan besaran suhu dan kecepatan angin dalam ruangan.



Gambar 3.5 Diagram alir proses simulasi

Hasil plot distribusi suhu dan angin kemudian divalidasi terlebih dahulu untuk mengetahui rasio eror pada simulasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil plot suhu ruang dalam dengan hasil pengukuran suhu ruang dalam pada kondisi suhu luar yang sama menggunakan geometri ruangan eksisting. Validasi dilakukan mengikuti data pengukuran lapangan tanggal terpanas yaitu 2 September dengan data suhu luar tiap jamnya selama 24 jam. Standar validasi pada penelitian ini menggunakan rasio eror sebesar $\leq 20\%$ agar dapat dikatakan valid, sehingga rasio eror $> 20\%$ dianggap tidak valid. Simulasi lanjutan dengan geometri yang dimodifikasi kemudian dapat dilakukan apabila hasil validasi geometri eksisting sudah valid.

Perhitungan numerik pada simulasi dilakukan mengikuti pengaturan data yang diinput pada simulasi. Berikut ini merupakan pengaturan yang digunakan ketika melakukan simulasi pada penelitian ini.

a. Pengaturan model

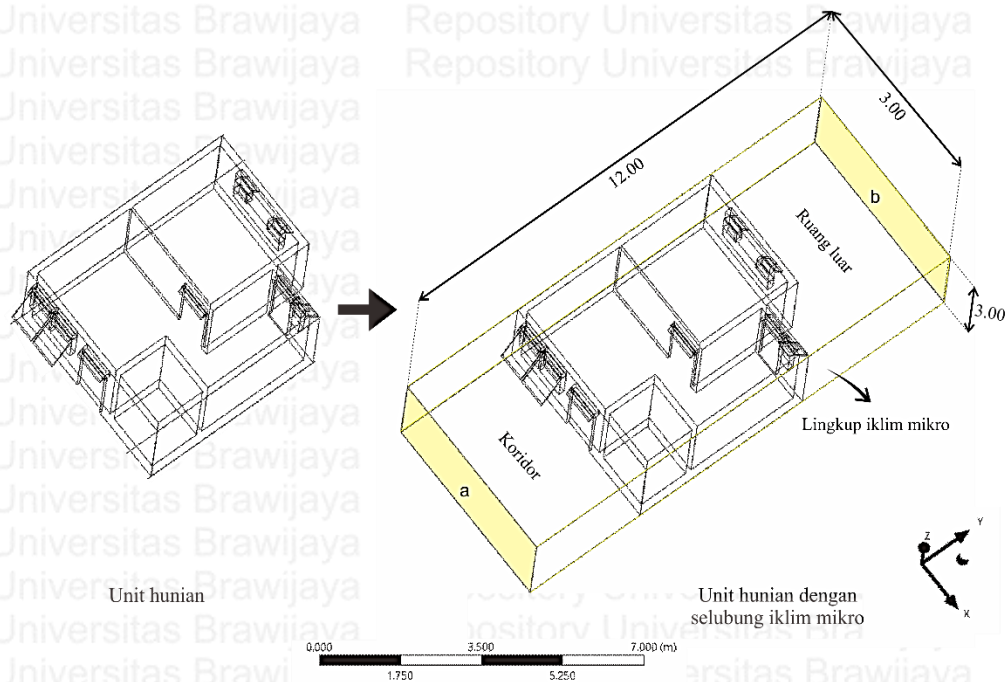
Pengaturan model merupakan pengaturan umum ketika melakukan simulasi. Pengaturan ini berisikan beberapa pengaturan mengenai persamaan yang digunakan pada perhitungan. Persamaan perhitungan utama yang digunakan adalah persamaan energi untuk mengetahui distribusi suhu dan kecepatan angin dalam ruangan. Persamaan energi ini harus diaktifkan terlebih dahulu sebelum melakukan proses iterasi. Pengaturan yang digunakan pada simulasi juga mampu menghitung beban radiasi pada geometri melalui pengaturan orientasi. Data orientasi berupa orientasi bangunan dalam bentuk vektor posisi utara (x,y,z) dan timur (x,y,z) mengikuti kondisi eksisting. Data berupa orientasi ini dapat diubah dari kondisi eksisting untuk melakukan modifikasi pada orientasi bangunan menjadi 4 alternatif arah (utara, timur, selatan, dan barat). Berikut ini adalah pengaturan model yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.2 Pengaturan Model Simulasi

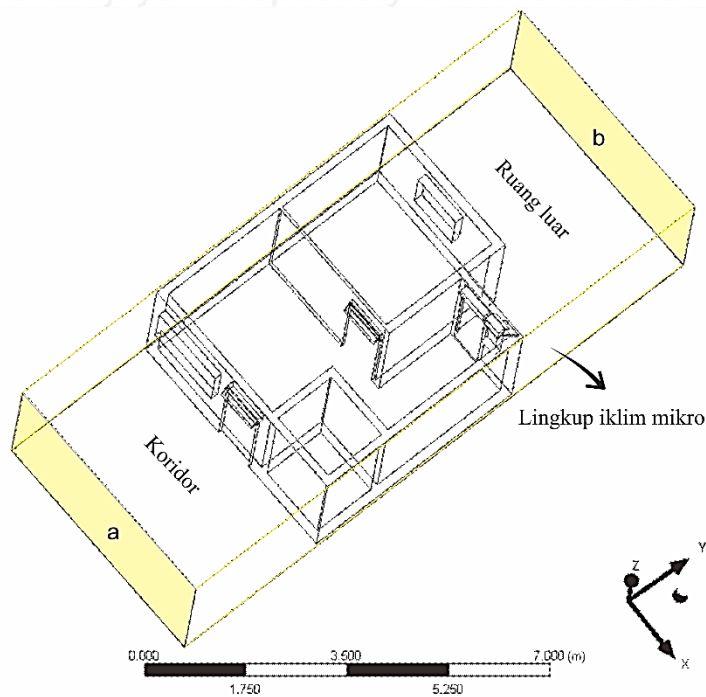
Jenis pengaturan	Data	Keterangan
Orientasi	Utara	Utara (0,1,0); Timur (1,0,0)
	Timur	Utara (-1,0,0); Timur (0,1,0)
	Selatan	Utara (0,-1,0); Timur (-1,0,0)
	Barat	Utara (1,0,0); Timur (0,-1,0)

b. Geometri

Geometri merupakan model 3D yang disimulasikan pada ANSYS. Geometri pada penelitian ini dibuat berdasarkan kondisi eksisting bangunan yang diteliti dengan memfokuskan model hanya pada satu ruang. Model 3D satu ruang tersebut diselubungi oleh balok berukuran $3\text{m} \times 12\text{m} \times 3\text{m}$ sebagai *wind tunnel* untuk membentuk iklim mikro disekitar ruang tersebut. Bidang pada geometri masing-masing didefinisikan untuk menentukan bidang batas sebagai *inlet*, *outlet*, dan *wall*. Seluruh bidang wajib didefinisikan agar tidak terjadi *error* ketika melakukan simulasi. Geometri yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua kategori, yaitu geometri eksisting yang belum mengalami modifikasi dan geometri alternatif yang telah mengalami modifikasi pada bagian bukaan jendela. Geometri alternatif terdiri dari 27 model (9 alternatif dimensi, 9 alternatif posisi, dan 9 alternatif jenis), selain itu terdapat juga alternatif orientasi yang menggunakan model yang sama dengan alternatif terpilih dengan perbedaan pengaturan model pada orientasi.



Gambar 3.6 Geometri simulasi eksisting



Gambar 3.7 Geometri simulasi modifikasi

c. Kondisi batas

Kondisi batas merupakan data yang diinput kedalam ANSYS sebagai parameter kondisi pada bidang geometri. Kondisi batas berisikan pengaturan pada bidang batas berupa *inlet* (bidang masuknya angin), *outlet* (bidang keluarnya angin), dan *wall* (bidang dinding). Data berupa suhu dan kecepatan angin hasil pengukuran lapangan dimasukkan pada kondisi batas bidang untuk menciptakan iklim mikro pada simulasi. Iklim mikro pada penelitian ini dibentuk berdasarkan suhu dan kecepatan angin koridor untuk kondisi bidang *inlet* dan suhu luar bangunan untuk kondisi bidang *outlet*. Berikut ini merupakan salah satu contoh pengaturan kondisi batas masing-masing bidang pada penelitian ini.

Tabel 3.3 Pengaturan kondisi batas simulasi

Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu koridor Kecepatan angin koridor
Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu luar bangunan
Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

3.10 Teknik Sintesis Data

Proses sintesis ini bertujuan untuk memperoleh tanggapan dari proses analisis yang sudah dilakukan. Sintesis data dilakukan dengan metode deskriptif untuk mengetahui bagaimana desain jendela yang dapat menurunkan suhu. Faktor desain jendela yang sudah disimulasi diseleksi berdasarkan suhu terendah untuk mengetahui kriteria jendela yang tepat sebagai pendingin alami. Hubungan antara kriteria jendela dengan suhu yang dihasilkan dikaitkan dengan analisis kondisi jendela yang telah dilakukan sebelumnya.

3.11 Instrumen Penelitian

Proses pengambilan data dan menganalisa data dilakukan menggunakan instrumen atau alat. Berikut ini adalah alat – alat yang digunakan.

1. Kamera

Alat ini digunakan sebagai alat dokumentasi secara visual kondisi lokasi bangunan dan bukaan bangunan.

2. Alat tulis

Alat yang digunakan mencatat proses hingga hasil penelitian.

3. Meteran

Alat yang digunakan untuk mengukur kondisi fisik unit hunian Rusunawa Grudo.

4. Teori

Alat yang digunakan sebagai dasar menganalisa data.

5. Google *Sketch up*

Alat yang digunakan untuk membuat gambar kondisi fisik bangunan dan melakukan simulasi pembayangan

6. Autodesk Inventor

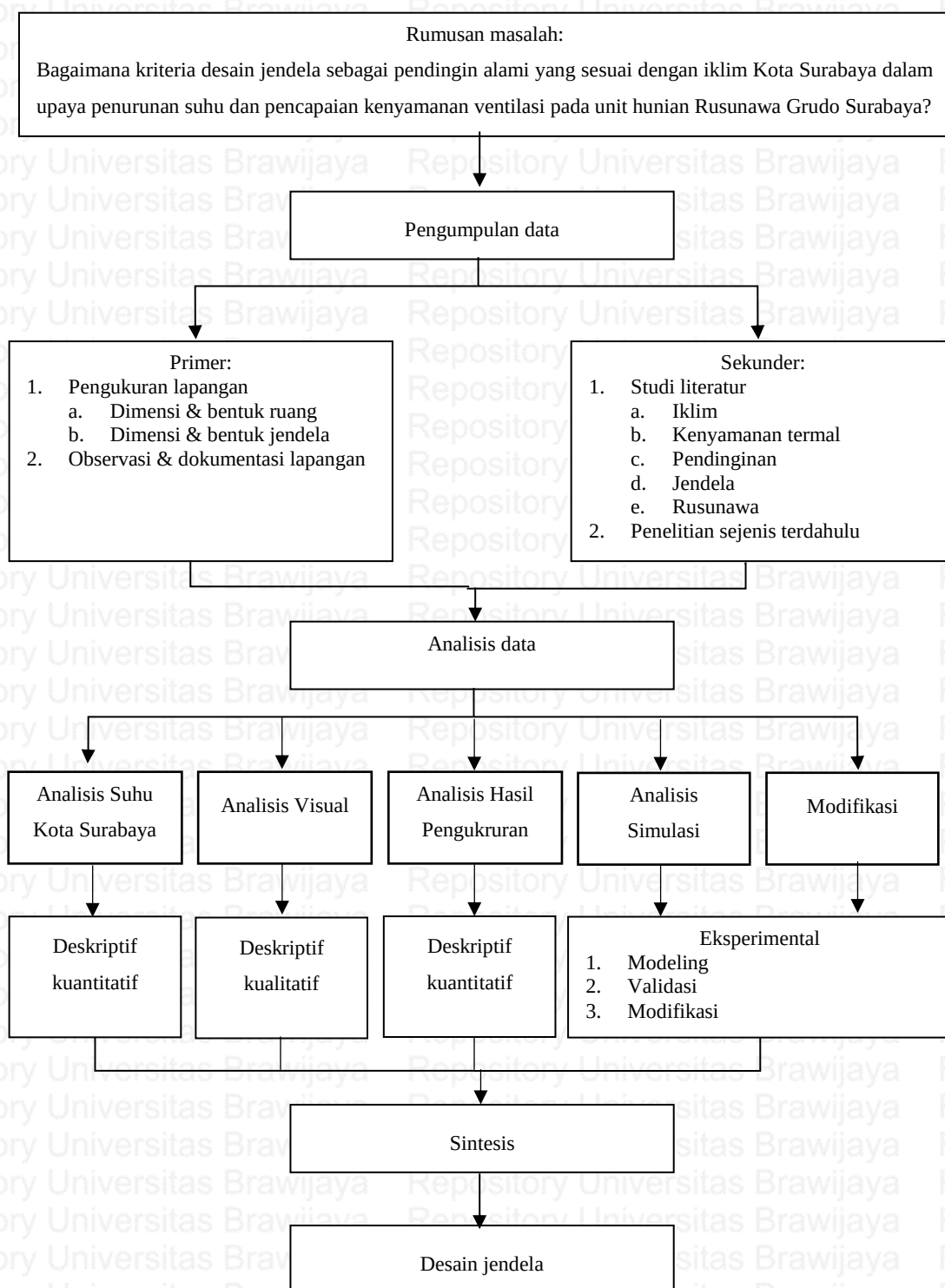
Alat yang digunakan untuk membuat modeling 3D yang kemudian dimasukkan ke dalam *software* ANSYS sebagai geometri.

7. ANSYS 14.5

Alat yang digunakan untuk melakukan simulasi suhu dan kecepatan angin.

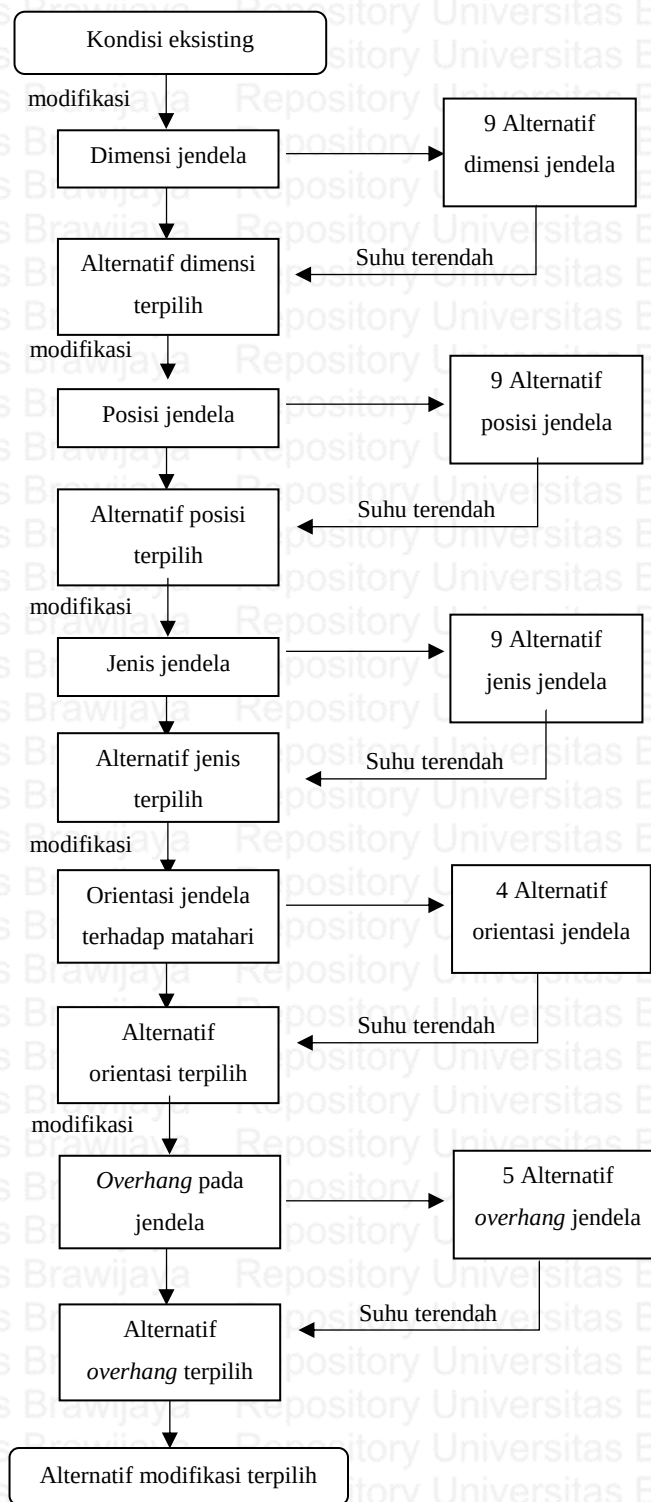
3.12 Kerangka Penelitian

3.12.1 Alur penelitian



Gambar 3.8 Diagram alur penelitian

3.12.2 Alur modifikasi



Gambar 3.9 Diagram alur modifikasi



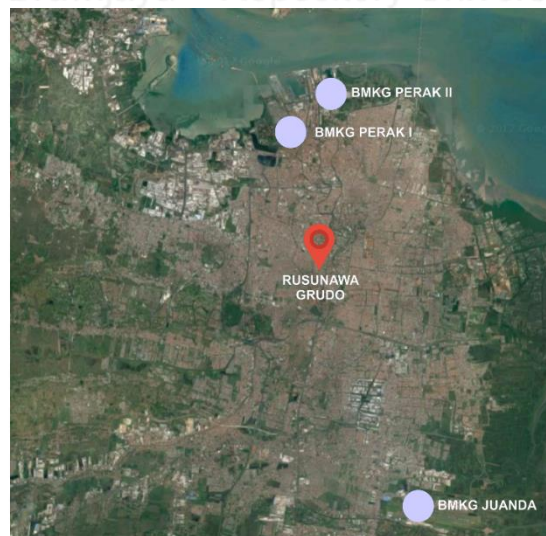
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Objek

4.1.1 Kondisi iklim Kota Surabaya

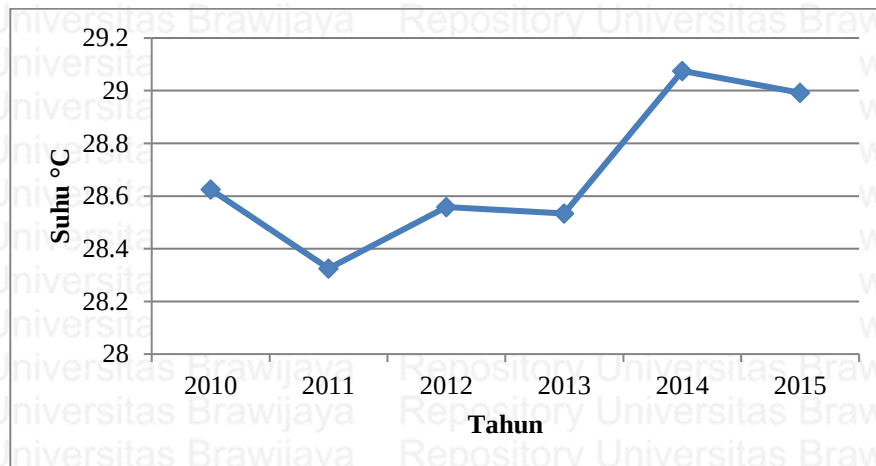
Kota Surabaya merupakan ibu kota provinsi Jawa Timur. Surabaya terletak diantara $112^{\circ} 36'$ – $122^{\circ} 54'$ bujur timur dan $7^{\circ} 21'$ lintang selatan. Batas wilayah Kota Surabaya antara lain yaitu, Selat Madura pada sisi utara dan sisi timur, Kabupaten Sidoarjo pada sisi selatan, dan Kabupaten Gresik pada sisi barat. Kota Surabaya memiliki 3 stasiun pengamat meteorology, yaitu Stasiun Perak I dan Perak II pada sisi utara serta Stasiun Juanda pada sisi selatan. Rusunawa Grudo sendiri terletak di Surabaya Pusat. Lokasi ini berada paling dekat dengan Stasiun BMKG Perak I (lihat gambar 4.1). Sehingga data iklim yang dapat digunakan adalah data suhu bulanan dan tahunan dari hasil pengamatan BMKG Perak I.



Gambar 4.1 Lokasi stasiun BMKG di Kota Surabaya

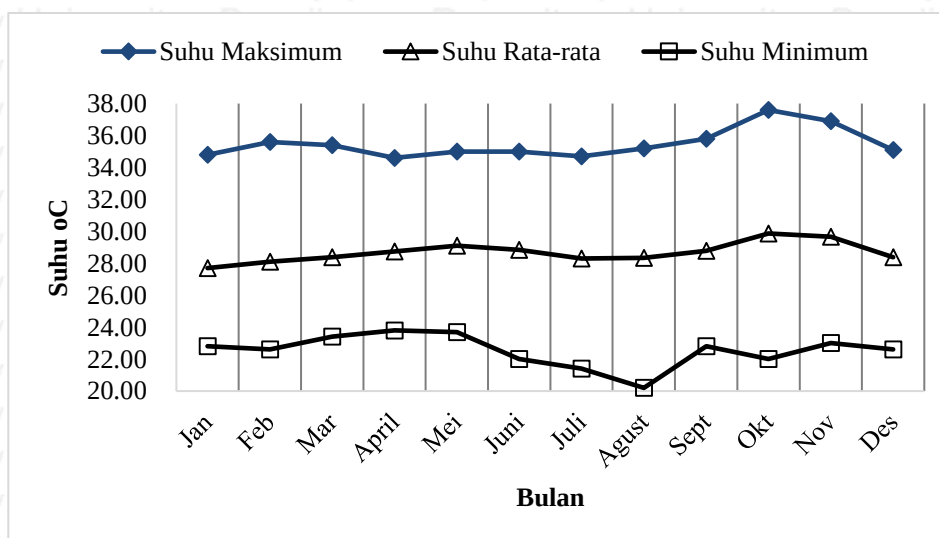
Kondisi suhu Kota Surabaya cenderung meningkat dari 2010 hingga 2015 (lihat gambar 4.2). Rata-rata suhu tahunan Kota Surabaya dari tahun 2010-2015 mencapai $28,3 - 29,07^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata suhu tertinggi berada pada tahun 2014. Perubahan suhu yang cukup drastis dari tahun 2013 menuju 2014 dapat memicu penggunaan pendinginan mekanik apabila sebuah bangunan tidak memiliki pendinginan alami yang efektif. Sehingga perlu adanya perancangan bangunan yang tanggap terhadap iklim sebagai antisipasi meningkatnya suhu dalam kota

Kondisi suhu Kota Surabaya cenderung meningkat dari 2010 hingga 2015 (lihat gambar 4.2). Rata-rata suhu tahunan Kota Surabaya dari tahun 2010-2015 mencapai 28,3 – 29,07 °C dengan rata-rata suhu tertinggi berada pada tahun 2014. Perubahan suhu yang cukup drastis dari tahun 2013 menuju 2014 dapat memicu penggunaan pendinginan mekanik apabila sebuah bangunan tidak memiliki pendinginan alami yang efektif. Sehingga perlu adanya perancangan bangunan yang tanggap terhadap iklim sebagai antisipasi meningkatnya suhu dalam kota.



Gambar 4.2 Rata-rata suhu tahunan Kota Surabaya 2010-2015

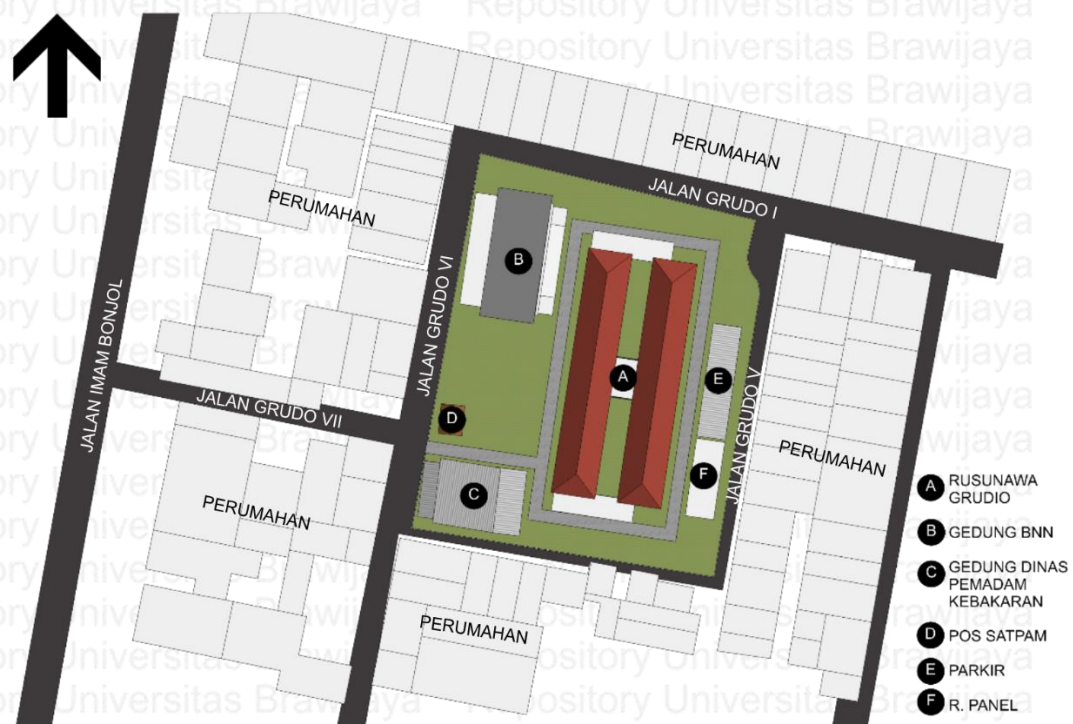
Hasil pengamatan stasiun BMKG Perak I 2010-2015 menunjukkan rata-rata suhu tertinggi berada pada bulan Oktober (lihat gambar 4.3). Suhu tertinggi pada bulan Oktober mencapai 37,6 °C. Suhu pada bulan tersebut dapat menjadi data acuan dalam perancangan bangunan untuk menciptakan kondisi iklim mikro bangunan yang nyaman bagi pengguna. Sedangkan, rata-rata suhu terendah berada pada bulan Agustus dengan suhu terendah mencapai 20,2 °C.



Gambar 4.3 Suhu bulanan Kota Surabaya 2010-2015

4.1.2 Kondisi tapak Rusunawa Grudo Surabaya

Rumah susun merupakan program pemerintah dalam mengatasi kebutuhan hunian yang semakin meningkat akibat padatnya penduduk dalam kota. Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia sekaligus ibu kota Jawa Timur yang memiliki program pembangunan rumah susun. Pembangunan rumah susun di Kota Surabaya telah dilakukan sejak tahun 1975 hingga saat ini. Rusunawa Grudo merupakan salah satu rusun yang dibangun di Kota Surabaya. Rusun ini merupakan salah satu rusun percontohan di Kota Surabaya sehingga kualitasnya cukup baik dibandingkan rusun lainnya dan mampu memperoleh juara I berturut-turut sebagai rusun terbersih dan ter hijau se-Jawa Timur pada tahun 2013 hingga 2015.



Gambar 4.4 Site plan Rusunawa Grudo

Rusunawa Grudo Surabaya pertama kali dibangun pada tahun 2011/2012 oleh Departemen PU. Rusunawa ini merupakan bangunan milik pemerintah Kota Surabaya. Lokasi Rusunawa Grudo Surabaya berada di Surabaya pusat, tepatnya pada Jalan Grudo V/2, Kelurahan Dr Soetomo, Kecamatan Tegalsari. Lokasi yang berada di tengah perkampungan grudo ini sebelumnya merupakan lahan bekas PU Bina Marga Surabaya dan Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Surabaya.



Gambar 4.5 Kondisi lingkungan rusunawa grudo

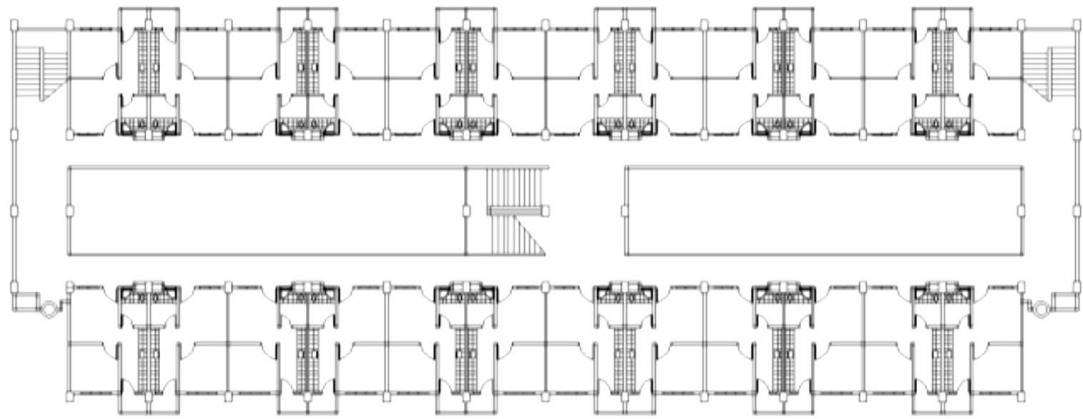
Kawasan Rusunawa Grudo seluas 5.000 m² ini juga terdiri dari gedung Badan Narkotika Nasional Pemerintah Kota Surabaya dan gedung Dinas Pemadam Kebakaran UPTD Surabaya I Pos Grudo. Gedung BNN memiliki ketinggian sekitar 12 m dengan jumlah lantai sebanyak 4 lantai, sedangkan Gedung Dinas Pemadam Kebakaran memiliki ketinggian sekitar 6 m dengan jumlah lantai sebanyak 1 lantai. Bangunan penunjang rusunawa grudo berupa pos satpam, parkir, dan ruang panel memiliki ketinggian sekitar 3 m dengan jumlah lantai sebanyak 1 lantai.



Gambar 4.6 Kondisi bangunan rusunawa grudo

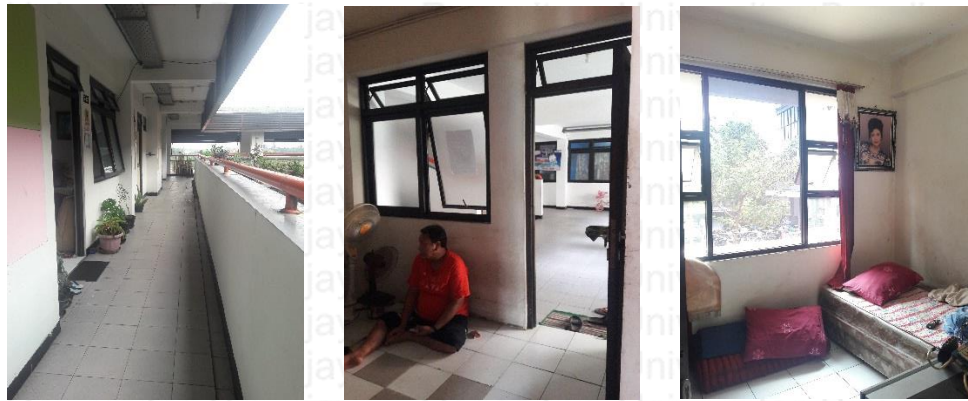
4.1.3 Kondisi bangunan Rusunawa Grudo Surabaya

Bangunan Rusunawa Grudo Surabaya terdiri dari 1 twin blok dengan jumlah lantai sebanyak 5 lantai. Ketinggian total bangunan sekitar 18 m. Rusun ini memiliki total 99 unit kamar hunian. Lantai 1 terdiri dari 3 kamar hunian dan fasilitas rusun berupa kantor pengelola, musholla, ruang pertemuan, *board learning centre*, ruang mesin dan area parkir motor *indoor*. Lantai 2-5 merupakan lantai tipikal yang terdiri dari kamar hunian, masing-masing lantai terdiri dari 24 kamar yang saling berhadapan. Kamar hunian disusun sedemikian rupa dengan koridor semi *double-loaded* dan terdapat *void* diantara koridor sehingga memungkinkan udara dan cahaya masuk ke dalam koridor secara alami.



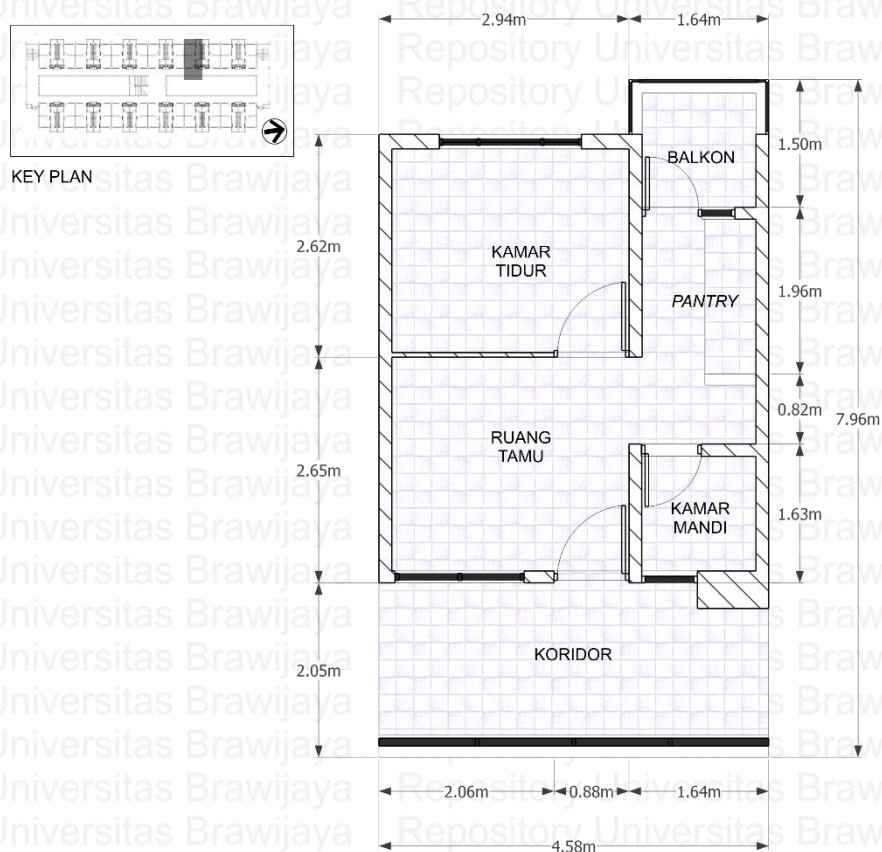
Gambar 4.7 Denah Rusunawa Grudo Surabaya tipikal Lt. 2-5

Sumber : Mufidah *et al.* (2016)



Gambar 4.8 Kondisi ruang dalam rusunawa grudo

Kamar hunian pada rusunawa grudo hanya terdiri dari 1 jenis tipe kamar, yaitu kamat tipe 24. Kamar hunian ini terdiri dari 1 ruang tamu, 1 kamar tidur, 1 kamar mandi, 1 *pantry*, dan balkon dengan total luas kamar, yaitu 24 m². Ketinggian antar lantainya, yaitu 3 m dengan ketinggian plafon 2,6 m dari lantai. Luas masing-masing ruang pada kamar hunian antara lain, 6,6 m² untuk kamar tidur, 7,05 m² untuk ruang tamu, 3,71 m² untuk *pantry*, 1,81 m² untuk kamar mandi, dan 1,79 untuk balkon. Tiap unit hunian memiliki jendela diseluruh ruangnya. Hal ini menunjukkan bangunan telah didesain untuk penghawaan dan pencahayaan alami, namun penelitian oleh Alfata *et al.* (2015) menunjukkan bahwa kondisi Rusunawa Grudo justru memiliki suhu dalam ruang yang lebih tinggi dibandingkan suhu ruang luar.



Gambar 4.9 Denah kamar hunian tipe 24

4.2 Analisis Suhu Kota Surabaya

Indonesia merupakan daerah yang memiliki iklim tropis panas lembab. Kondisi iklim pada skala ini disebut dengan iklim makro. Bangunan yang tanggap terhadap iklim dapat menciptakan iklim mikro didalam bangunan yang mampu memenuhi kenyamanan pengguna, khususnya kenyamanan termal terkait suhu dalam ruangan. Sehingga perlu diketahui data iklim berupa kondisi suhu bulanan dan tahunan dari wilayah bangunan tersebut sebagai pertimbangan untuk menurunkan suhu dalam ruangan dalam mencapai kenyamanan termal.

4.2.1 Komparasi suhu antar kota di Indonesia

Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang berada di daerah pesisir, oleh karena itu kondisi iklim kota surabaya cenderung panas. Beberapa kota besar di Indonesia yang memiliki kondisi iklim serupa, antara lain Jakarta, Yogyakarta, dan Semarang. Ketiga kota tersebut merupakan kota besar yang memiliki penduduk yang padat dan berada di pesisir Pulau Jawa. Berikut ini adalah kondisi geografis dan iklim ketiga kota tersebut.



1. Kota Jakarta

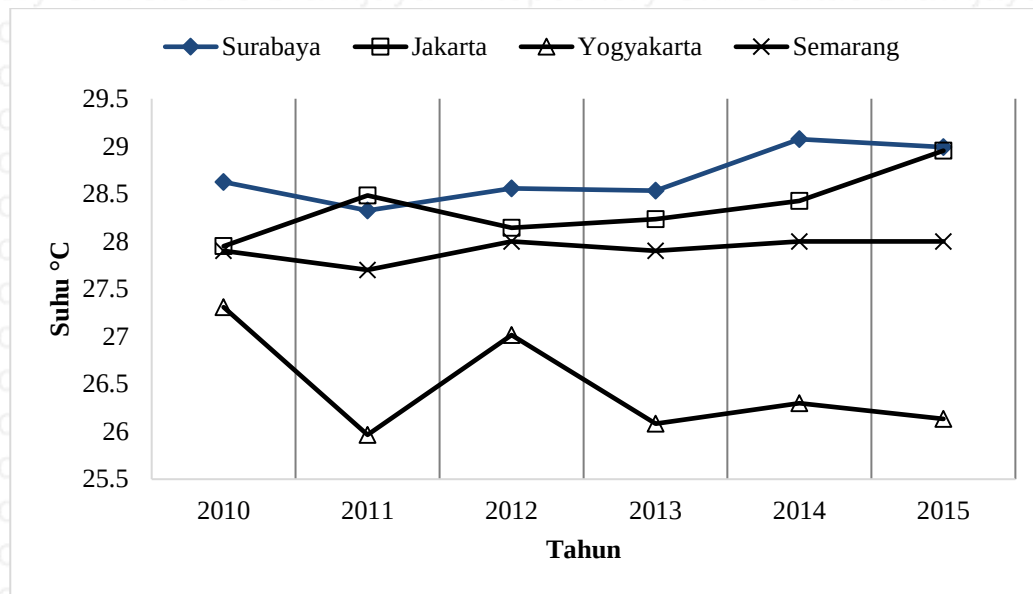
Kota Jakarta merupakan ibu kota negara Indonesia. DKI Jakarta berada di antara 6°12' Lintang Selatan dan 106°48' Bujur Timur. Rata-rata ketinggian Kota Jakarta adalah ± 7 m diatas permukaan air laut. Kota Jakarta merupakan dataran rendah yang dibatasi oleh pantai dari sisi utara yang membentang dari barat ke timur dan berbatasan dengan Laut Jawa, pada sisi selatan dan timur Kota Jakarta dibatasi oleh wilayah provinsi Jawa Barat, dan pada sisi barat dibatasi oleh Provinsi Banten. Kondisi suhu Kota Jakarta pada tahun 2010-2015 cenderung mengalami peningkatan, dengan suhu tertinggi berada pada bulan September yaitu 37 °C dan suhu terendah berada pada bulan Agustus yaitu 22,4 °C.

2. Kota Yogyakarta

Kota Yogyakarta merupakan kota besar yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Posisi Kota Yogyakarta berada di antara 110°24'19" – 110°28'53" Bujur Timur dan 07°15'24" - 07°49'26" Lintang Selatan. Kota Yogyakarta dibatasi oleh Kabupaten Sleman pada sisi utara dan timur serta Kabupaten Bantul pada sisi timur, selatan, dan barat. Kota Yogyakarta berada di daerah lereng aliran Gunung Merapi pada ketinggian rata-rata 114 meter dari permukaan air laut dengan kemiringan lahan relatif datar antara 0 – 2 %. Kondisi suhu Kota Yogyakarta pada tahun 2010-2015 cenderung menurun, dengan suhu tertinggi berada pada bulan Oktober yaitu 36,7 °C dan suhu terendah berada pada bulan Agustus yaitu 17 °C.

3. Kota Semarang

Kota Semarang merupakan kota besar yang menjadi ibu kota Provinsi Jawa Tengah. Posisi Kota Semarang berada di antara 109°35' – 110°50' Bujur Timur dan 06°50' - 07°10' Lintang Selatan. Ketinggian Kota Semarang antara lain 0,75 – 348 di atas garis pantai. Perbatasan Kota Semarang pada sisi utara yaitu Laut Jawa, pada sisi timur yaitu Kabupaten Demak, pada sisi barat yaitu Kabupaten Kendal, dan pada sisi selatan yaitu kabupaten Semarang. Kondisi suhu Kota Semarang pada tahun 2010-2015 cenderung stabil dengan suhu rata-rata tahunan 28 °C.



Gambar 4.10 Komparasi rata-rata suhu tahunan 2010-2015

Rata-rata suhu Kota Surabaya pada periode 2010-2015 apabila dibandingkan dengan kota lainnya, seperti Jakarta, Yogyakarta, dan Semarang cenderung lebih tinggi (lihat gambar 4.4). Meskipun sama-sama mengalami peningkatan suhu dari tahun ke tahun, kecuali pada Kota Yogyakarta, Kota Surabaya memiliki suhu bulanan tertinggi pada bulan Oktober yaitu sebesar 37,6 °C (lihat gambar 4.5). Sedangkan Kota Yogyakarta yang berada pada dataran tinggi memiliki rata-rata suhu paling rendah dibandingkan kota lain yang berada di dataran rendah seperti Surabaya, Jakarta dan Semarang. Kota-kota tersebut sama-sama memiliki suhu bulanan terendah pada bulan Agustus dengan suhu terendah pada Kota Yogyakarta mencapai 19 °C (lihat gambar 4.6).

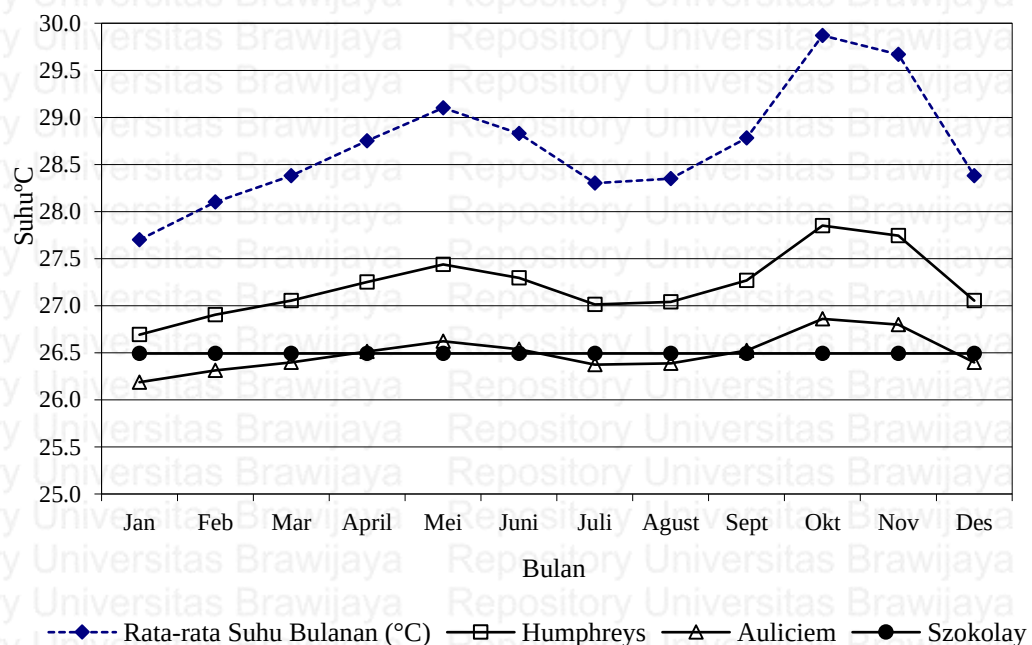
Sehingga dapat disimpulkan bahwa Kota Surabaya memiliki rata-rata suhu paling tinggi dibandingkan kota lain pada periode 2010-2015 dengan suhu sebesar 37,6 °C. Sedangkan Kota Yogyakarta memiliki rata-rata suhu paling rendah pada periode 2010-2015 hingga mencapai 19 °C. Kondisi geografis kota yang berada di dataran rendah cenderung memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan kota yang berada di dataran tinggi.

4.2.2 Suhu netral Kota Surabaya

Suhu netral merupakan kondisi suhu dimana manusia tidak merasa panas atau dingin. Suhu netral perlu diketahui untuk dapat menghitung suhu nyaman. Suhu netral dapat ditentukan melalui rata-rata suhu bulanan pada lingkungan. Persamaan suhu netral yang digunakan adalah persamaan Humphreys, Auliciems dan

Szokolay. Data yang diperlukan untuk menghitung suhu netral adalah melalui rata-rata suhu bulan pada beberapa tahun terakhir.

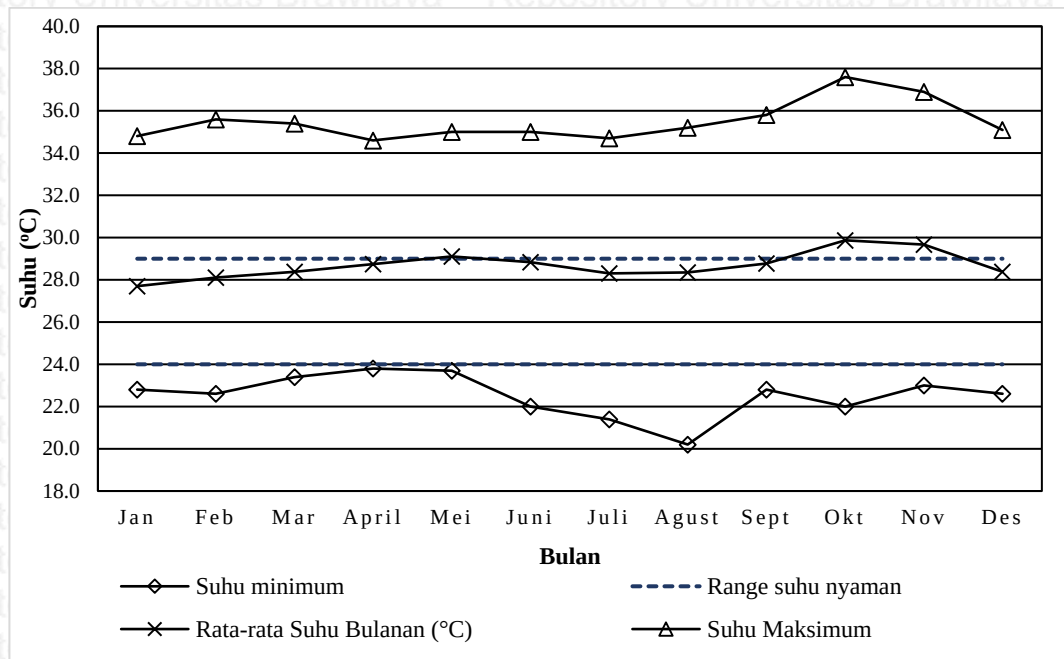
Rata-rata suhu bulanan Kota Surabaya selama 2010-2015 berkisar antara 25,37 – 27,10 °C dengan rata-rata suhu yaitu 28,7 °C. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui suhu netral pada Kota Surabaya. Hasil persamaan menunjukkan suhu netral Kota Surabaya lebih rendah dibandingkan suhu rata-rata bulanan Kota Surabaya (lihat gambar 4.7). Persamaan Humphreys menunjukkan suhu netral yang lebih tinggi dibandingkan dengan persamaan Auliciems dan Szokolay (lihat gambar 4.7). Suhu netral bulanan Kota Surabaya menurut Humphreys berada pada kisaran 27,69 – 27,85 °C. Sedangkan, suhu netral bulanan Kota Surabaya menurut Auliciems berada pada kisaran 26,19 – 26,86 °C. Persamaan Szokolay menunjukkan suhu netral yang konstan sebesar 26,5 °C. Hasil persamaan Szokolay ini digunakan sebagai acuan suhu netral, sehingga besar suhu netral pada Kota Surabaya adalah 26,5 °C.



Gambar 4.11 Suhu netral bulanan Kota Surabaya 2010-2015

Berdasarkan suhu netral tersebut maka dapat ditentukan suhu nyaman pada Kota Surabaya. Batasan suhu yang dapat diterima oleh manusia sebagai zona nyamannya berada pada rentang 5 °C, yaitu $(T_n - 2.5\text{ °C}) - (T_n + 2.5\text{ °C})$. Sehingga ambang batas tertinggi suhu nyaman pada Kota Surabaya dapat ditentukan dengan persamaan $T_n + 2.5\text{ °C}$, yaitu sebesar 29 °C dan ambang batas terendahnya $T_n - 2.5$

°C, yaitu sebesar 24 °C. Sebagian besar rata-rata suhu bulanan di Kota Surabaya pada tahun 2010 – 2015 masih berada pada rentang suhu nyaman, hanya pada bulan Oktober dan November suhu rata-rata berada di atas suhu nyaman.



Gambar 4.12 Suhu nyaman Kota Surabaya 2010-2015

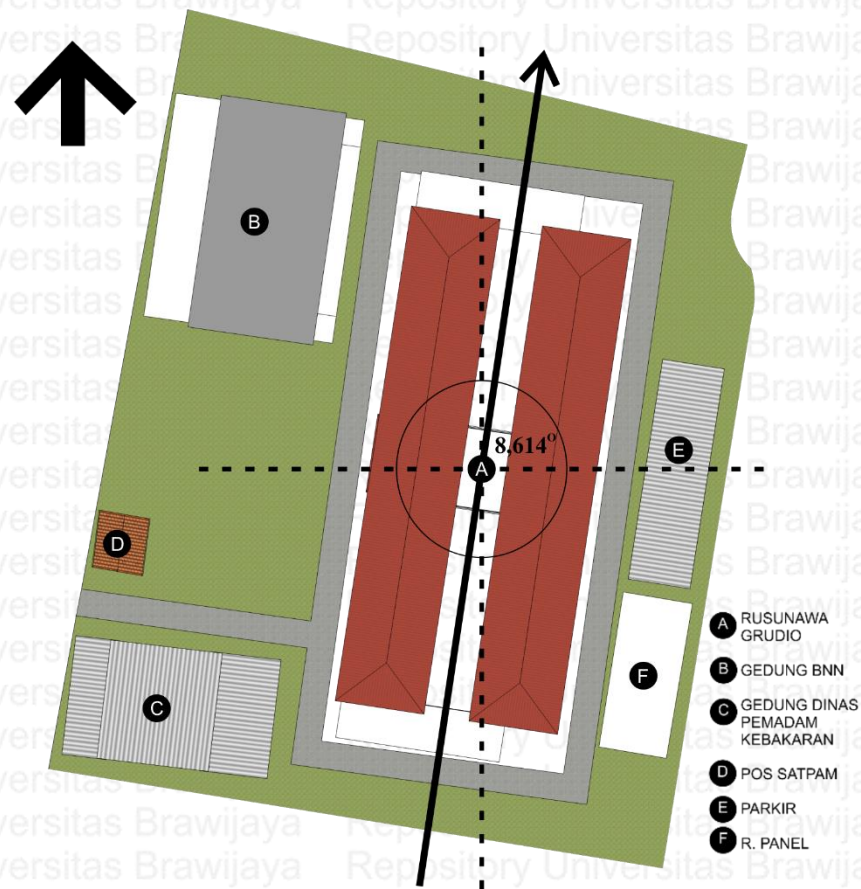
4.3 Analisis Visual

Analisis visual dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik bangunan secara visual melalui pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Analisis visual yang dilakukan pada Rusunawa Grudo berupa analisis pembayangan bangunan, analisis elemen bangunan berupa jendela, serta analisis ruang dan aktifitas. Analisis pembayangan dilakukan untuk mengetahui kondisi fasad bangunan terhadap pembayangan oleh matahari. Analisis jendela eksisting dilakukan untuk mengetahui kondisi dan kesesuaian jendela dengan standar/teori. Analisis ruang dan aktifitas dilakukan untuk mengetahui waktu penggunaan ruang berdasarkan aktifitasnya sebagai pertimbangan pengaruh suhu ketika ruangan digunakan.

4.3.1 Pembayangan bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya Jalan Grudo V/2, Kelurahan Dr Soetomo, Kecamatan Tegalsari. Lokasi ini tepatnya berada pada koordinat -7.277606, 112.736604. Kawasan rusunawa grudo terdiri dari beberapa massa bangunan dengan fungsi berbeda, yaitu bangunan Rusunawa Grudo, Gedung Badan Nasional Narkotika (BNN), Gedung Dinas Pemadam Kebakaran, pos satpam, parkir, dan

ruang panel. Orientasi bangunan rusunawa memanjang utara-selatan dengan sudut kemiringan dari posisi utara sebesar $8,614^{\circ}$ (lihat gambar).



Gambar 4.13 Site plan Rusunawa Grudo

Analisis pembayangan dilakukan menggunakan *software sketch up* untuk mengetahui bagaimana kondisi pembayangan fasad pada bangunan. Validasi penggunaan *software sketch up* dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan simulasi pembayangan agar hasil simulasi valid untuk digunakan dalam penelitian. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembayangan bangunan pada *sketch up* dan foto bangunan eksisting. Pengaturan pembayangan untuk validasi menyesuaikan dengan waktu dan tanggal ketika foto bangunan diambil. Perbandingan dilakukan secara kualitatif untuk mengetahui kesamaan hasil simulasi dengan foto bangunan. Hasil dinyatakan valid apabila area yang terbayangi pada foto dan hasil simulasi serupa. Berikut ini adalah hasil validasi yang dilakukan terkait pembayangan pada *sketch up*.

Tabel 4.1 Validasi pembayangan pada *sketch up*

Tanggal & waktu	Foto bangunan	Hasil simulasi
24 Agustus 14.03		

Validasi : Hasil simulasi menunjukkan pembayangan yang serupa dengan foto bangunan. Hal ini ditunjukkan oleh fasad sisi timur bangunan yang seluruh dindingnya sama-sama terbayangi pada foto maupun hasil simulasi.

24 Agustus 14.20		
---------------------	--	---

Validasi : Hasil simulasi menunjukkan pembayangan yang serupa dengan foto bangunan. Hal ini ditunjukkan oleh area sisi barat yang terbayangi pada lokasi yang serupa baik pada foto maupun hasil simulasi. Area yang terbayangi antara lain berada pada dinding lantai 1, $\frac{1}{3}$ dinding lantai 2-4, dan $\frac{1}{2}$ dinding lantai 5.

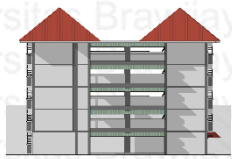
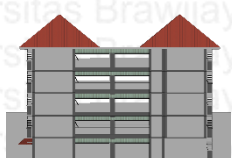
Hasil perbandingan hasil simulasi dengan foto bangunan menunjukkan hasil pembayangan yang serupa pada area yang terbayangi. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi pembayangan melalui *sketch up* dinyatakan valid, sehingga simulasi pembayangan untuk analisis dapat dilakukan selanjutnya. Simulasi pembayangan kemudian dilakukan mengikuti 3 waktu titik matahari, yaitu titik balik matahari pada 22 Juni dan 22 Desember serta titik *equinox* pada 21 Maret. Pembayangan

juga dilakukan pada hari pengukuran suhu, yaitu 31 Agustus - 2 September untuk mengetahui kondisi pembayangan ketika pengukuran suhu. Berikut ini adalah hasil pembayangan bangunan tersebut.

1. Pembayangan bangunan berdasarkan titik balik matahari dan *equinox*

Titik balik matahari terjadi pada tanggal 22 Juni dan 22 Desember, sedangkan titik *equinox* terjadi pada tanggal 21 April. Pembayangan pada ketiga tanggal tersebut dilakukan pada pagi hari pukul 08.00, siang hari pukul 12.00, dan sore hari pukul 16.00. Hasil pembayangan fasad berdasarkan tanggal dan waktu tersebut dibandingkan satu sama lain pada tiap sisi bangunan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi fasad ketika terpapar sinar matahari, bagian mana saja yang berhasil terbayangi dan bagian mana yang belum berhasil terbayangi. Berikut ini adalah hasil simulasi pembayangan tersebut secara runtut dari pukul 08.00, 12.00, dan 16.00.

Tabel 4.2 Pembayangan Bangunan Pukul 08.00

Tanggal	Hasil pembayangan	
21 Maret		
	Utara	Timur
		
	Selatan	Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 21 Maret pukul 08.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi barat, selatan, utara, dan timur. Arah matahari pada waktu ini datang dari arah timur sehingga sisi timur yang paling terpapar sinar matahari. Jendela yang berada pada sisi timur bangunan belum dapat terbayangi sepenuhnya, sehingga dapat menjadi sumber masuknya panas ke dalam ruangan. Fasad pada sisi utara bangunan juga terpapar sinar, namun secara tidak langsung sehingga bayangan yang dihasilkan tidak segelap sisi selatan dan barat. Sisi barat dan selatan membelakangi arah matahari, sehingga seluruh area fasad terbayangi.

22 Juni		
	Utara	Timur



Tanggal

Hasil pembayangan



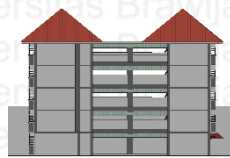
Selatan



Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 22 Juni pukul 08.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi barat, selatan, timur, dan utara. Arah matahari datang dari arah timur dan utara pada waktu ini sehingga sisi utara dan timur yang paling terpapar sinar matahari. Jendela yang berada pada sisi timur bangunan belum dapat terbayangi sepenuhnya, sehingga dapat menjadi sumber masuknya panas ke dalam ruangan. Area fasad pada sisi utara bangunan yang terbayangi berada pada sebagian dinding lantai 5 dan dinding koridor sisanya terpapar sinar matahari. Hal ini dikarenakan fasad utara bangunan hanya memiliki *shading device* pada area koridor dan *overhang* di lantai 5 yang berasal dari atap. Sisi barat dan selatan membelakangi arah matahari, sehingga seluruh area fasad terbayangi.

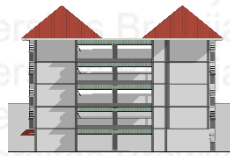
22 Des



Utara



Timur



Selatan



Barat

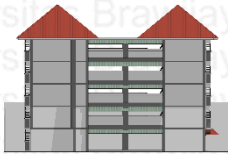
Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 22 Desember pukul 08.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi barat, utara, selatan dan timur. Arah matahari datang dari arah timur pada waktu ini sehingga sisi timur yang paling terpapar sinar matahari. Jendela yang berada pada fasad sisi timur bangunan juga belum dapat terbayangi sepenuhnya, sehingga dapat menjadi sumber masuknya panas ke dalam ruangan. Fasad pada sisi selatan bangunan juga terpapar sinar, namun secara tidak langsung sehingga bayangan yang dihasilkan tidak segelap sisi selatan dan barat. Sisi barat dan selatan membelakangi arah matahari, sehingga seluruh area fasad terbayangi.

Keseluruhan hasil pembayangan pada pukul 08.00 menunjukkan bahwa fasad bangunan yang paling terbayangi secara runtut berada di sisi barat, selatan, utara, dan timur. Hasil simulasi pembayangan pada ketiga tanggal sama-sama menunjukkan bahwa fasad sisi timur bangunan merupakan fasad yang paling banyak terpapar sinar matahari. Hal ini dikarenakan posisi matahari yang

datang dari arah timur. Sisi timur rusunawa merupakan area kamar hunian. Fasad pada sisi timur ini cenderung terpapar sinar matahari, jendela pada dindingnya tidak sepenuhnya terbayangi, baik oleh bangunan sekitar maupun *shading device*. Kondisi ini dapat mengakibatkan meningkatnya suhu dalam kamar hunian sisi timur pada pukul 08.00 karena sebagian fasad terkena beban panas dari radiasi matahari. Hal ini berbeda dengan sisi barat yang juga merupakan area kamar hunian. Fasad sisi barat terbayangi seluruh fasadnya pada waktu ini karena membelakangi arah matahari, sehingga tidak ada masalah pada area hunian tersebut.

Fasad sisi utara yang paling terbayangi pada pukul 08.00 secara runtut berada pada tanggal 22 Juni, 21 Maret, kemudian 22 Desember. Fasad sisi utara pada tanggal 22 Desember masih terpapar sinar matahari, pada 21 Maret juga masih terpapar sinar matahari namun secara tidak langsung, dan pada 22 Juni seluruh area fasad tidak terpapar sinar matahari. Fasad sisi selatan yang paling terbayangi pada pukul 08.00 secara runtut berada pada tanggal 21 Maret, 22 Juni, dan 22 Desember. Seluruh area fasad sisi selatan pada tanggal 21 Maret dan 22 Juni tidak terpapar sinar matahari, sedangkan pada tanggal 22 Desember fasad sisi selatan masih terpapar sinar matahari meskipun secara tidak langsung. Sisi utara dan selatan rusunawa ini merupakan area sirkulasi berupa koridor dan tangga, sehingga tidak masalah apabila area ini masih terpapar sinar matahari.

Tabel 4.3 Pembayangan Bangunan Pukul 12.00

Tanggal	Hasil pembayangan	
21 Maret		
	Utara	Timur
		
	Selatan	Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 21 Maret pukul 12.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi barat, selatan, timur, dan utara dengan seluruh area fasad sisi barat, selatan, dan timur sama-sama terbayangi seluruhnya. Arah matahari berada tegak lurus dengan bangunan pada waktu ini sehingga seluruh sisi fasad bangunan

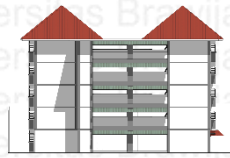


Tanggal

Hasil pembayangan

cenderung terbayangi. Hanya fasad sisi utara yang masih terpapar sinar meskipun secara tidak langsung. Area fasad sisi utara yang terbayangi berada pada dinding lantai 3-5, sedangkan dinding lantai 1 dan 2 hanya terbayangi sebagian kecil dan sisanya terpapar sinar secara tidak langsung.

22 Juni



Utara



Timur



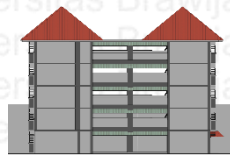
Selatan



Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 22 Juni pukul 12.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi barat, selatan, timur, dan utara dengan seluruh area fasad sisi barat, selatan, dan timur sama-sama terbayangi seluruhnya. Arah matahari berada tegak lurus dengan bangunan pada waktu ini sehingga seluruh sisi fasad bangunan cenderung terbayangi. Hanya fasad sisi utara yang masih terpapar sinar matahari pada waktu ini. Area fasad sisi utara yang terbayangi berada pada dinding lantai 5, sedangkan dinding lantai 1-4 hanya terbayangi sebagian kecil dan sisanya terpapar sinar matahari.

22 Des



Utara



Timur



Selatan



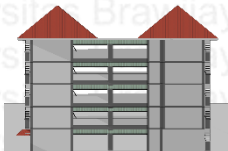
Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 22 Juni pukul 12.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi barat, utara, timur, dan selatan dengan seluruh area fasad sisi barat, utara, dan timur sama-sama terbayangi seluruhnya. Arah matahari berada tegak lurus dengan bangunan pada waktu ini sehingga seluruh sisi fasad bangunan cenderung terbayangi. Hanya fasad sisi selatan yang masih terpapar sinar matahari pada waktu ini, meskipun secara tidak langsung. Area fasad sisi selatan yang terbayangi berada pada dinding lantai 5, sedangkan dinding lantai 1-4 hanya terbayangi sebagian kecil dan sisanya terpapar sinar matahari secara tidak langsung.

Keseluruhan hasil pembayangan pada pukul 12.00 menunjukkan bahwa fasad bangunan yang paling terbayangi secara runtut berada di sisi barat, timur, selatan, dan utara dengan kondisi fasad sisi barat dan timur sama-sama tidak terpapar sinar matahari. Posisi matahari yang berada tegak lurus dengan bangunan pada pukul 12.00 menyebabkan fasad bangunan cenderung tidak terpapar sinar matahari. Kamar hunian yang berada pada sisi timur dan barat berhasil terbayangi dinding luarnya pada pukul 12.00.

Hal ini berbeda dengan fasad sisi utara dan selatan. Fasad sisi utara yang paling terbayangi pukul 12.00 secara runtut adalah pada tanggal 22 Desember, 21 Maret, dan 22 Juni. Fasad sisi utara pada tanggal 22 Juni masih terpapar sinar matahari, pada 21 Maret juga masih terpapar sinar matahari namun secara tidak langsung, dan pada 22 Desember seluruh area fasad tidak terpapar sinar matahari. Fasad sisi selatan yang paling terbayangi pada pukul 12.00 secara runtut berada pada tanggal 21 Maret, 22 Juni, dan 22 Desember. Seluruh area fasad sisi selatan pada tanggal 21 Maret dan 22 Juni tidak terpapar sinar matahari, sedangkan pada tanggal 22 Desember fasad sisi selatan masih terpapar sinar matahari meskipun secara tidak langsung. Sisi utara dan selatan rusunawa ini merupakan area sirkulasi berupa koridor dan tangga, sehingga tidak masalah apabila area ini masih terpapar sinar matahari.

Tabel 4.4 Pembayangan Bangunan Pukul 16.00

Tanggal	Hasil pembayangan	
21 Maret		
	Utara	Timur
		
	Selatan	Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 21 Maret pukul 16.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara runtut adalah sisi timur, utara, selatan dan barat. Arah matahari pada waktu ini datang dari arah barat sehingga sisi barat yang paling terpapar sinar matahari. Jendela yang berada pada sisi barat bangunan belum dapat terbayangi sepenuhnya, sehingga dapat menjadi sumber masuknya panas ke dalam ruangan. Fasad pada sisi selatan bangunan juga terpapar sinar, namun secara tidak langsung sehingga bayangan yang dihasilkan tidak

Tanggal	Hasil pembayangan
	segelap sisi utara dan timur. Sisi timur dan utara membelakangi arah matahari, sehingga seluruh area fasad terbayangi.

22 Juni



Utara



Timur



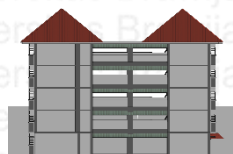
Selatan



Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 22 Juni pukul 16.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi timur, selatan, utara dan barat. Arah matahari pada waktu ini datang dari arah barat sehingga sisi barat yang paling terpapar sinar matahari. Jendela yang berada pada sisi barat bangunan belum dapat terbayangi sepenuhnya, sehingga dapat menjadi sumber masuknya panas ke dalam ruangan. Fasad pada sisi utara bangunan juga terpapar sinar, namun secara tidak langsung sehingga bayangan yang dihasilkan tidak segelap sisi timur dan selatan. Sisi timur dan selatan membelakangi arah matahari, sehingga seluruh area fasad terbayangi.

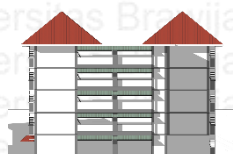
22 Des



Utara



Timur



Selatan



Barat

Analisis: Hasil pembayangan pada tanggal 22 Desember pukul 16.00 menunjukkan bahwa sisi yang paling terbayangi secara urut adalah sisi timur, utara, selatan, dan barat. Arah matahari pada waktu ini datang dari arah barat dan selatan sehingga sisi barat dan selatan yang paling terpapar sinar matahari. Jendela yang berada pada sisi barat bangunan belum dapat terbayangi sepenuhnya, sehingga dapat menjadi sumber masuknya panas ke dalam ruangan. Fasad pada sisi selatan bangunan juga terpapar sinar matahari, yaitu pada dinding sebelah kanan di lantai 1-5. Sisi timur dan utara membelakangi arah matahari, sehingga seluruh area fasad terbayangi.

Keseluruhan hasil pembayangan pada pukul 16.00 menunjukkan bahwa fasad bangunan yang paling terbayangi secara runtut berada di sisi timur, utara,



selatan, dan barat. Hasil simulasi pembayangan pada ketiga tanggal sama-sama menunjukkan bahwa fasad sisi barat bangunan merupakan fasad yang paling banyak terpapar sinar matahari. Hal ini dikarenakan posisi matahari yang datang dari arah barat. Sisi barat rusunawa merupakan area kamar hunian. Fasad pada sisi barat ini cenderung terpapar sinar matahari, jendela pada dindingnya tidak sepenuhnya terbayangi, baik oleh bangunan sekitar maupun *shading device*. Kondisi ini dapat mengakibatkan meningkatnya suhu dalam kamar hunian sisi timur pada pukul 16.00 karena sebagian fasad terkena beban panas dari radiasi matahari. Hal ini berbeda dengan sisi timur yang juga merupakan area kamar hunian. Fasad sisi timur terbayangi seluruh fasadnya pada waktu ini karena membelakangi arah matahari, sehingga tidak ada masalah pada area hunian tersebut.

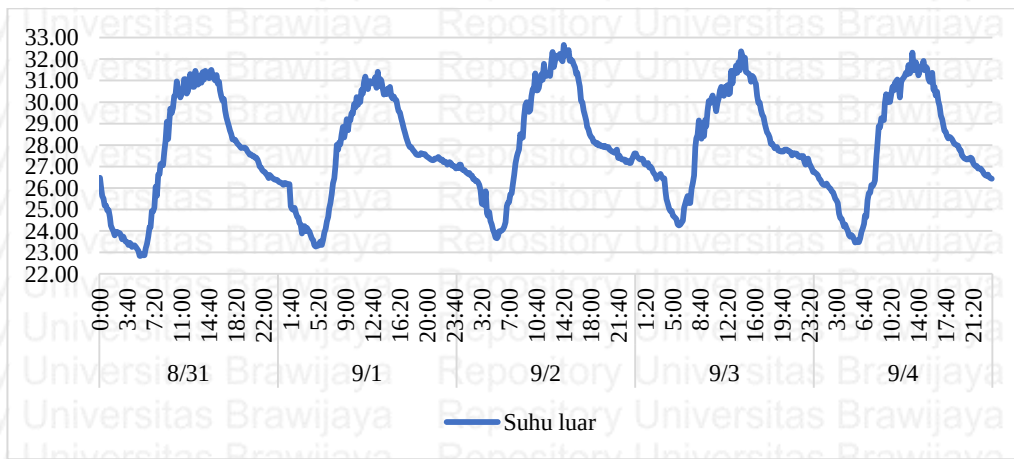
Fasad sisi selatan yang paling terbayangi pada pukul 16.00 secara runtut berada pada tanggal 22 Desember, 21 Maret, dan 22 Juni. Fasad sisi selatan pada tanggal 22 Desember masih terpapar sinar matahari, pada 21 Maret juga masih terpapar sinar matahari namun secara tidak langsung, dan pada 22 Juni seluruh area fasad tidak terpapar sinar matahari. Fasad sisi utara yang paling terbayangi pada pukul 16.00 secara runtut berada pada tanggal 22 Desember, 21 Maret, dan 22 Juni. Seluruh area fasad sisi utara pada tanggal 21 Maret dan 22 Desember tidak terpapar sinar matahari, sedangkan pada tanggal 22 Juni fasad sisi utara masih terpapar sinar matahari meskipun secara tidak langsung. Sisi utara dan selatan rusunawa ini merupakan area sirkulasi berupa koridor dan tangga, sehingga tidak masalah apabila area ini masih terpapar sinar matahari.

Seluruh hasil simulasi pembayangan yang dilakukan berdasarkan titik balik matahari dan titik *equinox* menunjukkan bahwa fasad bangunan yang paling terbayangi adalah sisi selatan, utara, timur, dan barat. Penerapan orientasi dengan pertimbangan fasad sisi terpanjang berada di selatan dan utara dapat meminimalisir paparan sinar matahari terhadap fasad bangunan. Kondisi eksisting bangunan memiliki orientasi yang memanjang utara selatan dengan area unit hunian berada pada sisi timur dan barat. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan eksisting masih belum menggunakan orientasi bangunan yang tepat untuk meminimalisir panas yang masuk ke dalam bangunan. Orientasi

bangunan yang memanjang utara selatan dapat menjadi penyebab tingginya suhu di dalam bangunan.

2. Pembayangan bangunan pada saat pengukuran suhu

Pengukuran suhu dilakukan pada tanggal 31 Agustus – 4 September selama 24 jam. Hasil pengukuran suhu luar bangunan dibandingkan untuk mengetahui waktu suhu tertinggi dan suhu terendah tiap harinya. Waktu suhu tertinggi dan suhu terendah dijadikan acuan untuk melakukan analisis pembayangan pada waktu pengukuran lapangan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi visual fasad bangunan pada saat pengukuran suhu dilakukan. Berikut ini adalah grafik pengukuran suhu berdasarkan data penelitian sebelumnya.



Gambar 4.14 Hasil pengukuran suhu luar

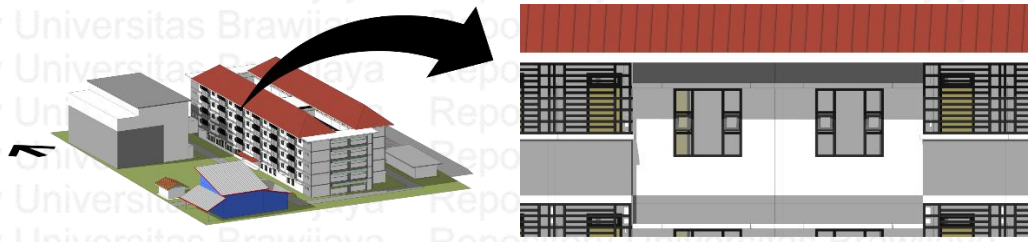
Hasil pengukuran suhu luar bangunan menunjukkan suhu tertinggi berada pada pukul 15.00 dan suhu terendah berada pada pukul 05.00-06.00. Waktu pengukuran dengan suhu paling tinggi berada pada tanggal 2 September. Pembayangan pada waktu pengukuran suhu dilakukan berdasarkan data tersebut, yaitu pada waktu suhu terendah (pukul 05.00-06.00) dan pada waktu suhu tertinggi (pukul 15.00). Pengukuran suhu dilakukan di unit hunian lantai 5 yang berada di sisi barat rusunawa, sehingga simulasi pembayangan yang dilakukan hanya berfokus pada fasad sisi barat. Berikut ini adalah hasil pembayangan pada waktu pengukuran suhu.

Tabel 4.5 Pembayangan pada Pengukuran Suhu

Tanggal	Pembayangan pada suhu terendah	Pembayangan pada suhu tertinggi
31 Agst	 Pukul 05.00	 Pukul 15.00
1 Sept	 Pukul 05.00	 Pukul 15.00
2 Sept	 Pukul 05.00	 Pukul 15.00
3 Sept	 Pukul 06.00	 Pukul 15.00
4 Sept	 Pukul 06.00	 Pukul 15.00

Hasil pembayangan menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan dari tanggal 31 Agustus hingga 4 September, kecuali pada tanggal 3 September dan 4 September yang suhu terendahnya berada pada pukul 06.00. Pembayangan pada suhu terendah menunjukkan kondisi matahari yang baru mulai terbit, sehingga area fasad bangunan sisi barat masih terbayangi seluruhnya. Hal ini dapat menjadi penyebab kondisi unit hunian memiliki suhu yang rendah. Pembayangan pada suhu tertinggi menunjukkan kondisi matahari yang berada di arah barat, sehingga area fasad sisi barat bangunan cenderung terpapar sinar matahari. Kondisi fasad sisi barat yang belum ternaungi secara keseluruhan menyebabkan kamar hunian memiliki suhu yang tinggi.

Kondisi fasad bangunan pada sisi kamar hunian yang diukur suhunya berada pada lantai 5. Pembayangan yang dilakukan pada pukul 15.00 menunjukkan bahwa fasad kamar hunian dinaungi oleh tritisan atap dan *shading device* sekitar $\frac{1}{3}$ fasad lantai 5. Fasad yang belum ternaungi secara keseluruhan dapat menjadi penyebab kamar hunian memiliki suhu yang tinggi, karena terkena beban panas dari radiasi matahari.



Gambar 4.15 Pembayangan fasad kamar pada suhu tertinggi

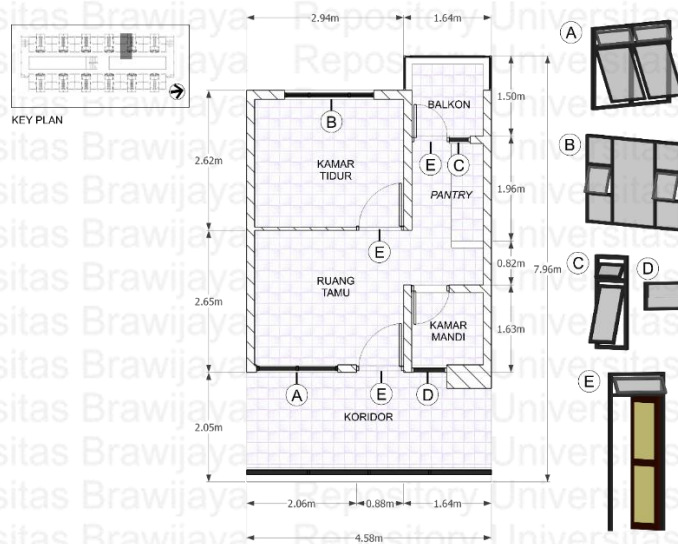
4.3.2 Jendela

Rusunawa merupakan hunian vertikal yang terdiri dari beberapa kamar hunian, sehingga fasad bangunan didominasi oleh bukaan jendela dari kamar hunian (lihat gambar). Jenis jendela pada fasad rusunawa grudo tipikal mulai dari lantai 2 hingga lantai 5, pada lantai 1 jenis jendela berbeda karena fungsi ruangan didominasi oleh fasilitas rusunawa. Jendela pada bangunan rusunawa didominasi oleh jendela *awning* yang memungkinkan terjadinya penghawaan alami dalam ruangan.



Gambar 4.16 Tampak rusunawa grudo sisi barat

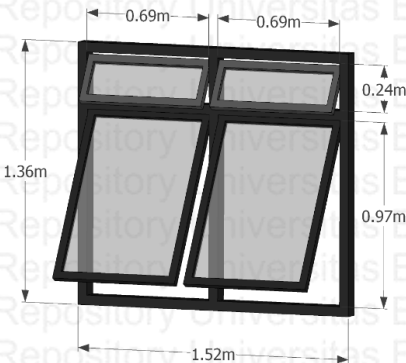
Analisis jendela difokuskan pada jendela yang berada di kamar hunian sebagai fungsi utama rusunawa. Jenis jendela yang dominan pada kamar hunian juga merupakan jendela *awning*. Desain jendela yang berbeda memberikan pengaruh yang berbeda terhadap pendinginan ruang. Faktor desain jendela sebagai pendingin alami yang berpengaruh terhadap suhu, antara lain adalah dimensi jendela, posisi jendela dari lantai, dan jenis jendela yang digunakan. Berikut ini merupakan *keyplan* peletakan jendela pada kamar hunian.

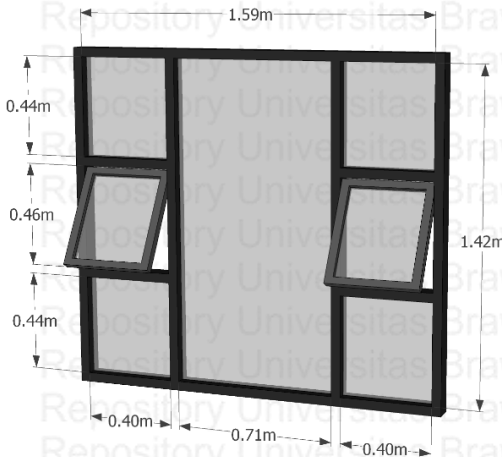


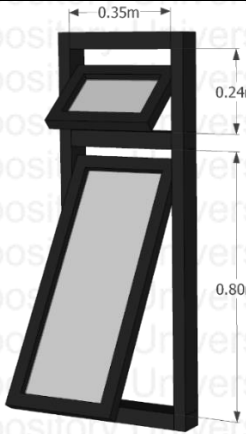
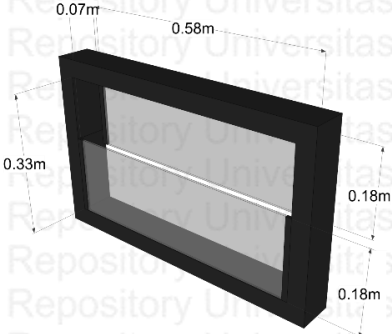
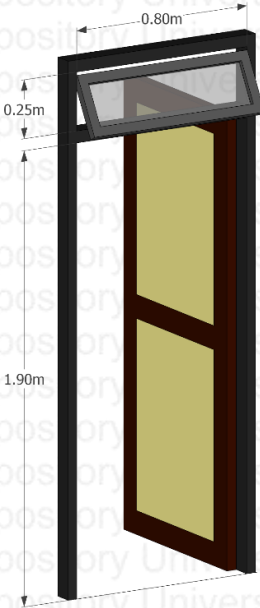
Gambar 4.17 Keyplan jendela pada unit kamar

Kamar hunian pada rusunawa grudo menggunakan 5 tipe jendela berbeda dari segi dimensi, jenis, dan posisinya. Ruang pada kamar hunian memiliki jendela masing-masing yang dapat dimanfaatkan untuk memasukkan udara ke dalam ruangan. Pintu pada tiap ruang juga dilengkapi dengan jendela *bouven* di atasnya sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran udara antar ruang. Berikut ini adalah kondisi jendela eksisting pada kamar hunian.

Tabel 4.6 Kondisi Jendela Eksisting

Tipe	Foto Bukaan	Dimensi	Keterangan
A.			Jendela awning
			Posisi
			+ 0.89
			Luas
			1.67 m ²

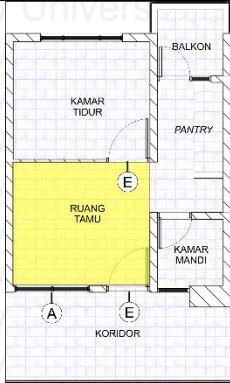
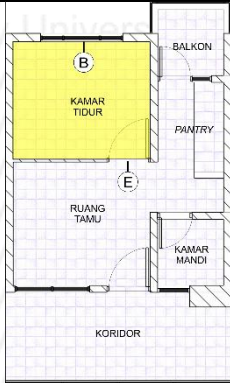
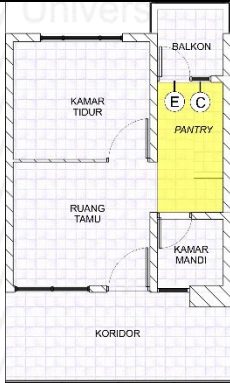
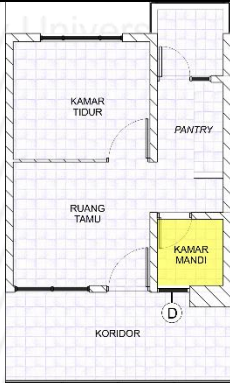
B.			Jendela awning dan fixed
			Posisi
			+0.81
			Luas
			Awning = 0,368 m ²
			Fixed = 1.7122 m ²

Tipe	Foto Bukaan	Dimensi	Keterangan
C.			Jendela <i>awning</i> Posisi +1.05 Luas 0.364 m²
D.			Jendela <i>bouvenlicht</i> Posisi +1.84 Luas 0.1914 m²
E.			Pintu dengan <i>bouven tipe awning</i> Posisi <i>Bouven tipe awning</i> = +1.90 Pintu = +0.00 Luas <i>Bouven tipe awning</i> = 0,2 m² Pintu = 1,52 m²

Standar penghawaan alami pada rusunawa menurut Permenpu No. 60/PRT/1992 adalah terjadinya *cross ventilation* dan luas jendela penghawaan minimal 1 % dari luas ruang, sedangkan menurut Lechner (2015) pada daerah iklim panas lembab luas jendela penghawaan minimal 20% dari luas lantai untuk mencapai kenyamanan. Desain seluruh jendela dari segi dimensi sudah sesuai dengan standar menurut Permenpu No. 60/PRT/1992 (lihat tabel 4.7). Standar

menurut Lechner (2015) hanya terpenuhi pada ruang tamu dan kamar tidur, sedangkan pada *pantry* dan kamar mandi masih belum terpenuhi.

Tabel 4.7 Kebutuhan Dimensi Jendela

Nama ruang	Luas (m ²)	Kebutuhan jendela (m ²)	Keterangan kebutuhan
	Ruang	Permenpu No. 60/PRT/1992	
	7,05	0,705	
	Jendela	Lechner	Terpenuhi
	Jendela A dan E = 3,59	1,41	
	Ruang	Permenpu No. 60/PRT/1992	
	6,6	0,66	
	Jendela	Lechner	Terpenuhi
	Jendela B dan E = 2,088	1,32	
	Ruang	Permenpu No. 60/PRT/1992	
	3,71	0,371	Terpenuhi menurut Permenpu No. 60/PRT/1992.
	Jendela	Lechner	Belum terpenuhi menurut Lechner, masih kurang 0,178 m ² .
	Jendela C dan E = 0,564	0,742	
	Ruang	Permenpu No. 60/PRT/1992	
	1,81	0,181	Terpenuhi menurut Permenpu No. 60/PRT/1992.
	Jendela	Lechner	Belum terpenuhi menurut Lechner, masih kurang 0,1706 m ² .
	Jendela D = 0,1914	0,362	
Kamar mandi			

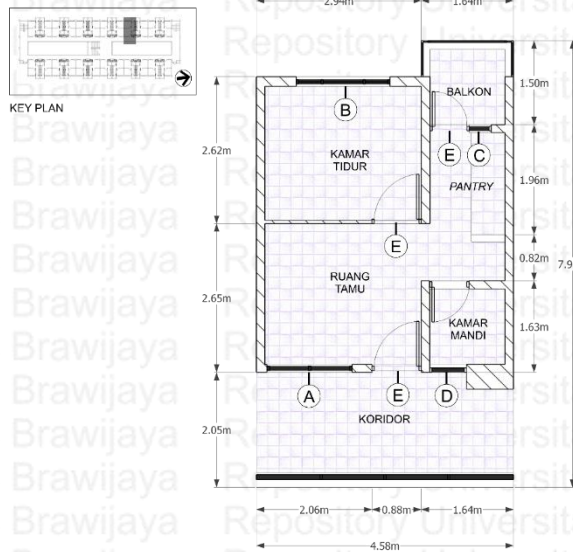
Posisi jendela pada ruang tamu, kamar tidur dan *pantry* berada ditinggikan 0,81 – 1,05 m di atas lantai. Ketinggian ini sesuai dengan aktifitas berdiri manusia, sehingga jendela pada posisi ini mampu memberikan kondisi termal yang sesuai dengan posisi aktifitas pengguna. Jendela kamar mandi menggunakan jendela *bouven* yang berada ditinggikan 1,90 m. Ketinggian ini dapat menjaga privasi pengguna ketika menggunakan kamar mandi.

Jenis jendela kamar hunian didominasi oleh jendela *awning*, padahal jendela jenis *awning* justru membelokkan udara ke arah plafon yang berada di atas zona aktifitas manusia. Kondisi ini kurang sesuai pada iklim panas lembab yang cenderung membutuhkan pendinginan pada permukaan kulit manusia. Efektifitas masuknya angin ke dalam ruang menggunakan jendela ini adalah 75%. Peletakan *shading device* yang menempel pada dinding bangunan juga mendorong udara yang masuk berbelok ke atas plafon menjauhi zona aktifitas manusia.

Kelebihan dari jendela ini dari segi lain adalah poros daun jendelanya berada disisi atas sehingga mampu menahan tampias air hujan dan memiliki keamanan terhadap tindakan kejahatan karena tidak mudah dimasuki orang. Seluruh tipe jendela pada kamar hunian memiliki bukaan udara sehingga dapat dimanfaatkan untuk memasukkan dan mengeluarkan udara pada ruangan, meskipun udara yang masuk belum menciptakan kondisi termal yang nyaman.

4.3.3 Ruang dan aktifitas

Rusunawa grudo merupakan bangunan dengan fungsi primer berupa hunian. Fasilitas utama hunian pada rusunawa adalah unit hunian dengan pelaku berupa penyewa unit atau penghuni. Pelaku yang berada di dalam unit hunian melakukan berbagai aktifitas tiap harinya. Unit hunian seluas 24 m² ini terdiri dari 5 ruang, antara lain ruang tamu, kamar tidur, kamar mandi, *pantry*, dan balkon. Tiap ruang pada unit hunian memiliki fungsi yang berbeda dengan aktifitas yang berbeda pula. Berikut ini merupakan ruang dalam hunian beserta aktifitas di dalamnya.



Gambar 4.18 Denah unit hunian Rusunawa Grudo

Tabel 4.8 Gambaran Umum Waktu Aktifitas Berdasarkan Ruangnya

Jenis ruang	Aktifitas	Waktu aktifitas			
		Pagi	Siang	Sore	Malam
Ruang tamu	Bertamu				
	Menonton tv				
	Makan				
Kamar tidur	Tidur				
	Belajar				
Pantry	Memasak				
	Cuci piring				
Kamar mandi	Mandi/ Buang air				
	Mencuci pakaian				
Balkon	Menjemur pakaian				

Ket:  Jarang  Sering  Selalu

Penggunaan ruang dalam unit hunian apabila dijabarkan berdasarkan waktu aktifitasnya, maka dapat diketahui seberapa sering penggunaan ruangnya. Aktifitas pada masing-masing ruang dijabarkan secara umum sehingga dapat diketahui penggunaan ruang pada masing-masing waktu. Penjabaran aktifitas dikaitkan dengan fungsi ruang dan hasil pengamatan. Aktifitas bertamu umumnya tidak dilakukan setiap hari, antar penghuni cenderung berkumpul di teras apabila ingin bersosialisasi dikarenakan luas ruang tamu yang terbatas. Aktifitas menonton tv bisa dilakukan setiap saat, hampir seluruh penghuni memiliki tv di ruang tamunya. Menonton tv cenderung dilakukan pada sore dan malam hari ketika seluruh keluarga telah berkumpul. Aktifitas makan dilakukan pada pagi hari, siang, dan malam hari apabila sedang berada di dalam unit hunian. Kamar tidur digunakan pada malam hari untuk tidur, tidak jarang juga ada yang tidur pada siang harinya. Keluarga yang memiliki anak, menggunakan kamarnya untuk anak belajar.

Aktifitas memasak umumnya dilakukan pada pagi hari ataupun sore hari, aktifitas ini umumnya diikuti oleh aktifitas mencuci piring. Mandi/buang air dapat dilakukan kapan saja dengan durasi yang cukup rendah. Aktifitas mencuci dan menjemur pakaian biasanya dilakukan pada hari sabtu/minggu, hal ini mengikuti peraturan penghuni yang telah ditetapkan bahwa penghuni sebaiknya tidak menjemur selain di akhir minggu untuk menjaga kerapihan di dalam rusun.

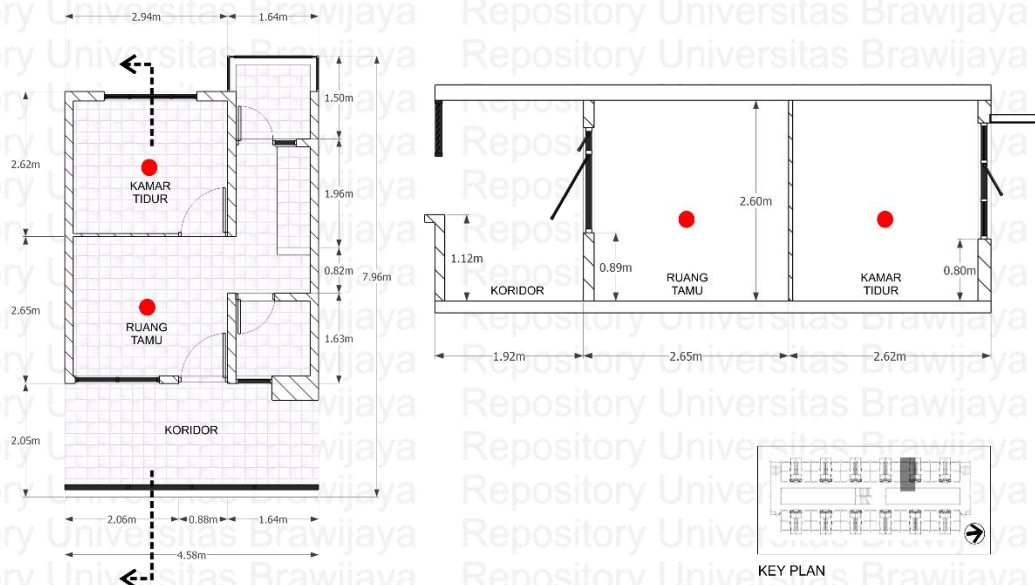
Waktu penggunaan ruang ini dapat dikaitkan dengan suhu dalam ruangan untuk mengetahui bagaimana kondisi suhu dalam ruang ketika ruang sedang digunakan. Aktifitas pada pagi hari cenderung dilakukan pada ruang tamu dan *pantry*, diikuti oleh penggunaan kamar mandi. Siang harinya, aktifitas cenderung dilakukan pada ruang tamu dan kamar tidur. Sore harinya aktifitas banyak dilakukan di ruang tamu, kamar tidur, dan *pantry*. Malam harinya, aktifitas banyak dilakukan di kamar tidur dan ruang tamu. Hasil penjabaran tersebut menunjukkan bahwa ruang yang selalu digunakan adalah ruang tamu dan ketika tidur ruang yang digunakan adalah kamar tidur, sehingga ruang tamu dan kamar tidur merupakan ruang penting pada unit hunian Rusunawa Grudo. Pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya juga memfokuskan kondisi suhu pada ruang tamu dan kamar tidur. Kondisi suhu pada kedua ruang tersebut lebih berpengaruh dibandingkan ruang lainnya.

4.4 Analisis Data Pengukuran

4.4.1 Data pengukuran

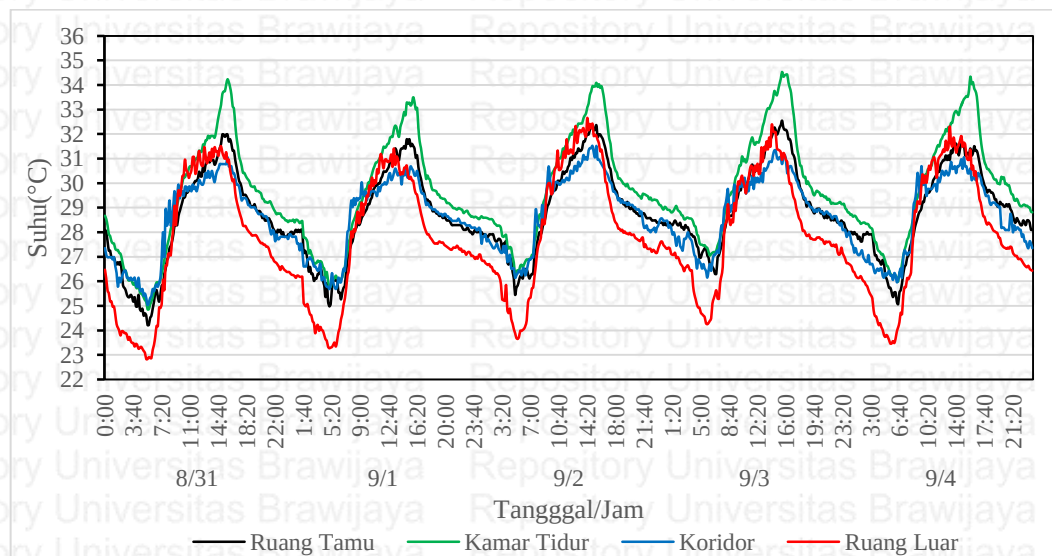
Kondisi termal bangunan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah suhu udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara. Suhu udara merupakan faktor paling dominan dalam mempengaruhi kenyamanan termal, oleh karena itu suhu udara digunakan sebagai parameter keberhasilan pendinginan alami dalam bangunan. Kecepatan angin juga mempengaruhi kondisi ventilasi dalam bangunan yang mendukung terjadinya pendinginan. Data berupa suhu udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara ini diperlukan untuk mengetahui bagaimana kondisi penerapan pendinginan alami pada Rusunawa Grudo Surabaya. Data tersebut nantinya juga digunakan sebagai acuan untuk melakukan analisis simulasi. Data pengukuran suhu udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya oleh Alfata, *et al* (2015). Pengukuran data tersebut dilakukan pada tanggal 31 Agustus – 4 September selama 24 jam. Pengukuran

dilakukan di luar bangunan dan di salah satu kamar hunian yang terletak di sisi barat lantai 5. Titik pengukuran berada ditengah ruang tamu dan kamar tidur dengan ketinggian 1,1 m (lihat gambar). Kondisi bukaan jendela pada ruangan tetap terbuka ketika dilakukan pengukuran.



Gambar 4.19 Titik pengukuran suhu

Data pengukuran yang pertama adalah suhu udara. Pengukuran suhu udara dilakukan di ruang tamu, kamar tidur, koridor, dan ruang luar. Data pengukuran tersebut dirangkum untuk dianalisis lebih jauh untuk mengetahui bagaimana kondisi suhu di dalam ruang ketika menggunakan pendinginan alami dan bagaimana perbandingannya dengan suhu nyaman Kota Surabaya yang telah dihitung sebelumnya. Berikut ini adalah grafik hasil pengukuran suhu pada 31 Agustus – 4 September.

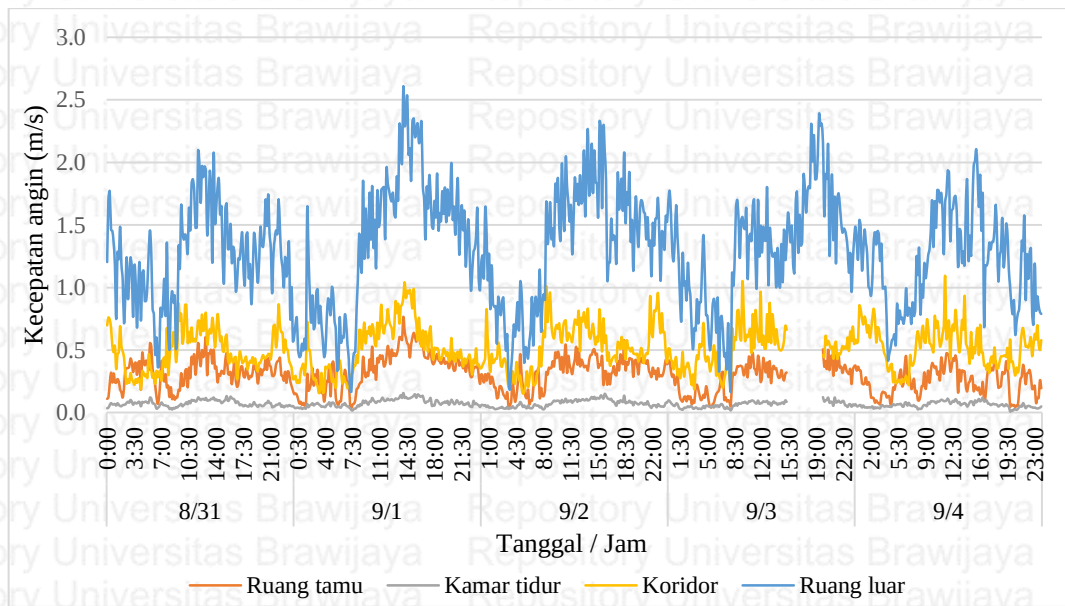


Gambar 4.20 Data pengukuran suhu

Hasil pengukuran selama 5 hari menunjukkan kenaikan suhu tiap harinya pada pukul 07.00 hingga pukul 16.00, pada waktu ini ruang tamu merupakan ruang yang cenderung digunakan untuk melakukan berbagai aktifitas, seperti berkumpul, menonton tv, dan makan-minum. Kenaikan suhu tersebut memberikan pengaruh terhadap penghuni yang melakukan aktifitas di ruang tamu. Penurunan suhu selanjutnya terjadi pada pukul 16.00 hingga 07.00, berbeda dengan waktu sebelumnya pada waktu ini kamar tidur merupakan ruang yang cenderung digunakan karena merupakan waktu untuk tidur. Kondisi suhu ruang dalam apabila dibandingkan dengan ruang luar menunjukkan kondisi suhu yang lebih tinggi dibandingkan suhu luar, terutama pada kamar tidur yang memiliki suhu paling tinggi dibandingkan yang lain.

Hasil pengukuran suhu tertinggi berada pada pukul 15.00-16.00 dengan suhu sebesar 34,5 °C, sedangkan suhu terendah berada pada pukul 05.00-06.00 dengan suhu sebesar 22,8 °C. Hal ini sesuai dengan hasil analisis pembayangan yang dilakukan sebelumnya, bahwa kondisi pembayangan fasad pada pukul 15.00-16.00 hanya terbayangi sebesar $\frac{1}{3}$ area dinding fasad sehingga memungkinkan fasad ruang terkena beban panas dari radiasi matahari. Kondisi pembayangan pada pukul 05.00-06.00 menunjukkan bahwa kondisi matahari baru mulai terbit sehingga fasad bangunan belum terkena beban panas dari radiasi matahari.

Data pengukuran kedua adalah kecepatan angin. Pengukuran kecepatan angin dilakukan di ruang tamu, kamar tidur, koridor, dan ruang luar. Data pengukuran tersebut dirangkum untuk dianalisis lebih jauh untuk mengetahui bagaimana kondisi kecepatan angin sebagai ventilasi di dalam ruang ketika menggunakan pendinginan alami dan bagaimana perbandingannya dengan kenyamanan ventilasi berdasarkan teori literatur. Berikut ini adalah grafik hasil pengukuran kecepatan angin pada 31 Agustus – 2 September.



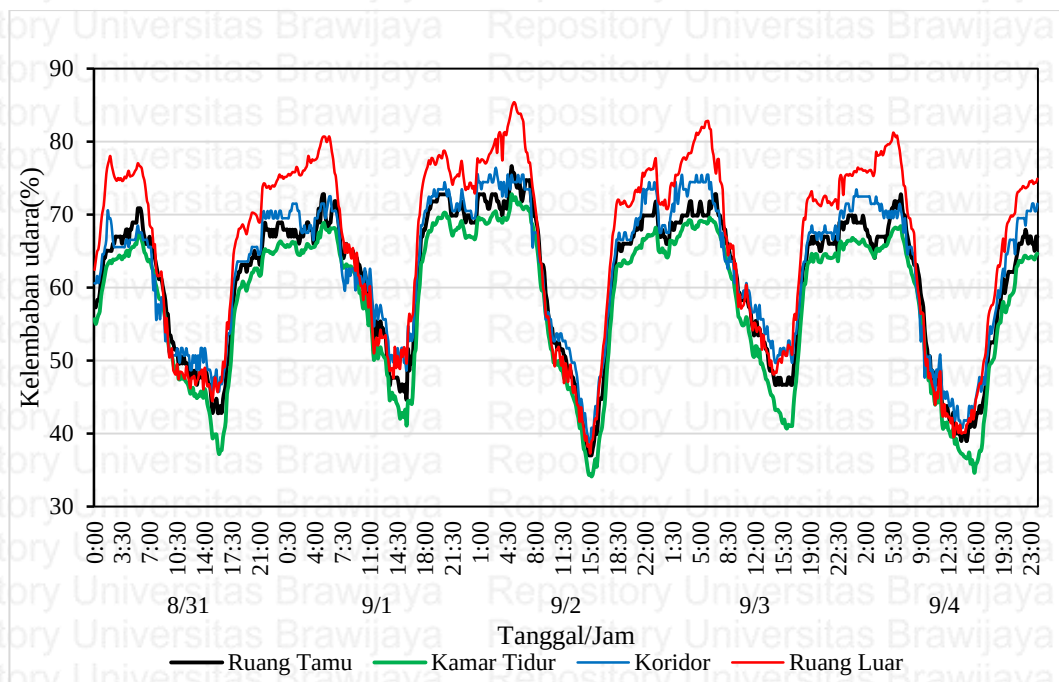
Gambar 4.21 Data pengukuran kecepatan angin

Kondisi kecepatan angin hasil pengukuran sedikit berbeda dengan kondisi suhu, pada ruang luar kondisi angin cukup tinggi dibandingkan kondisi ruang dalam. Hasil pengukuran selama 5 hari menunjukkan kenaikan kecepatan angin tiap harinya pada pukul 05.00 hingga pukul 12.00, pada waktu ini ruang tamu merupakan ruang yang cenderung digunakan untuk melakukan berbagai aktifitas, seperti berkumpul, menonton tv, dan makan-minum. Kenaikan kecepatan angin tersebut dapat meningkatkan kondisi ventilasi ruangan untuk membantu pencapaian kenyamanan terhadap penghuni yang melakukan aktifitas di ruang tamu. Penurunan kecepatan angin selanjutnya terjadi pada pukul 12.00 hingga 05.00, berbeda pada waktu ini ruang tamu dan kamar tidur merupakan ruang yang cenderung digunakan untuk beraktifitas.

Hasil pengukuran kecepatan angin tertinggi berada pada siang hari, yaitu pukul 14.00-16.00 dengan kecepatan sebesar 2,6 m/s dan kecepatan angin terendah berada pada pukul 05.00-06.00 dengan kecepatan sebesar 0 m/s. Hasil pengukuran menunjukkan kecepatan angin yang masuk ke ruang dalam menurun. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang salah satunya adalah kondisi jendela. Jenis jendela eksisting berupa awning mampu memasukkan prosentase angin sebesar 75%, namun penurunan kecepatan angin yang terjadi lebih dari 75%. Pengendalian angin dalam ruang melalui jendela sebagai pendingin alami cukup penting, karena pada iklim tropis penurunan suhu mencapai kondisi nyaman sangat

sulit sehingga dibutuhkan pengaruh angin untuk mengendalikan kondisi ventilasi bangunan hingga mencapai kenyamanan.

Data pengukuran ketiga adalah kelembaban udara. Pengukuran kelembaban udara dilakukan di ruang tamu, kamar tidur, koridor, dan ruang luar. Data pengukuran tersebut digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi termal dalam bangunan. Analisis lebih lanjut mengenai kelembaban udara tidak dilakukan karena parameter pendinginan alami yang digunakan adalah suhu dan kecepatan angin. Berikut ini adalah grafik hasil pengukuran kecepatan angin pada 31 Agustus – 2 September.

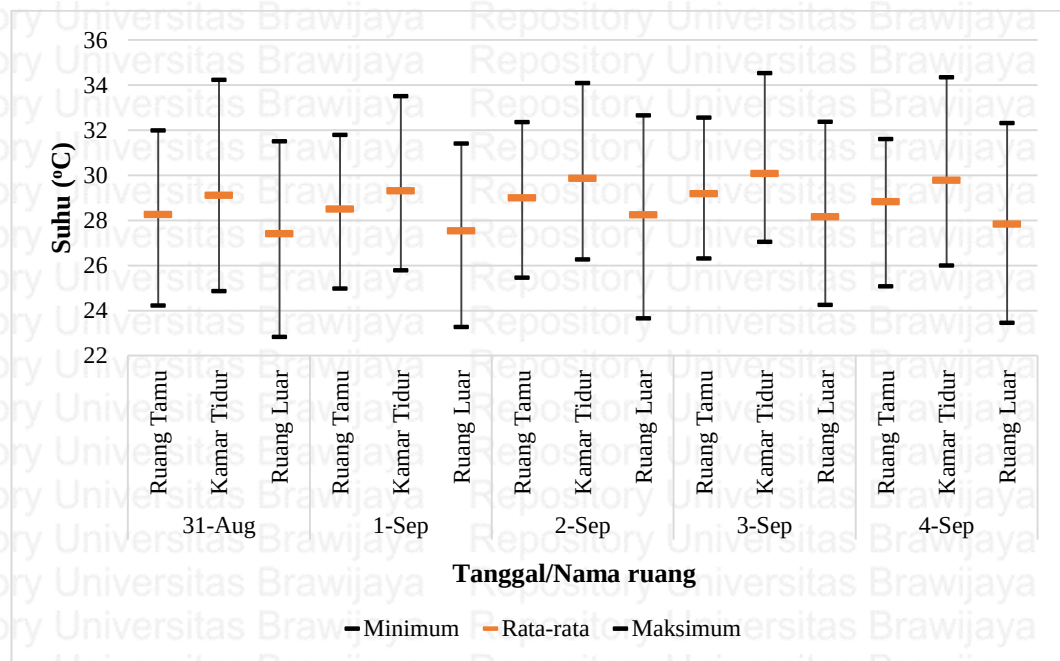


Gambar 4.22 Data pengukuran kelembaban udara

Hasil pengukuran selama 5 hari menunjukkan kenaikan kelembaban udara tiap harinya pada pukul 15.00 hingga pukul 07.00. Penurunan kelembaban udara selanjutnya terjadi pada pukul 07.00 hingga 15.00. Kondisi kelembaban udara pada ruang dalam apabila dibandingkan dengan ruang luar cenderung lebih rendah. Hasil pengukuran kelembaban udara tertinggi berada pada malam hari, yaitu pukul 19.00-21.00 dengan kelembaban sebesar 85,4% dan kelembaban udara terendah berada pada sore, yaitu pukul 14.00-16.00 dengan kelembaban sebesar 34,1%. Hal ini berbanding terbalik kondisi suhu dan kecepatan angin yang tinggi pada sore hari dan rendah pada pagi hari.

4.4.2 Suhu udara

Pengukuran suhu udara dilakukan pada ruang tamu, kamar tidur, dan ruang luar. Suhu masing-masing ruang ini dirangkum untuk saling dibandingkan agar dapat diketahui berapa besar suhu tertinggi dan terendah yang dicapai selama melakukan pengukuran. Rata-rata suhu per harinya juga dihitung untuk mengetahui rata-rata suhu tertinggi dan terendah per hari yang dicapai selama melakukan pengukuran. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran umum kondisi suhu hasil pengukuran. Berikut ini adalah grafik rangkuman hasil pengukuran suhu masing-masing ruang per hari.



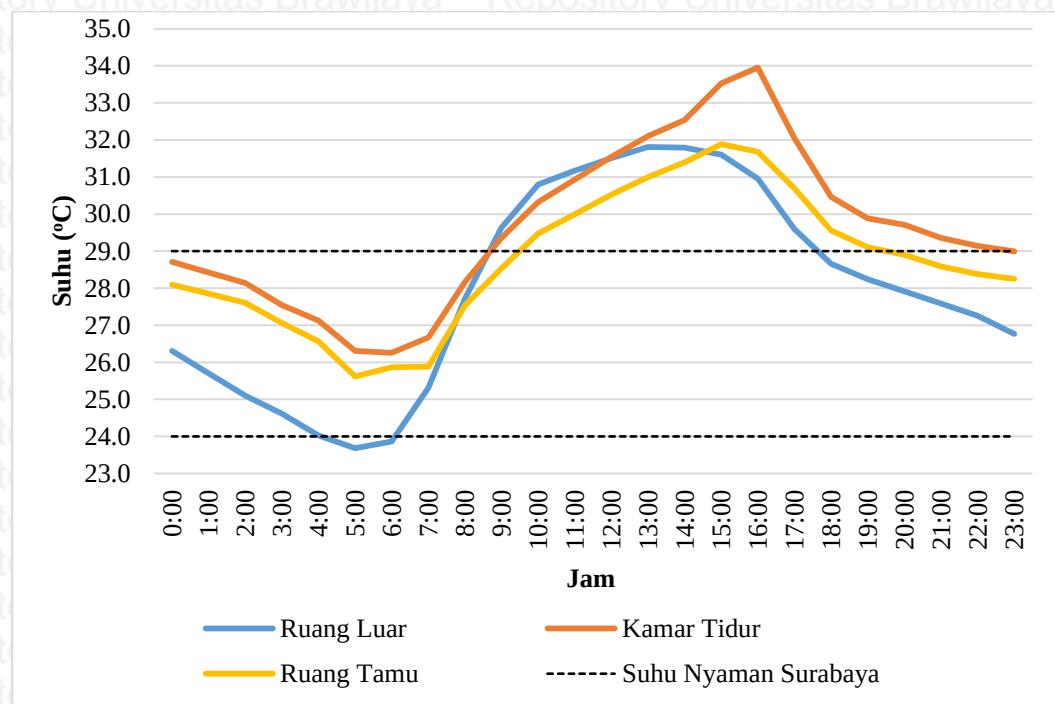
Gambar 4.23 Rangkuman data pengukuran suhu

Hasil pengukuran suhu tertinggi ruang luar berada pada tanggal 2 September dengan suhu sebesar 32,42 °C. Suhu terendah hasil pengukuran ruang luar berada pada tanggal 31 Agustus dengan suhu sebesar 23,16 °C. Rata-rata suhu harian tertinggi ruang luar berada pada tanggal 2 September dengan rata-rata suhu sebesar 28,25 °C dan rata-rata suhu harian terendah berada pada tanggal 31 Agustus dengan rata-rata suhu sebesar 27,41 °C. Hal ini menunjukkan bahwa selama hasil pengukuran suhu tertinggi ruang luar berada pada tanggal 2 September dan suhu terendah berada pada tanggal 31 Agustus. Suhu pada tanggal 2 September ini menjadi acuan untuk melakukan analisis simulasi selanjutnya.

Hasil pengukuran suhu tertinggi dalam bangunan pada hasil pengukuran berada pada tanggal 3 September di kamar tidur dengan suhu sebesar 34,53 °C.

Suhu terendah hasil pengukuran dalam bangunan berada pada tanggal 31 Agustus di ruang tamu dengan suhu sebesar 24,21 °C. Rata-rata suhu harian tertinggi berada pada tanggal 3 September dengan rata-rata suhu sebesar 30,08 °C dan rata-rata suhu harian terendah berada pada tanggal 31 Agustus dengan rata-rata suhu sebesar 28,27 °C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu kamar tidur yang berhubungan langsung dengan ruang luar lebih tinggi dibandingkan suhu ruang tamu yang masih memiliki koridor sebagai area transisi masuknya panas ke dalam bangunan.

Suhu nyaman Kota Surabaya telah dihitung sebelumnya berdasarkan data rata-rata suhu per bulan selama 5 tahun terakhir Kota Surabaya, hasilnya adalah rentang suhu nyaman sebesar 24-29 °C. Rentang ini merupakan batas kondisi suhu yang masih dapat diterima oleh orang surabaya. Data pengukuran suhu selama 5 hari kemudian dihitung juga rata-rata per jamnya agar dapat dibandingkan dengan rentang suhu nyaman surabaya. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah suhu hasil pengukuran telah masuk kategori suhu nyaman surabaya. Selisih terbesar antara suhu nyaman Kota Surabaya dengan rata-rata suhu per jam selama pengukuran dihitung untuk diketahui seberapa besar suhu yang perlu diturunkan agar dapat mencapai kategori suhu nyaman. Berikut ini adalah grafik hasil perbandingan rata-rata suhu per jam hasil pengukuran dengan suhu nyaman surabaya.



Gambar 4.24 Perbandingan rata-rata suhu per jam terhadap suhu nyaman

Perbandingan rata-rata suhu per jam hasil pengukuran dengan suhu nyaman Surabaya menunjukkan bahwa rata-rata suhu ruang luar berada di dalam zona suhu nyaman Kota Surabaya, kecuali pada pukul 04.00-06.00 dan pukul 09.00-18.00. Suhu rata-rata berada dibawah zona suhu nyaman pada pukul 04.00-06.00 dengan selisih suhu tertinggi yaitu, $0,3^{\circ}\text{C}$ dan berada diatas zona suhu nyama pada pukul 09.00-18.00 dengan selisih suhu tertinggi yaitu, $2,8^{\circ}\text{C}$. Kondisi suhu ruang luar yang berada di atas zona nyaman tersebut dapat mengganggu kenyamanan orang Surabaya, terutama pada pukul 09.00-18.00 apabila aktifitas cenderung dilakukan di ruang luar. Hal ini menunjukkan bahwa dari rata-rata suhu per jamnya saja kondisi suhu ruang luar kota Surabaya sudah tidak nyaman.

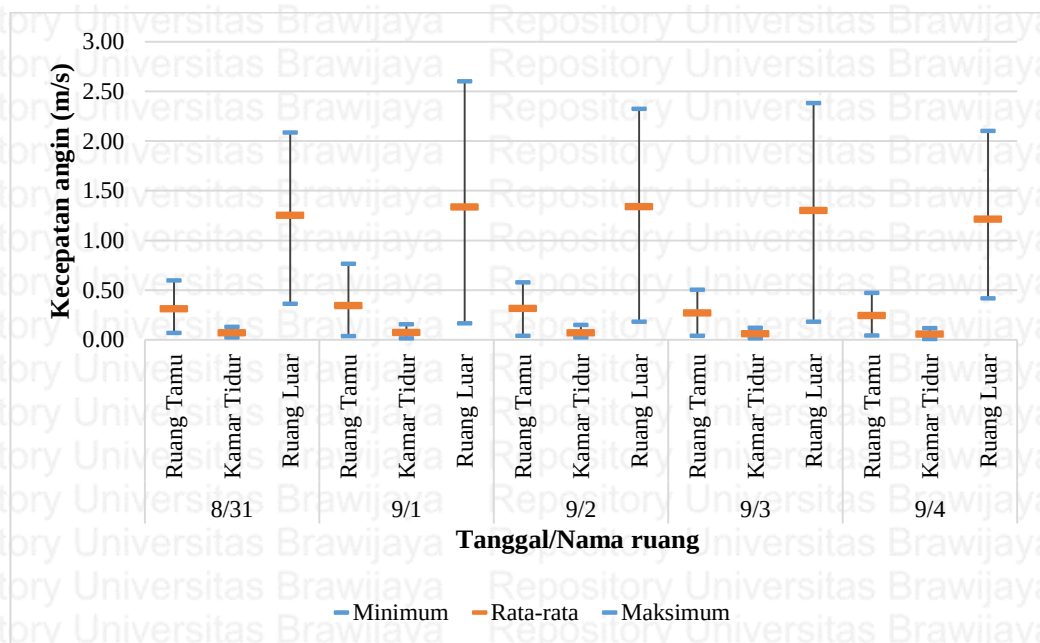
Perbandingan rata-rata suhu per jam hasil pengukuran dengan suhu nyaman Surabaya juga menunjukkan bahwa rata-rata suhu ruang dalam berada di dalam zona suhu nyaman Kota Surabaya, kecuali pada pukul 09.00-22.00 untuk suhu kamar tidur dan pukul 09.00-19.00 untuk suhu ruang tamu. Suhu rata-rata berada diatas zona suhu nyaman dengan selisih suhu tertinggi pada ruang tamu yaitu $2,9^{\circ}\text{C}$ dan pada kamar tidur yaitu, 5°C . Selisih suhu terbesar berada pada kamar tidur, kondisi suhu kamar tidur yang berada di luar zona nyaman pada pukul 09.00-22.00 dapat mengganggu aktifitas penghuni yang sedang tidur ataupun belajar di dalam kamar tidur meskipun tidak mengganggu aktifitas tidur yang dilakukan setelah pukul 22.00. Kondisi ruang tamu yang berada di luar zona nyaman pada pukul 09.00-19.00 juga mengganggu aktifitas penghuni yang cenderung dilakukan di ruang tamu, seperti aktifitas makan-minum yang dilakukan di pagi hari dan malam hari, kemudian bersosialisasi atau bertamu yang biasanya dilakukan di sore hari, dan juga menonton tv yang dapat dilakukan kapan saja. Suhu kamar tidur apabila dibandingkan dengan suhu ruang tamu cenderung lebih tinggi, namun aktifitas yang dilakukan di ruang tamu cenderung lebih banyak dibandingkan dengan kamar tidur. Hal ini menunjukkan bahwa ketidaknyamanan suhu cenderung dirasakan ketika melakukan aktifitas di ruang tamu.

Suhu dalam bangunan apabila dibandingkan rata-rata per jamnya dengan suhu ruang luar menunjukkan suhu ruang dalam yang lebih tinggi (lihat gambar). Selisih terbesar antara suhu luar ruang dengan suhu dalam ruang adalah $3,9^{\circ}\text{C}$. Suhu ruang luar lebih banyak berada pada suhu nyaman Surabaya dibanding dengan suhu dalam ruang. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan alami kamar

hunian masih belum tercapai dengan baik. Kondisi jendela pada kamar hunian dan ruang tamu secara dimensi sudah terpenuhi >20% luas lantai dan posisi jendela sudah sesuai ketinggian aktifitas manusia, namun kondisi suhu dalam ruang tetap tinggi dan berada diluar zona nyaman.

4.4.3 Kecepatan angin

Pengukuran kecepatan angin dilakukan pada ruang tamu, kamar tidur, dan ruang luar. Kecepatan angin masing-masing ruang ini dirangkum untuk saling dibandingkan agar dapat diketahui berapa besar kecepatan angin tertinggi dan terendah yang dicapai selama melakukan pengukuran. Rata-rata kecepatan angin per harinya juga dihitung untuk mengetahui rata-rata kecepatan angin tertinggi dan terendah per hari yang dicapai selama melakukan pengukuran. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran umum kondisi kecepatan angin hasil pengukuran pada Rusunawa Grudo Surabaya. Berikut ini adalah grafik rangkuman hasil pengukuran kecepatan angin masing-masing ruang per hari.



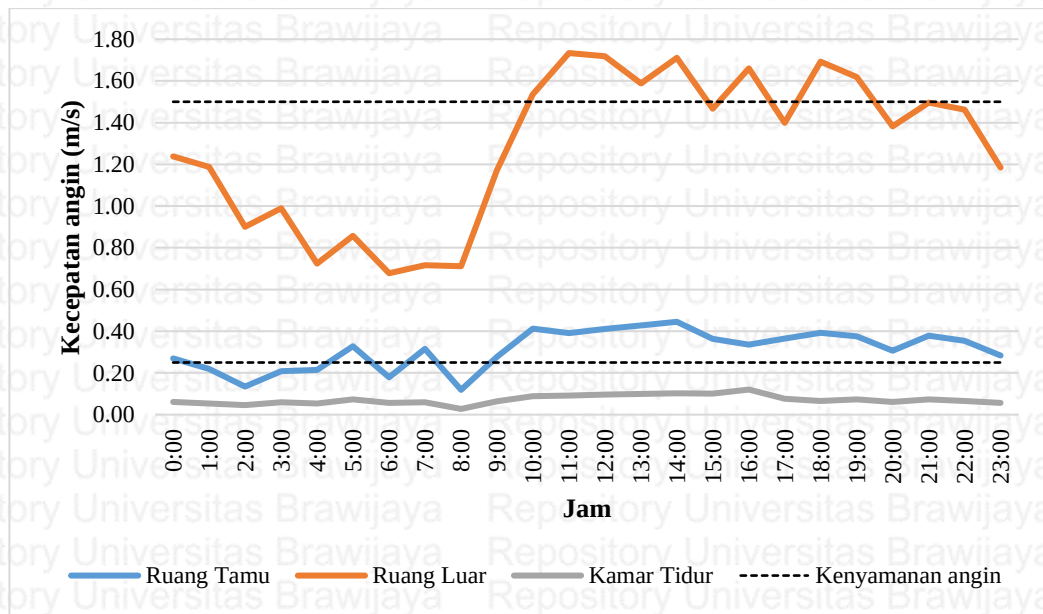
Gambar 4.25 Rangkuman data pengukuran kecepatan angin

Hasil pengukuran kecepatan angin tertinggi luar bangunan berada pada tanggal 1 September dengan kecepatan angin sebesar 2,6 m/s. Hasil pengukuran kecepatan angin terendah luar bangunan berada pada tanggal 4 September dengan kecepatan angin sebesar 0,2 m/s. Rata-rata kecepatan angin harian tertinggi berada pada tanggal 1 September dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 1,4 m/s dan rata-rata kecepatan angin harian terendah berada pada tanggal 4 September dengan rata-rata

kecepatan angin sebesar 1,2 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa selama pengukuran hasil kecepatan angin tertinggi diperoleh pada tanggal 1 September dan hasil kecepatan angin terendah diperoleh pada tanggal 4 September.

Hasil pengukuran kecepatan angin tertinggi dalam bangunan berada pada tanggal 1 September di ruang tamu dengan kecepatan angin sebesar 0,8 m/s. Hasil pengukuran kecepatan angin terendah dalam bangunan berada pada tanggal 4 September di kamar tidur dengan kecepatan angin sebesar 0 m/s. Rata-rata kecepatan angin harian tertinggi berada pada tanggal 1 September dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 0,3 m/s dan rata-rata kecepatan angin harian terendah berada pada tanggal 4 September dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 1,3 m/s. Perbandingan kecepatan angin tertinggi dan terendah menunjukkan bahwa ruang tamu memiliki kecepatan angin yang lebih tinggi dibandingkan kamar tidur, hal ini kemungkinan disebabkan oleh arah angin yang datang dari timur masuk melalui bukaan ruang tamu sehingga ketika mencapai kamar tidur kecepatannya menurun.

Kenyamanan kecepatan angin sebagai ventilasi yang dapat diterima manusia menurut Frick & Mulyani (2006) berkisar antara 0,25 – 1,5 m/s. Data pengukuran kecepatan angin sebelumnya yang diukur selama 5 hari dihitung rata-rata per jamnya agar dapat dibandingkan dengan rentang kenyamanan ventilasi. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah kecepatan angin hasil pengukuran telah masuk kategori kenyamanan ventilasi. Selisih terbesar antara rentang kenyamanan ventilasi dengan rata-rata kecepatan angin per jam selama pengukuran dihitung untuk diketahui seberapa besar kecepatan angin yang diperlukan agar dapat mencapai kategori kenyamanan ventilasi. Berikut ini adalah grafik hasil perbandingan rata-rata kecepatan angin per jam hasil pengukuran dengan rentang kenyamanan ventilasi.



Gambar 4.26 Perbandingan rata-rata kecepatan angin per jam terhadap kenyamanan ventilasi

Perbandingan rata-rata kecepatan angin per jam hasil pengukuran terhadap rentang kenyamanan ventilasi menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin ruang luar berada di dalam zona kenyamanan angin, kecuali pada pukul 10.00-14.00, pukul 15.00-16.00, dan 17.00-19.00. Kecepatan angin rata-rata berada di atas zona kenyamanan ventilasi di ketiga waktu tersebut dengan selisih kecepatan angin tertinggi yaitu, 0,23 m/s. Waktu rata-rata kecepatan angin berada di zona nyaman dibandingkan dengan waktu rata-rata kecepatan angin berada di atas zona nyaman pada ruang luar menunjukkan bahwa kondisi kecepatan angin ruang luar kota surabaya cenderung nyaman.

Perbandingan rata-rata kecepatan angin per jam hasil pengukuran terhadap rentang kenyamanan ventilasi menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin ruang tamu masih berada di zona kenyamanan angin, kecuali pada pukul 01.00-04.00 kemudian 06.00 dan 08.00. Kecepatan angin rata-rata berada di bawah zona kenyamanan ventilasi di ketiga waktu tersebut dengan selisih kecepatan angin tertinggi yaitu, 0,15 m/s. Perbandingan rata-rata kecepatan angin per jam hasil pengukuran terhadap rentang kenyamanan ventilasi menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin kamar tidur berada dibawah zona kenyamanan kecepatan selama 24 jam dengan selisih kecepatan terbesar yaitu, 1,4 m/s. Waktu rata-rata kecepatan angin berada di zona nyaman dibandingkan waktu ketika berada di bawah zona nyaman pada ruang tamu menunjukkan bahwa kondisi kecepatan angin ruang di

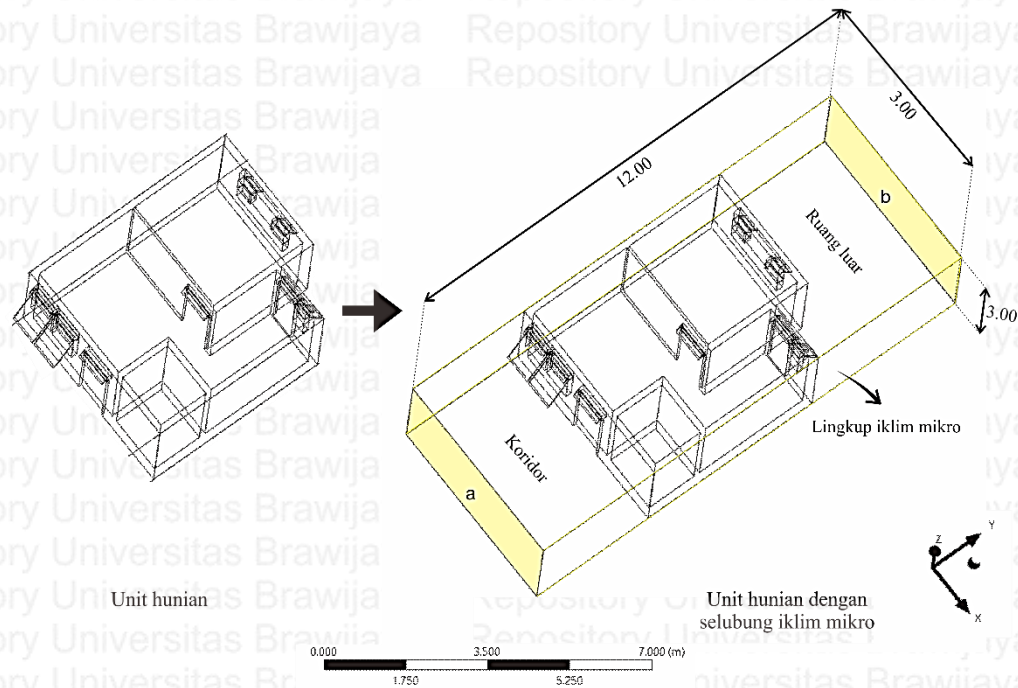
dalam ruang tamu cenderung nyaman. Hal ini berbeda dengan kondisi kecepatan angin kamar tidur yang tidak nyaman selama 24 jam.

Hasil perbandingan sebelumnya menunjukkan bahwa kecepatan angin luar bangunan cenderung lebih tinggi dibandingkan kecepatan angin dalam bangunan. Selisih terbesar antara kecepatan angin luar ruang dengan dalam ruang adalah 1,7 m/s. Kecepatan angin dalam kamar tidur tidak masuk zona nyaman ventilasi sama sekali, kecepatan anginnya cukup rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan alami kamar hunian masih belum tercapai dengan baik. Kondisi jendela pada kamar tidur dan ruang tamu secara dimensi sudah terpenuhi >20% luas lantai dan posisi jendela sudah sesuai ketinggian aktifitas manusia, namun kecepatan angin dalam kamar tidur masih berada diluar zona nyaman.

4.5 Analisis Simulasi

Simulasi suhu dan kecepatan angin dilakukan mengikuti hari pengukuran dengan hasil suhu rata-rata tertinggi pada ruang luar, yaitu pada tanggal 2 September. Geometri pada simulasi ansys menyesuaikan kondisi eksisting unit hunian dengan posisi jendela terbuka. Hasil pengukuran simulasi berada pada ketinggian 1,1 m dari lantai, sama dengan titik pengukuran pada kondisi eksisting. Arah angin pada bulan September berasal dari timur, arah ini yang menjadi penentu letak *inlet* dan *outlet* data iklim.

Bidang geometri yang disimulasikan didefinisikan terlebih dahulu kondisi batasnya. Kondisi batas berisikan pengaturan pada bidang batas berupa *inlet* (bidang masuknya angin), *outlet* (bidang keluarnya angin), dan *wall* (bidang dinding). Data berupa suhu dan kecepatan angin hasil pengukuran lapangan dimasukkan pada kondisi batas bidang untuk menciptakan iklim mikro pada simulasi. Iklim mikro pada penelitian ini dibentuk berdasarkan suhu dan kecepatan angin koridor untuk kondisi bidang *inlet* karena arah angin yang datang dari timur dan suhu luar bangunan untuk kondisi bidang *outlet*. Berikut ini merupakan salah satu pengaturan kondisi batas masing-masing bidang geometri pada simulasi.



Gambar 4.27 Geometri simulasi eksisting

Tabel 4.9 Pengaturan Kondisi Batas Geometri Simulasi Eksisting

Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu koridor Kecepatan angin koridor
Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu luar bangunan
Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

Analisis simulasi ini dilakukan untuk melakukan validasi dan mengetahui bagaimana kondisi distribusi suhu dan kecepatan angin pada kondisi eksisting. Validasi dari hasil simulasi dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui tingkat *error* atau kesalahan yang terjadi pada hasil simulasi. Hasil simulasi yang valid kemudian dapat dianalisis lebih lanjut hingga tahap modifikasi. Berikut ini adalah validasi simulasi dan gambaran kondisi eksisting berdasarkan simulasi.

4.5.1 Validasi

Validasi dilakukan dengan menghitung prosentase selisih dari selisih perbedaan suhu hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi. Batas prosentase selisih yang digunakan untuk validasi adalah sebesar 20%. Validasi dilakukan dengan memasukkan data pengukuran suhu dan kecepatan angin selama 24 jam pada tanggal 2 September. Berikut ini adalah pengaturan kondisi batas pada geometri yang digunakan untuk melakukan validasi.



Tabel 4.10 Kondisi Batas pada Validasi Simulasi

Pukul	Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
00.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 28,1 °C Kecepatan angin = 0,36 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 26,99 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
01.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 27,8 °C Kecepatan angin = 0,41 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 26,83 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
02.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 27,4 °C Kecepatan angin = 0,43 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 32,4 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
03.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 27,3 °C Kecepatan angin = 0,43 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 26,14 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
04.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 26,8 °C Kecepatan angin = 0,33 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 24,82 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
05.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 26,1 °C Kecepatan angin = 0,29 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 23,89 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
06.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 26,5 °C Kecepatan angin = 0,21 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 24,02 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
07.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 26,9 °C Kecepatan angin = 0,24 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 25,34 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
08.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 28,3 °C Kecepatan angin = 0,66 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 27,45 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
09.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 29,5 °C Kecepatan angin = 0,70 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 29,32 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
10.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 29,8 °C Kecepatan angin = 0,71 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 30,28 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
11.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 30,0 °C Kecepatan angin = 0,58 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 30,66 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
12.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 30,1 °C

Pukul	Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
13.00				Kecepatan angin = 0,74 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 31,21 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 30,5 °C Kecepatan angin = 0,73 m/s
14.00	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 31,64 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 31,0 °C Kecepatan angin = 0,59 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 31,99 °C
15.00	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 31,5 °C Kecepatan angin = 0,57 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 32,4 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
16.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 30,9 °C Kecepatan angin = 0,61 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 31,30 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 30,3 °C Kecepatan angin = 0,45 m/s
17.00	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 29,61 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 29,6 °C Kecepatan angin = 0,61 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 28,39 °C
18.00	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 29,2 °C Kecepatan angin = 0,51 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 27,98 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
19.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 29,1 °C Kecepatan angin = 0,47 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 27,89 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 28,9 °C Kecepatan angin = 0,45 m/s
20.00	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 27,66 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 28,3 °C Kecepatan angin = 0,61 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 27,37 °C
21.00	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 28,2 °C Kecepatan angin = 0,64 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 27,24 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

Kondisi batas tersebut digunakan sebagai data iklim mikro (*wind tunnel*) ketika melakukan validasi. Hasil simulasi suhu dan kecepatan angin yang divalidasi adalah hasil suhu yang berada di ruang tamu dan kamar tidur. Pengukuran suhu tersebut berada pada ketinggian 1,1 meter dari lantai, sesuai dengan ketinggian pengukuran di lapangan. Prosentase selisih suhu ruang tamu dan kamar tidur masing-masing dihitung tiap jamnya. Hasil prosentase selisih dibandingkan dengan batas prosentase selisih sebesar 20%, apabila hasilnya kurang dari 20% dinyatakan valid begitu juga sebaliknya. Berikut ini adalah hasil validasi simulasi yang dilakukan.

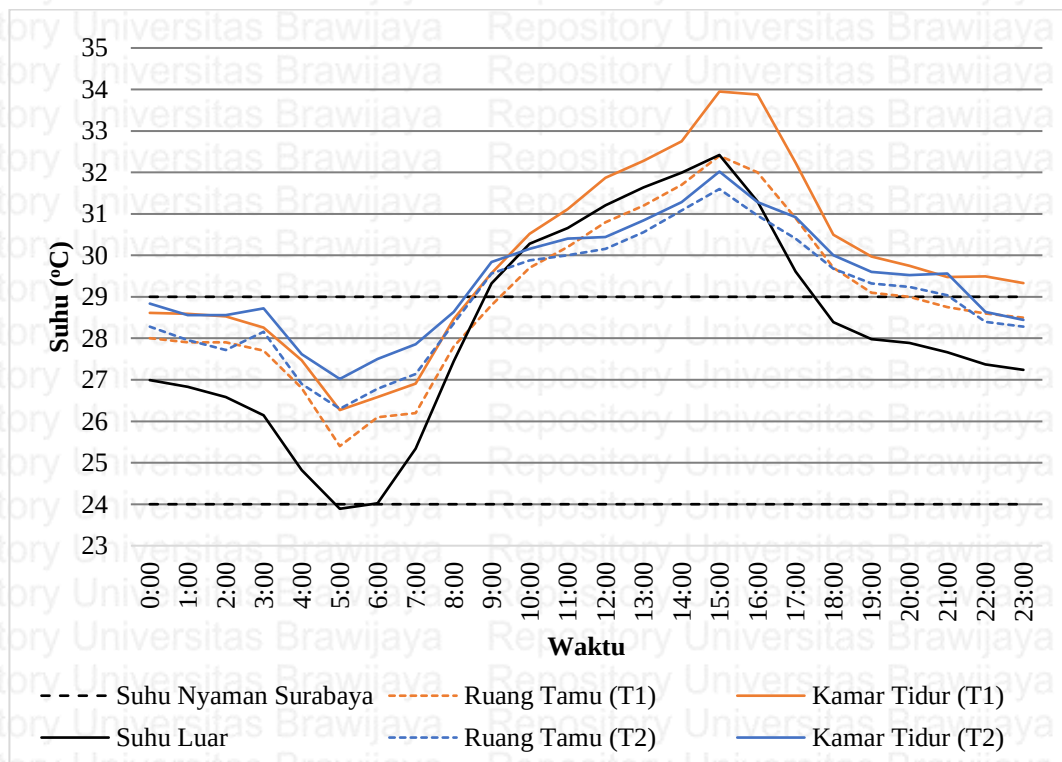
Tabel 4.11 Validasi Simulasi

Pukul	Suhu Eksisting		Suhu Simulasi		Prosentase selisih		Validasi	
	T ₁ (°C)		T ₂ (°C)		(T ₂ -T ₁ /T ₁) x 100%		(Prosentase selisih ≤ 20%)	
	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Ruang Tamu	Kamar Tidur
0:00	28.00	28.61	28.28	28.84	-1.00%	-0.80%	Valid	Valid
1:00	27.90	28.59	27.96	28.56	-0.22%	0.10%	Valid	Valid
2:00	27.90	28.53	27.72	28.56	0.65%	-0.11%	Valid	Valid
3:00	27.70	28.26	28.16	28.72	-1.66%	-1.63%	Valid	Valid
4:00	26.80	27.47	26.9	27.62	-0.37%	-0.55%	Valid	Valid
5:00	25.40	26.27	26.3	27.02	-3.54%	-2.85%	Valid	Valid
6:00	26.10	26.58	26.78	27.5	-2.61%	-3.46%	Valid	Valid
7:00	26.20	26.91	27.14	27.86	-3.59%	-3.53%	Valid	Valid
8:00	27.80	28.47	28.36	28.64	-2.01%	-0.60%	Valid	Valid
9:00	28.80	29.57	29.56	29.84	-2.64%	-0.91%	Valid	Valid
10:00	29.70	30.52	29.88	30.16	-0.61%	1.18%	Valid	Valid
11:00	30.20	31.11	30	30.4	0.66%	2.28%	Valid	Valid
12:00	30.80	31.87	30.16	30.44	2.08%	4.49%	Valid	Valid
13:00	31.20	32.28	30.56	30.84	2.05%	4.46%	Valid	Valid
14:00	31.70	32.75	31.08	31.28	1.96%	4.49%	Valid	Valid
15:00	32.40	33.95	31.6	32.02	2.47%	5.68%	Valid	Valid
16:00	32.00	33.88	30.96	31.28	3.25%	7.67%	Valid	Valid
17:00	30.90	32.23	30.4	30.92	1.62%	4.06%	Valid	Valid
18:00	29.70	30.50	29.68	30	0.07%	1.64%	Valid	Valid
19:00	29.10	29.97	29.32	29.6	-0.76%	1.23%	Valid	Valid
20:00	29.00	29.75	29.24	29.52	-0.83%	0.77%	Valid	Valid
21:00	28.75	29.48	29.04	29.56	-1.01%	-0.27%	Valid	Valid
22:00	28.60	29.49	28.4	28.64	0.70%	2.88%	Valid	Valid
23:00	28.50	29.33	28.28	28.44	0.77%	3.03%	Valid	Valid

Hasil validasi simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa seluruh prosentase selisih suhu pada kamar tidur dan ruang tamu adalah valid. Rentang prosentase selisih yang ditunjukkan pada hasil simulasi adalah sebesar 0,07% - 7,67%. Hasil simulasi yang dilakukan mengikuti kondisi suhu pada tanggal 2 September selama 24 jam valid untuk digunakan sebagai bahan analisis.

4.5.2 Hasil simulasi

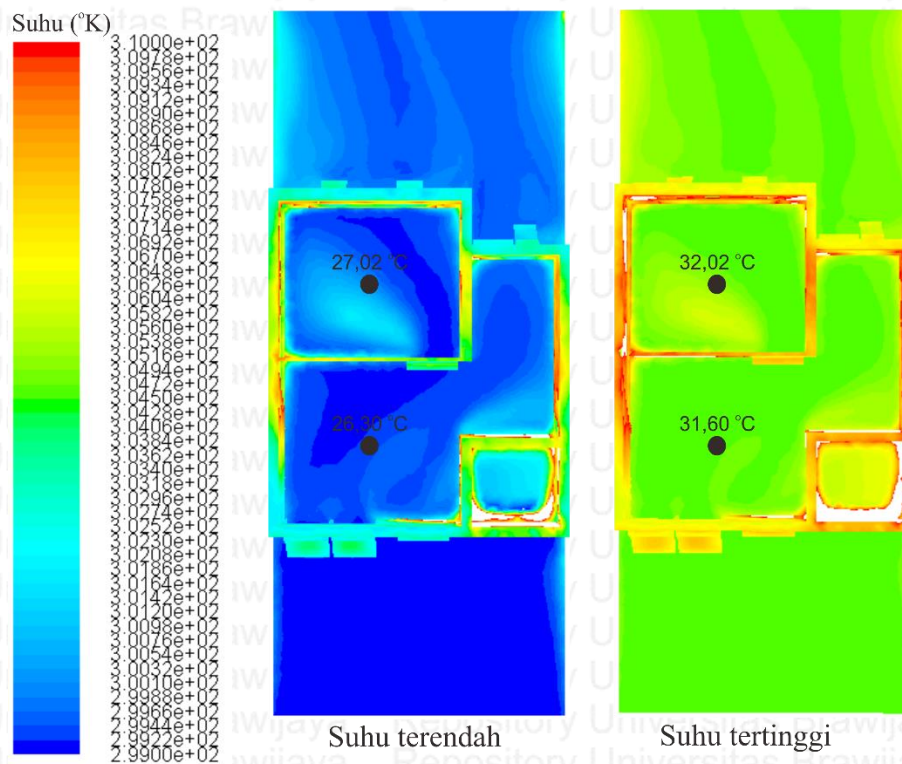
Hasil simulasi yang telah divalidasi sebelumnya kemudian dibandingkan dengan suhu pengukuran dan suhu nyaman surabaya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui selisih suhu yang dihasilkan pada simulasi dengan suhu nyaman surabaya. Suhu hasil simulasi ini nantinya menjadi patokan untuk mengetahui seberapa besar penurunan suhu yang dapat dilakukan melalui modifikasi jendela. Berikut ini adalah grafik perbandingan suhu simulasi (T2), suhu eksisting (T1) dan suhu nyaman surabaya.



Gambar 4.28 Perbandingan suhu eksisting dan simulasi terhadap suhu nyaman

Perbandingan suhu hasil simulasi dengan suhu nyaman surabaya menunjukkan bahwa suhu hasil simulasi berada di dalam zona suhu nyaman Kota Surabaya, kecuali pada pukul 09.00-21.00 untuk suhu kamar tidur suhu ruang tamu. Suhu simulasi berada di atas zona suhu nyaman dengan selisih suhu tertinggi pada ruang tamu dan kamar tidur sebesar 2,8 °C. Hal ini berbeda dengan suhu eksisting yang berada di zona nyaman kecuali pada pukul 09.00-22.00 untuk suhu kamar tidur dan pukul 09.00-19.00 untuk suhu ruang tamu. Suhu eksisting berada diatas zona suhu nyaman dengan selisih suhu tertinggi pada ruang tamu dan kamar tidur yaitu, 5 °C. Meskipun terdapat perbedaan suhu namun, suhu hasil simulasi pada geometri eksisting ini dapat digunakan untuk mengetahui selisih suhu dengan simulasi pada geometri modifikasi.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu tertinggi berada pada pukul 15.00 dan suhu terendah berada pada pukul 05.00. Suhu tertinggi pada pukul 15.00 ini memiliki suhu sebesar 32,02 °C pada kamar tidur dan 31,6 °C pada ruang tamu. Suhu terendah pada pukul 05.00 ini memiliki suhu sebesar 27,02 °C pada kamar tidur dan 26,3 °C pada ruang tamu. Berikut ini adalah kontur suhu simulasi pada waktu suhu terendah dan suhu tertinggi.

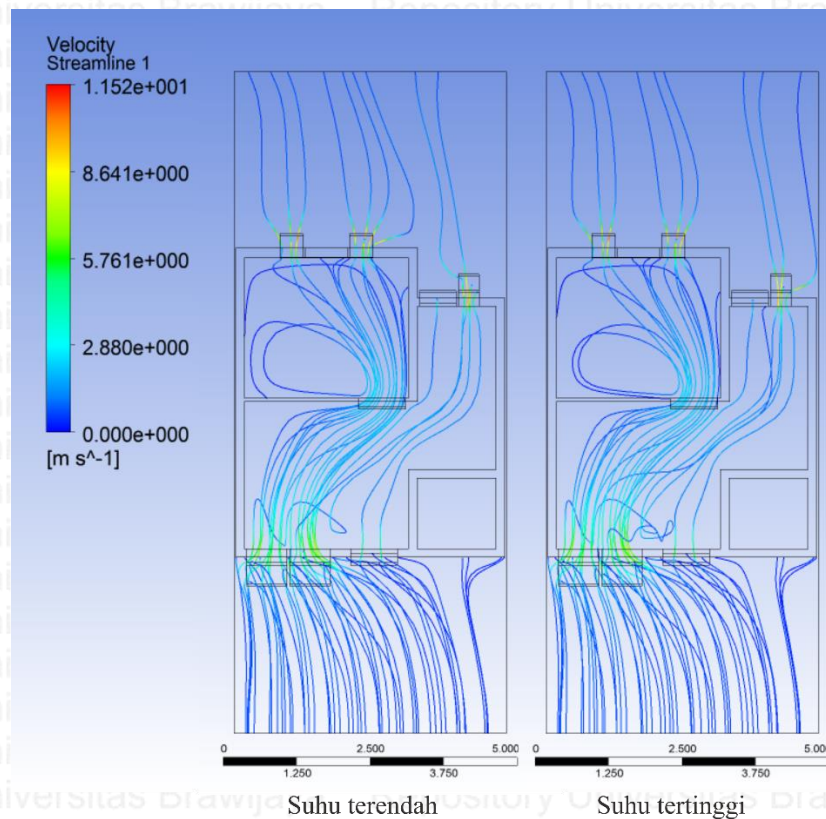


Gambar 4.29 Kontur suhu hasil simulasi pada suhu luar tertinggi dan terendah

Kontur suhu yang dihasilkan pada simulasi dengan suhu luar tertinggi pada pukul 15.00, yaitu 32,42 °C memiliki rata-rata hasil suhu ruang dalam sebesar 32,11 °C. Suhu Kamar tidur cenderung lebih tinggi dibandingkan suhu ruang tamu. Hasil simulasi suhu luar terendah pada pukul 05.00, yaitu 23,89 °C memiliki rata-rata hasil suhu ruang dalam sebesar 27,19 °C. Distribusi suhu dalam ruang terdapat perbedaan suhu yang ditunjukkan oleh warna kontur. Area yang jauh dari bukaan kondisi suhunya lebih tinggi dibandingkan area yang dekat dengan bukaan. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan jendela berpengaruh terhadap suhu dalam ruangan.

Simulasi pergerakan angin juga dilakukan pada waktu suhu terpanas, yaitu pukul 15.00. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin pada waktu suhu terpanas adalah 0,85 m/s. Pada waktu ini hampir di seluruh area ruangan

dilalui aliran udara. Aliran udara dari timur masuk melalui sisi timur kamar Penghawaan pada unit hunian terjadi *cross ventilation*, angin dapat masuk dari salah satu sisi jendela dan keluar melewati jendela pada sisi satunya. Berikut ini adalah hasil simulasi aliran udara yang dilakukan pada waktu suhu terpanas.



Gambar 4.30 Pergerakan angin pada suhu tertinggi di luar

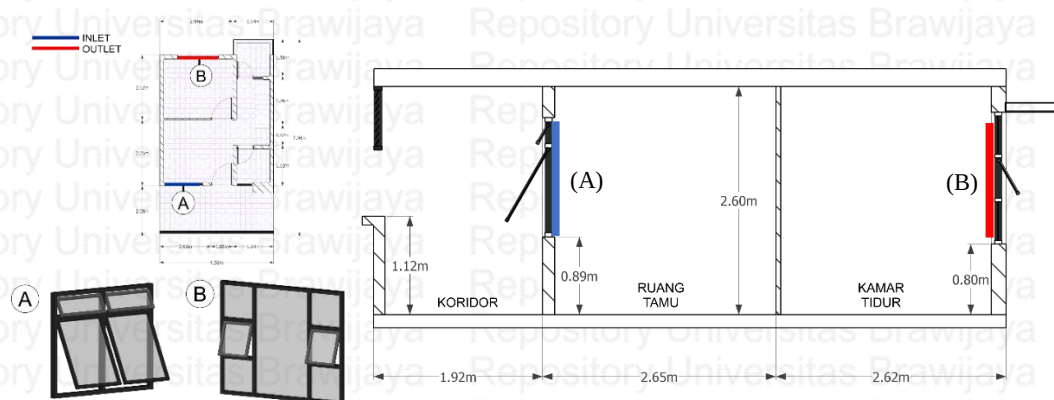
Hasil simulasi suhu dan aliran udara apabila dibandingkan memiliki hubungan yang erat. Terlihat bahwa area yang memiliki suhu lebih tinggi pada simulasi suhu tidak dilalui oleh aliran udara pada simulasi angin. Hal ini menunjukkan bahwa angin mempengaruhi penyebaran suhu di dalam ruang. Penyebaran angin yang tidak merata memberikan dampak yang sama terhadap penyebaran suhu. Area yang dilalui oleh angin memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan area yang tidak dilalui angin.

4.6 Modifikasi Jendela

Pendekatan desain jendela merupakan salah satu cara untuk menerapkan pendinginan alami pada bangunan. Beberapa faktor desain jendela yang dapat diterapkan untuk mencapai pendinginan alami, antara lain dimensi, posisi, dan jenis jendela. Hasil analisis sebelumnya telah menunjukkan bahwa kondisi jendela pada kamar tidur dan ruang tamu secara dimensi sudah terpenuhi >20% luas lantai dan

posisi jendela sudah sesuai ketinggian aktifitas manusia, namun suhu dan kecepatan angin dalam kamar tidur masih berada diluar zona nyaman. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan alami yang diterapkan pada rusunawa masih belum efektif, sehingga perlu adanya upaya lebih lanjut. Upaya penurunan suhu lebih lanjut hingga mencapai kenyamanan dapat dilakukan dengan memodifikasi jendela eksisting pada unit hunian. Modifikasi jendela eksisting diharapkan dapat menurunkan suhu dalam ruangan dan mencapai kenyamanan ventilasi.

Jendela yang mengalami modifikasi adalah jendela yang berada pada kamar tidur (jendela B) dan ruang tamu (jendela A). Jendela A berfungsi sebagai *inlet* bukaan dan jendela B sebagai *outlet* bukaan, hal ini didasarkan oleh arah angin Kota Surabaya yang berasal dari timur pada bulan September (waktu pengukuran). Jendela tersebut dimodifikasi berdasarkan faktor desain jendela, berupa dimensi, posisi, dan jenis jendela. Berikut ini adalah kondisi jendela sebelum dimodifikasi.



Gambar 4.31 Keyplan jendela modifikasi

Tabel 4.12 Kondisi Jendela Eksisting

Faktor desain	Kondisi jendela hidup	
	Jendela A	Jendela B
Dimensi	1,52 m × 1,36 m	0,80 m × 0,46 m
Posisi	+ 0,89 m	+1,24
Jenis	Awning	Awning

Modifikasi pada jendela dilakukan secara bertahap menggunakan simulasi ANSYS. Parameter modifikasi jendela ditentukan berdasarkan hasil simulasi modifikasi yang mampu menurunkan suhu paling besar. Tahap pertama modifikasi jendela adalah mengubah dimensi jendela. Beberapa alternatif dimensi jendela ditentukan untuk disimulasikan, kemudian salah satu alternatif dimensi dipilih berdasarkan hasil simulasi alternatif dengan suhu terendah. Tahap kedua modifikasi jendela adalah mengubah posisi jendela. Beberapa alternatif posisi jendela

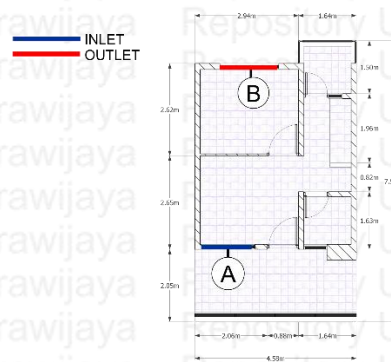
ditentukan untuk disimulasikan, kemudian salah satu alternatif posisi dipilih berdasarkan hasil simulasi alternatif dengan suhu terendah. Tahap ketiga modifikasi jendela adalah mengubah jenis jendela. Beberapa alternatif jenis jendela ditentukan untuk disimulasikan, kemudian salah satu alternatif jenis dipilih berdasarkan hasil simulasi alternatif dengan suhu terendah. Hasil akhir yang diperoleh dari keseluruhan simulasi adalah jendela dengan modifikasi dimensi, posisi, dan jenis terpilih berdasarkan suhu terendah. Berikut ini adalah modifikasi yang dilakukan pada jendela eksisting.

4.6.1 Dimensi jendela

Dimensi jendela memiliki pengaruh untuk menentukan seberapa besar panas dan angin yang masuk ke dalam ruangan. Panas dan angin yang masuk melalui jendela ini mempengaruhi kondisi suhu dalam ruangan. Modifikasi dimensi pada jendela A dan B dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela dalam menurunkan suhu apabila dimensi jendela diubah-ubah. Berikut ini adalah urutan dalam melakukan modifikasi dimensi pada jendela A dan B.

1. Penentuan alternatif dimensi

Kondisi jendela A eksisting apabila dilihat pada area jendela hidupnya memiliki dimensi $1,52 \text{ m} \times 1,36 \text{ m}$ yang berfungsi sebagai *inlet*. Kondisi jendela B eksisting juga apabila dilihat pada area jendela hidupnya memiliki dimensi $0,80 \text{ m} \times 0,46 \text{ m}$ yang berfungsi sebagai *outlet*. Kondisi jendela ini kemudian disederhanakan dimensinya untuk mempermudah penentuan alternatif berdasarkan variasi dimensinya. Seluruh alternatif dimensi jendela dikondisikan untuk memiliki posisi dan jenis jendela yang sama. Hal ini dilakukan agar posisi dan jenis jendela tidak mempengaruhi perubahan suhu pada simulasi. Dimensi jendela yang dimodifikasi adalah lebar jendela sedangkan panjang jendela dibuat sama dengan panjang jendela yang disederhanakan. Berikut ini adalah penyederhanaan jendela yang dilakukan dari jendela eksisting menjadi jendela dengan alternatif dimensi.



Gambar 4.32 Keyplan jendela pada modifikasi dimensi jendela

Tabel 4.13 Penyederhanaan Jendela untuk Simulasi Dimensi

	Jendela eksisting	Jendela alternatif dimensi
Jendela A		
Dimensi	1,52 m × 1,36 m	1,50 m × <i>variasi</i>
Posisi	+ 0,89 m	+1,00
Jenis	<i>Awning</i>	-
Jendela B		
Dimensi	0,80 m × 0,46 m	1,00 m × <i>variasi</i>
Posisi	+1,24	+1,00
Jenis	<i>Awning</i>	-

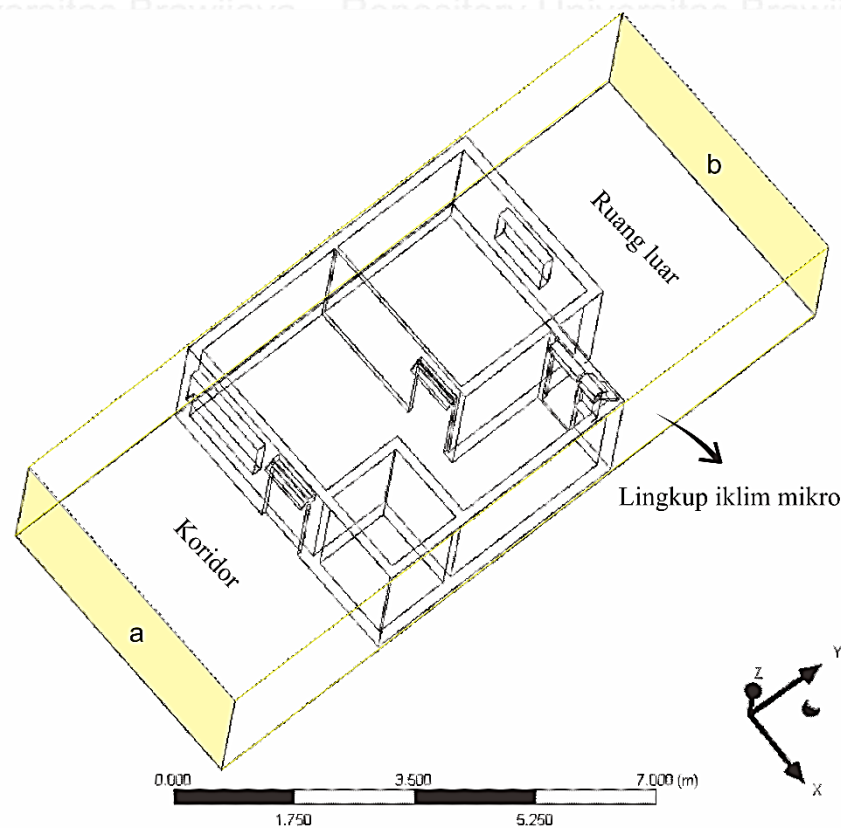
Lebar jendela yang divariasikan menjadi beberapa alternatif. Variasi dimensi tersebut diperoleh dari penyederhanaan dimensi jendela eksisting. Penyederhanaan dimensi tersebut adalah 0,50 m (penyederhanaan dari 0,46 m), 0,75 m (penyederhanaan dari 0,80 m), dan 1,00 m (penyederhanaan dari 1,36 m). Hasil dari penyederhanaan diperoleh 3 variasi dimensi, yaitu 0,50 m, 0,75 m, dan 1,00 m. Ketiga variasi tersebut masing-masing dikombinasikan untuk diterapkan pada jendela A dan jendela B. Kombinasi 3 variasi dimensi pada 2 jendela menghasilkan 9 alternatif dimensi jendela. Berikut ini adalah rincian alternatif dimensi jendela.

Tabel 4.14 Alternatif Dimensi Jendela

Jenis alternatif	Jendela A (<i>inlet</i>)	Jendela B (<i>outlet</i>)
Alternatif 1	1,50 m × 1,00 m	1,00 m × 1,00 m
Alternatif 2		1,00 m × 0,75 m
Alternatif 3		1,00 m × 0,50 m
Alternatif 4	1,50 m × 0,75 m	1,00 m × 1,00 m
Alternatif 5		1,00 m × 0,75 m
Alternatif 6		1,00 m × 0,50 m
Alternatif 7	1,50 m × 0,50 m	1,00 m × 1,00 m
Alternatif 8		1,00 m × 0,75 m
Alternatif 9		1,00 m × 0,50 m

2. Simulasi suhu pada alternatif dimensi

Modifikasi dimensi dilakukan menggunakan *software* ANSYS 14.5 dengan memasukkan 9 geometri alternatif dimensi tiap simulasi. *Software* secara otomatis melakukan perhitungan numerik berdasarkan data yang dimasukkan, sehingga dapat diketahui perbedaan hasil suhu dari masing-masing alternatif. Data yang dimasukkan ke dalam kondisi batas untuk menciptakan iklim mikro adalah data pengukuran suhu tertinggi pada tanggal 2 September pukul 15.00. Berikut ini adalah pengaturan dan data yang diinput pada *software* untuk simulasi modifikasi dimensi.



Gambar 4.33 Geometri simulasi dimensi

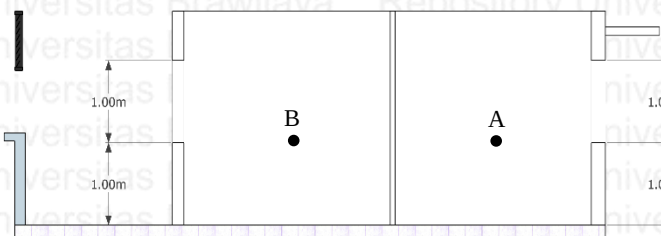
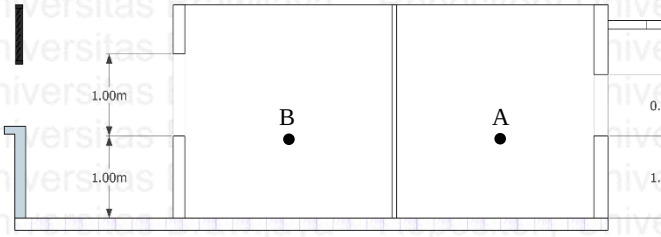
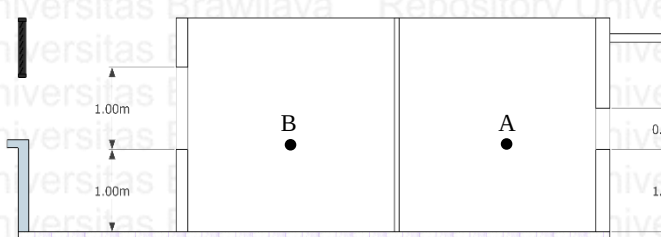
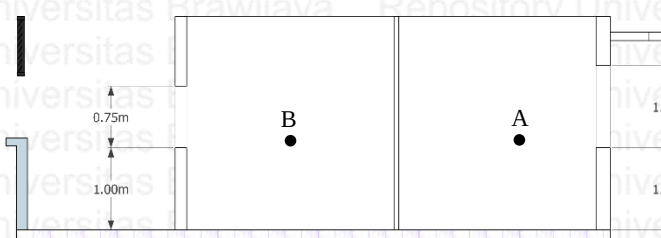
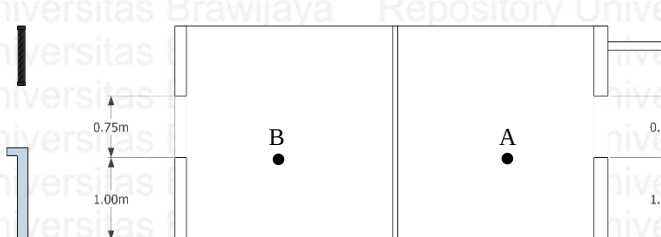
Tabel 4.15 Kondisi Batas Geometri pada Simulasi Dimensi

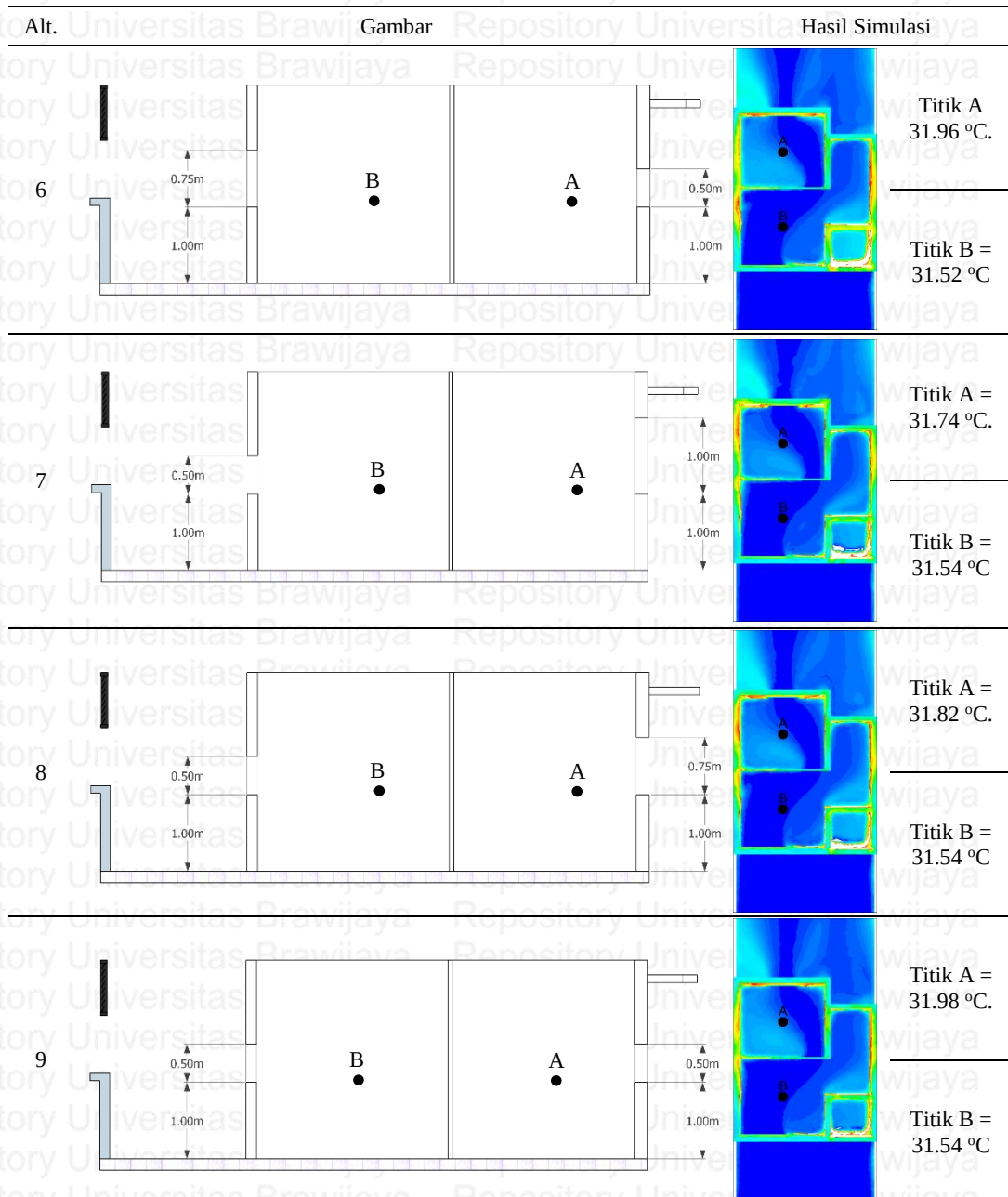
Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
Sisi a wind tunnel	Koridor	Inlet	Suhu = 31,5 °C Kecepatan angin = 0,57 m/s
Sisi b wind tunnel	Ruang luar	Outlet	Suhu = 32,4 °C
Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

Keseluruhan data untuk simulasi diinput pada masing-masing alternatif dimensi jendela. Hasil yang ingin dilihat adalah perbedaan suhu terkait perubahan dimensi pada unit hunian. Hasil suhu masing-masing alternatif dibandingkan untuk mengetahui alternatif dimensi jendela dengan suhu terendah. Alternatif dengan suhu paling rendah lah yang dipilih sebagai dimensi

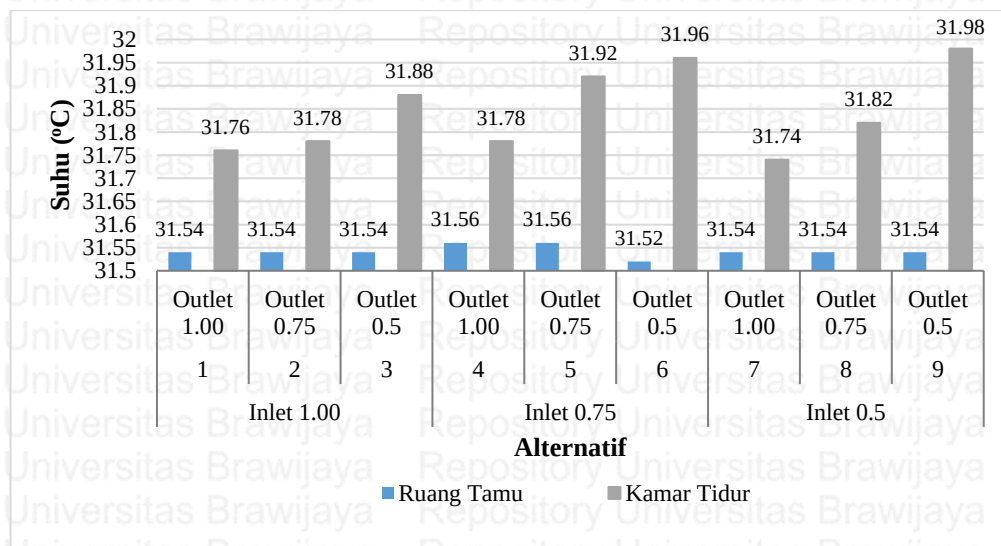
jendeal sebagai pendingin alami. Berikut ini adalah hasil suhu simulasi dimensi yang dilakukan pada masing-masing alternatif dimensi.

Tabel 4.16 Alternatif Modifikasi Dimensi Jendela

Alt.	Gambar	Hasil Simulasi
1		Titik A = 31.76 °C. Titik B = 31.54 °C
2		Titik A = 31.78 °C. Titik B = 31.54 °C
3		Titik A = 31.88 °C. Titik B = 31.54 °C
4		Titik A = 31.78 °C. Titik B = 31.56 °C
5		Titik A = 31.78 °C. Titik B = 31.56 °C



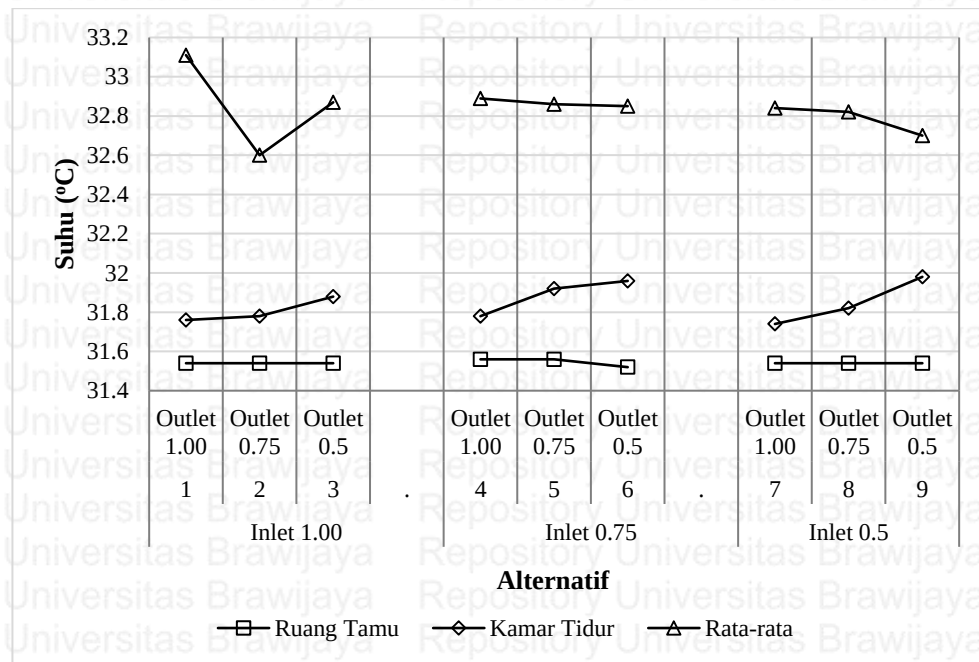
Simulasi dilakukan dengan menggunakan 9 geometri berbeda berdasarkan alternatif dimensi jendela. Hasil simulasi alternatif dimensi tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain agar diketahui suhu mana yang paling tinggi dan paling rendah pada masing-masing ruang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui alternatif dimensi yang mampu menurunkan suhu paling besar. Perbandingan suhu yang paling rendah pada kedua ruang lah yang menjadi pertimbangan untuk pemilihan alternatif. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi suhu alternatif dimensi.



Gambar 4.34 Hasil simulasi modifikasi dimensi

Perbandingan hasil simulasi alternatif dimensi menunjukkan alternatif 9 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 0,5 m) memiliki suhu kamar tidur yang paling tinggi, yaitu 31,98 °C (lihat gambar). Suhu ruang tamu yang paling tinggi dihasilkan oleh alternatif 4 (lebar *inlet* 0,75 m dan *outlet* 1 m) dan 5 (lebar *inlet* 0,75 m dan *outlet* 0,75 m). Perbandingan suhu yang paling rendah berada pada alternatif 6 (lebar *inlet* 0,75 m dan *outlet* 0,5 m) yang memiliki suhu sebesar 31,52 °C pada ruang tamu, namun suhu kamar tidur pada alternatif 6 memiliki suhu yang tinggi sebesar 31,96 °C. Suhu kamar tidur yang paling rendah dihasilkan oleh alternatif 7 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 1 m). Alternatif 7 memiliki suhu paling rendah di kedua ruangan dibandingkan alternatif lain, meskipun suhu ruang tamu terendah berada di alternatif 6. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif 7 dengan lebar dimensi *inlet* 0,5 m dan *outlet* 1 m adalah dimensi terpilih untuk modifikasi dimensi.

Hasil simulasi suhu alternatif dimensi kemudian saling dikaitkan dengan perubahan suhu. Pengaruh dimensi terhadap perubahan suhu berkaitan dengan posisi jendela sebagai inlet maupun outlet. Pengaruh tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil suhu antara alternatif dengan dimensi inlet yang sama dan alternatif dengan dimensi outlet yang sama. Perubahan suhu yang terjadi ketika dimensi inlet berubah dan sebaliknya juga perlu diketahui. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hubungan perubahan dimensi inlet maupun outlet terhadap suhu yang dihasilkan dalam ruangan. Berikut ini adalah grafik hubungan antara dimensi jendela dengan suhu yang dihasilkan.



Gambar 4.35 Hubungan antara dimensi jendela dengan suhu

Hasil simulasi menunjukkan bahwa jendela *outlet* yang semakin kecil memiliki suhu kamar tidur yang semakin tinggi begitu juga sebaliknya, meskipun perbedaan suhu yang diberikan tidak signifikan. Suhu ruang tamu terendah sebesar 31,52 °C dapat dicapai dengan jendela *inlet* selebar 0,75 cm dan *outlet* selebar 0,5 cm (alternatif 6), namun lebar jendela *outlet* yang kecil menyebabkan kamar tidur memiliki suhu yang tinggi sebesar 31,96 °C. Hal ini dikarenakan ketika angin yang membawa panas memasuki ruang tamu, jendela *inlet* selebar 0,75 cm mempercepat aliran angin dengan ukurannya yang lebih kecil dibandingkan bukaan (pintu dengan *bouvenlicht*) selebar 2,1 m pada dinding antara ruang tamu dan kamar tidur. Panas dari bukaan (pintu dengan *bouvenlicht*) selebar 2,1 m kemudian memasukkan angin ke dalam kamar tidur. Bukaan ini menjadi *inlet* pada kamar tidur, namun karena ukurannya yang lebih besar dibandingkan jendela *outlet* maka suhu dalam kamar tidur pun menjadi tinggi dengan menurunnya kecepatan angin.

Suhu kamar tidur terendah sebesar 31,71 °C dicapai oleh jendela dengan dimensi *inlet* selebar 0,5 cm dan *outlet* selebar 1 m (alternatif 7). Hal ini disebabkan oleh ukuran jendela *inlet* yang lebih kecil dibandingkan jendela *outlet*. Ukuran inlet yang lebih kecil mempercepat kecepatan angin yang masuk membawa panas ke dalam ruang sehingga menghasilkan suhu kamar tidur yang rendah.

Secara keseluruhan alternatif dimensi yang terpilih adalah alternatif 7 dengan dimensi *inlet* selebar 0,5 cm dan *outlet* selebar 1 m. Hasil simulasi alternatif dimensi dihitung perbedaan suhunya dengan hasil simulasi kondisi eksisting. Perhitungan selisih penurunan suhu dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi pada kamar tidur dan ruang tamu ketika dimensi jendela diubah dari kondisi eksisting. Perbandingan selisih hasil simulasi masing-masing alternatif dapat menunjukkan besarnya penurunan suhu yang dihasilkan oleh modifikasi dimensi. Berikut ini adalah selisih suhu pada masing-masing alternatif dimensi apabila dibandingkan dengan hasil simulasi eksisting.

Tabel 4.17 Selisih Suhu Modifikasi Dimensi terhadap Suhu Simulasi Eksisting

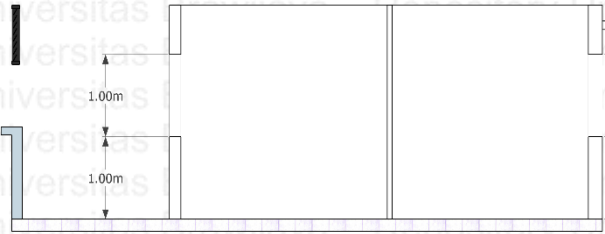
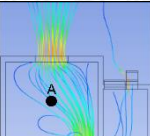
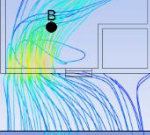
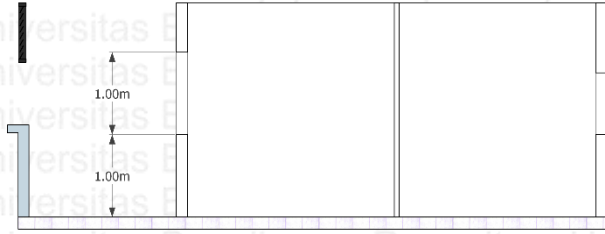
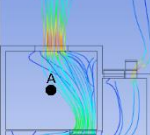
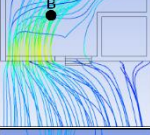
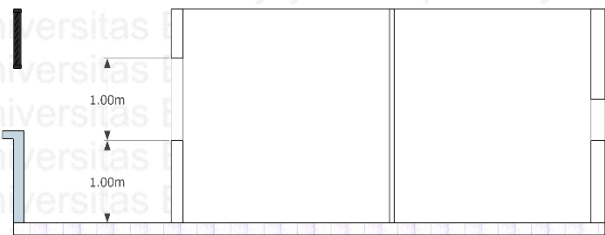
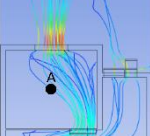
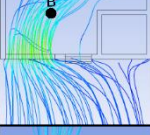
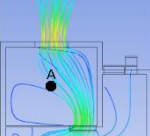
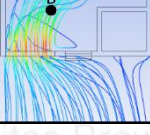
Alt.	Suhu modifikasi (°C)			Selisih dengan simulasi eksisting (°C)		
	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
1	31.54	31.76	33.11	-0.06	-0.26	0.93
2	31.54	31.78	32.06	-0.06	-0.24	-0.12
3	31.54	31.88	32.87	-0.06	-0.14	0.69
4	31.56	31.78	32.89	-0.04	-0.24	0.71
5	31.56	31.92	32.86	-0.04	-0.1	0.68
6	31.52	31.96	32.85	-0.08	-0.06	0.67
7	31.54	31.74	32.84	-0.06	-0.28	0.66
8	31.54	31.82	32.82	-0.06	-0.2	0.64
9	31.54	31.98	32.7	-0.06	-0.04	0.52

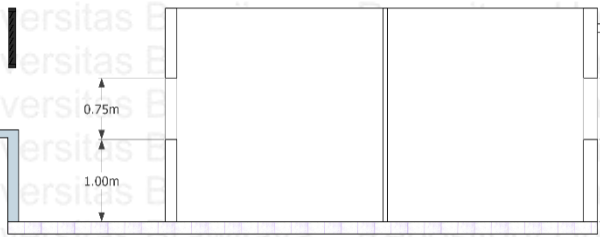
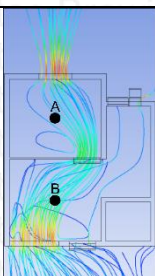
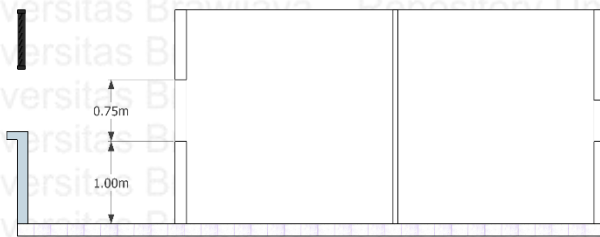
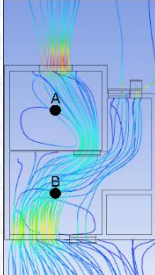
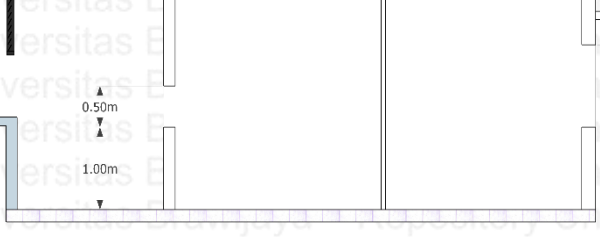
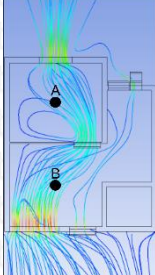
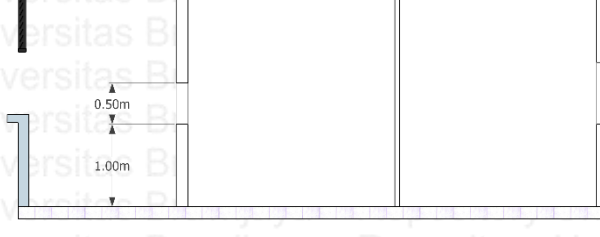
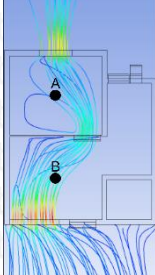
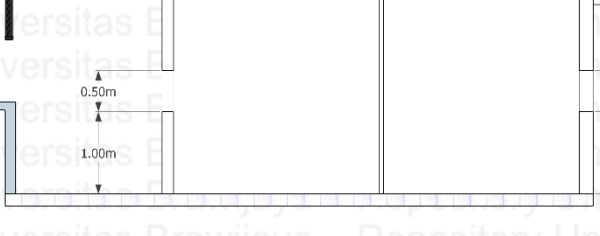
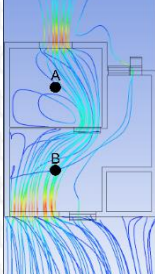
Hasil perbandingan simulasi keseluruhan alternatif dimensi memiliki suhu ruangan yang lebih rendah dibandingkan suhu simulasi kondisi eksisting, meskipun tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif dimensi berdasarkan variasi 0,5 m, 0,75 m, dan 1 m pada jendela mampu menurunkan suhu dalam ruang. Suhu pada ruang tamu dapat diturunkan hingga 0,08 °C melalui jendela alternatif 9 (lebar *inlet* 0,75 m dan *outlet* 0,5 m). Suhu pada kamar tidur dapat diturunkan sebesar 0,28 °C melalui jendela alternatif 7 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 1 m). Jendela alternatif 7 yang terpilih menjadi acuan alternatif selanjutnya mampu menurunkan suhu ruang tamu sebesar 0,06 °C dan suhu kamar tidur sebesar 0,28 °C.

3. Simulasi kecepatan angin pada alternatif dimensi jendela

Hasil kecepatan angin dalam ruang juga berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengguna dan efek penyegaran dalam ruangan. Penyegaran udara dalam ruang dapat menurunkan suhu pada kulit manusia melalui proses penguapan, sehingga suhu dalam ruang yang belum masuk kategori nyaman dapat diatasi melalui penyegaran udara pada ventilasi alami. Kebutuhan kecepatan angin melalui *bioclimathichart* untuk mencapai kenyamanan termal juga dapat digunakan. Berikut ini merupakan hasil simulasi kecepatan angin dalam ruang.

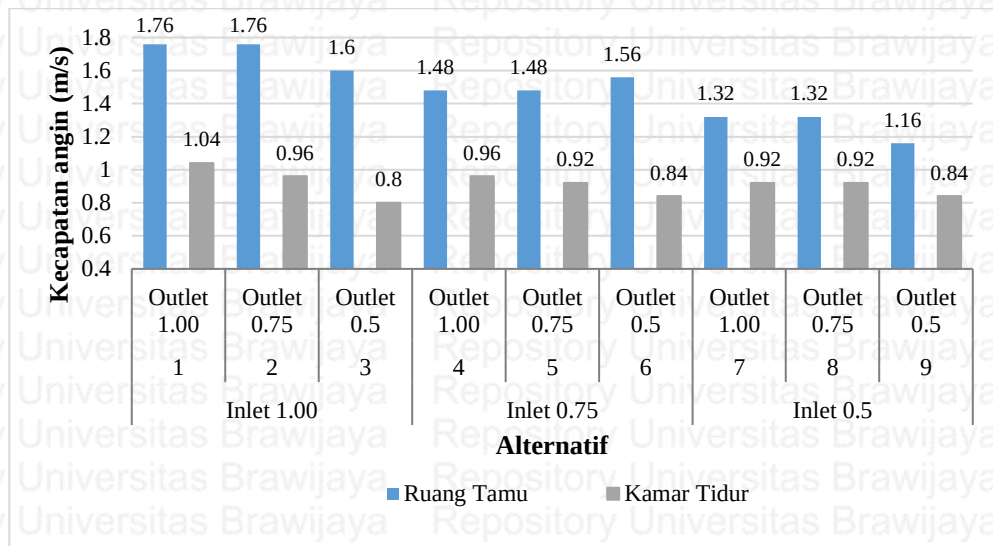
Tabel 4.18 Hasil Simulasi Angin Modifikasi Dimensi Jendela

Alt.	Gambar	Hasil simulasi	Σ Kec. angin
1			Ruang A= 1,04 m/s
			Ruang B= 1,76 m/s
2			Ruang A= 0,96 m/s
			Ruang B= 1,76 m/s
3			Ruang A= 0,8 m/s
			Ruang B= 1,6 m/s
4			Ruang A= 0,96 m/s
			Ruang B= 1,48 m/s

Alt.	Gambar	Hasil simulasi	Σ Kec. angin
5			Ruang A= 0,92 m/s Ruang B= 1,48 m/s
6			Ruang A= 0,84 m/s Ruang B= 1,56 m/s
7			Ruang A= 0,92 m/s Ruang B= 1,32 m/s
8			Ruang A= 0,92 m/s Ruang B= 1,32 m/s
9			Ruang A= 0,84 m/s Ruang B= 1,16 m/s

Simulasi dilakukan dengan menggunakan 9 geometri berbeda berdasarkan alternatif dimensi jendela. Hasil simulasi alternatif dimensi tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain agar diketahui kecepatan angin mana yang paling tinggi dan paling rendah pada masing-masing ruang. Hal ini

dilakukan untuk mengetahui alternatif dimensi yang mampu meningkatkan kecepatan angin paling besar. Perbandingan kecepatan suhu hanya dilakukan untuk mengetahui kondisi kecepatan angin. Pemilihan alternatif tidak mempertimbangkan kecepatan angin yang paling besar. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi suhu alternatif dimensi.

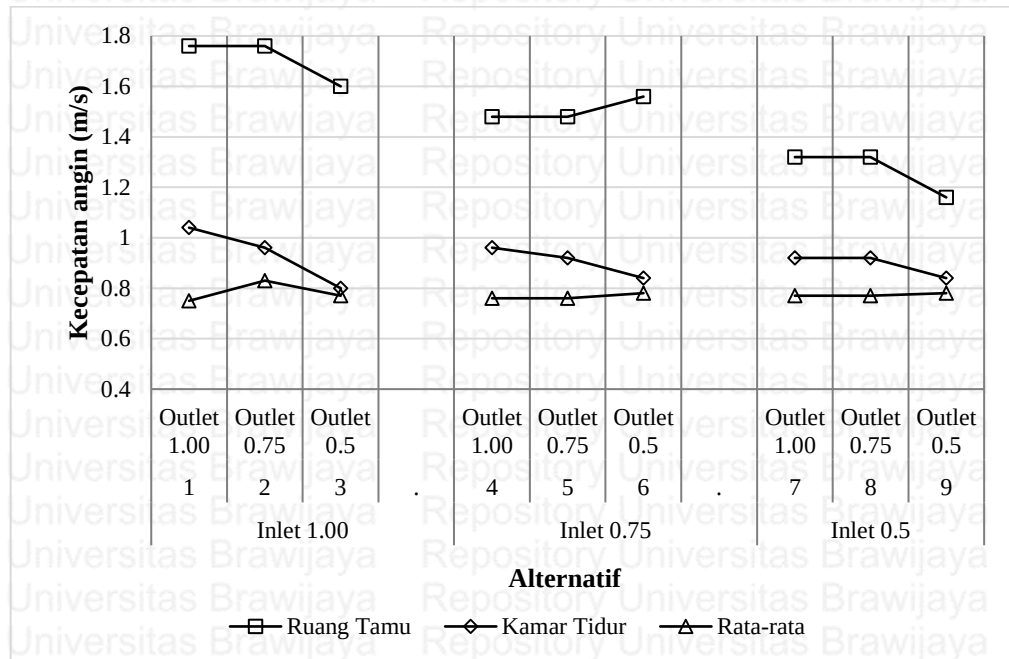


Gambar 4.36 Perbandingan kecepatan angin pada alternatif modifikasi dimensi jendela

Hasil simulasi kecepatan angin pada alternatif modifikasi dimensi jendela menunjukkan bahwa kecepatan angin tertinggi sebesar 1,76 m/s pada ruang tamu dihasilkan oleh jendela alternatif 1 (lebar *inlet* 1 m dan *outlet* 1 m) dan alternatif 2 (lebar *inlet* 1 m dan *outlet* 0,75). Kecepatan angin tertinggi sebesar 1,04 m/s pada kamar tidur dihasilkan oleh jendela alternatif 1 (lebar *inlet* 1 m dan *outlet* 1 m). Kecepatan angin terendah sebesar 1,16 m/s pada ruang tamu dan dihasilkan oleh jendela alternatif 9 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 0,5 m). Kecepatan angin terendah sebesar 0,8 m/s pada ruang tamu dan dihasilkan oleh jendela alternatif 3 (lebar *inlet* 1 m dan *outlet* 0,5 m). Alternatif 7 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 1 m) yang merupakan alternatif terpilih memiliki kecepatan angin sebesar 1,32 m/s pada ruang tamu dan 0,92 m/s pada kamar tidur.

Hasil simulasi kecepatan angin alternatif dimensi kemudian saling dikaitkan dengan perubahan kecepatan angin. Pengaruh dimensi terhadap perubahan kecepatan angin berkaitan dengan posisi jendela sebagai inlet maupun outlet. Pengaruh tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil kecepatan angin antara alternatif dengan dimensi inlet yang sama dan

alternatif dengan dimensi outlet yang sama. Berikut ini adalah grafik hubungan antara dimensi jendela dengan suhu yang dihasilkan.



Gambar 4.37 Hubungan antara dimensi dan kecepatan angin

Hasil simulasi kecepatan angin apabila dihubungkan dengan dimensinya menunjukkan bahwa jendela *outlet* yang memiliki ukuran semakin kecil menyebabkan kecepatan angin semakin menurun. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Lechner (2015), bahwa ukuran *outlet* bukaan yang lebih kecil dibandingkan ukuran *inlet* bukaan dapat mengurangi kecepatan angin dalam ruangan. Jendela alternatif 9 dengan ukuran jendela *inlet* dan *outlet* yang sama sebesar 0,5 m menghasilkan kecepatan angin paling rendah dibandingkan alternatif lain. Hal ini berbeda dengan alternatif 1 dengan lebar dimensi *inlet* 1 m dan *outlet* 1 m yang menghasilkan kecepatan angin tertinggi.

Hasil simulasi alternatif dimensi dihitung perbedaan kecepatan anginnya dengan hasil simulasi kondisi eksisting. Perhitungan selisih kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui perubahan kecepatan angin yang terjadi pada kamar tidur dan ruang tamu ketika dimensi jendela diubah dari kondisi eksisting. Perbandingan selisih hasil simulasi masing-masing alternatif dapat menunjukkan besarnya kenaikan kecepatan angin yang dihasilkan oleh modifikasi dimensi. Berikut ini adalah selisih kecepatan angin pada masing-masing alternatif dimensi apabila dibandingkan dengan hasil simulasi eksisting.

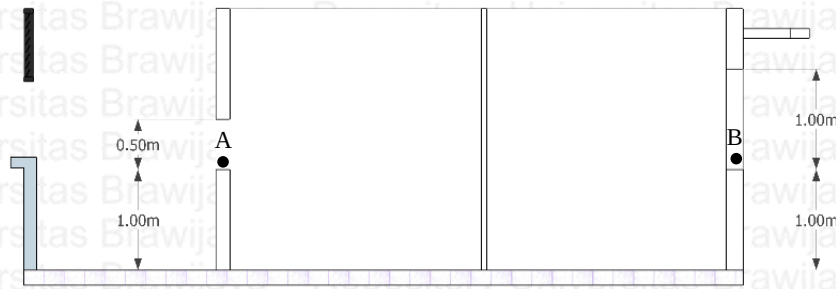
Tabel 4.19 Selisih kecepatan angin alternatif modifikasi dimensi terhadap kecepatan angin hasil simulasi eksisting

Alt.	Kecepatan angin modifikasi (m/s)			Selisih dengan simulasi eksisting (m/s)		
	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
1	1.76	1.04	0.75	0.2	0.5	-0.1
2	1.76	0.96	0.83	0.2	0.42	-0.02
3	1.6	0.8	0.77	0.04	0.26	-0.08
4	1.48	0.96	0.76	-0.08	0.42	-0.09
5	1.48	0.92	0.76	-0.08	0.38	-0.09
6	1.56	0.84	0.78	0	0.3	-0.07
7	1.32	0.92	0.77	-0.24	0.38	-0.08
8	1.32	0.92	0.77	-0.24	0.38	-0.08
9	1.16	0.84	0.78	-0.4	0.3	-0.07

Hasil simulasi keseluruhan alternatif dimensi dapat meningkatkan kecepatan angin pada kamar tidur. Peningkatan kecepatan angin pada ruang tamu hanya berhasil dilakukan oleh alternatif 1, 2, dan 3 yang memiliki lebar *inlet* yang sama besar yaitu 1 m. Kecepatan angin pada ruang tamu dapat ditingkatkan sebesar 0,2 m/s oleh jendela alternatif 1 (lebar *inlet* 1 m dan *outlet* 1 m) dan 2 (lebar *inlet* 1 m dan *outlet* 0,75 m). Penurunan kecepatan angin terbesar pada ruang tamu sebesar 0,24 m/s juga dapat dilakukan menggunakan jendela alternatif 7 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 1 m) dan 8 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 0,75 m). Peningkatan kecepatan angin terbesar sebesar 0,5 m/s pada kamar tidur dapat dicapai melalui alternatif 1 (lebar *inlet* 1 m dan *outlet* 1 m). Alternatif 7 dengan dimensi *inlet* selebar 0,5 m dan *outlet* selebar 1 m tetap merupakan alternatif terpilih berdasarkan suhu terendah terlepas dari kecepatan anginnya.

4. Alternatif dimensi jendela terpilih

Hasil simulasi suhu pada alternatif dimensi menunjukkan bahwa alternatif dimensi yang menghasilkan suhu paling rendah adalah alternatif 7. Alternatif 7 dengan dimensi jendela A (*inlet*) selebar 0,5 m dan jendela B (*outlet*) selebar 1 m mampu menghasilkan suhu sebesar 31.54 °C pada ruang tamu dan 31.74 °C pada kamar tidur. Hasil suhu tersebut apabila dihitung selisihnya dengan suhu simulasi jendela eksisting memiliki penurunan suhu sebesar 0.06 °C pada ruang tamu dan 0.28 °C pada kamar tidur. Kecepatan angin rata-rata yang dihasilkan adalah 0,77 m/s. Berikut ini adalah potongan unit hunian dengan jendela alternatif 7.



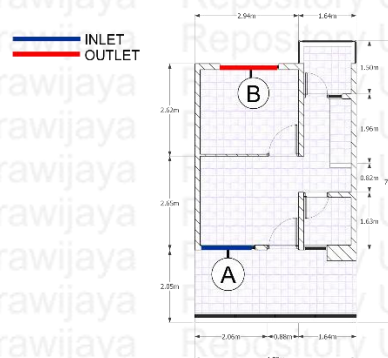
Gambar 4.38 Jendela alternatif 7

4.6.2 Posisi jendela

Posisi jendela memiliki pengaruh terhadap arah panas dan angin yang masuk ke dalam ruangan. Panas dan angin yang masuk melalui jendela ini mempengaruhi kondisi suhu dalam ruangan. Modifikasi posisi pada jendela A dan B dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela dalam menurunkan suhu apabila posisi jendela diubah-ubah. Berikut ini adalah urutan dalam melakukan modifikasi posisi pada jendela A dan B.

1. Penentuan alternatif posisi

Hasil modifikasi dimensi yang memiliki suhu paling rendah adalah alternatif 7 dengan dimensi jendela A sebesar 1,5 m x 0,5 m sebagai *inlet* dan dimensi jendela B sebesar 1 m x 1 m sebagai *outlet*. Kondisi jendela pada alternatif 7 ini kemudian digunakan dimensinya dan dirubah posisinya untuk menentukan alternatif posisi jendela. Seluruh alternatif posisi jendela dikondisikan untuk memiliki dimensi dan jenis jendela yang sama. Hal ini dilakukan agar dimensi dan jenis jendela tidak mempengaruhi perubahan suhu pada simulasi. Posisi jendela yang dimodifikasi adalah posisi jendela dari ketinggian lantai sedangkan posisi jendela secara horizontal dibuat sama dengan posisi jendela eksisting. Berikut ini adalah perubahan jendela yang dilakukan dari jendela alternatif 7 menjadi jendela dengan alternatif posisi.



Gambar 4.39 Keyplan jendela pada modifikasi posisi jendela

Tabel 4.20 Perubahan Jendela untuk Simulasi Posisi

	Alternatif 7	Jendela simulasi posisi
Jendela A		
Dimensi	1,50 m × 0,50 m	1,50 m × 0,50 m
Posisi	+1,00	variasi
Jenis	-	-
Jendela B		
Dimensi	1,00 m × 1,00 m	1,00 m × 1,00 m
Posisi	+1,00	variasi
Jenis	-	-

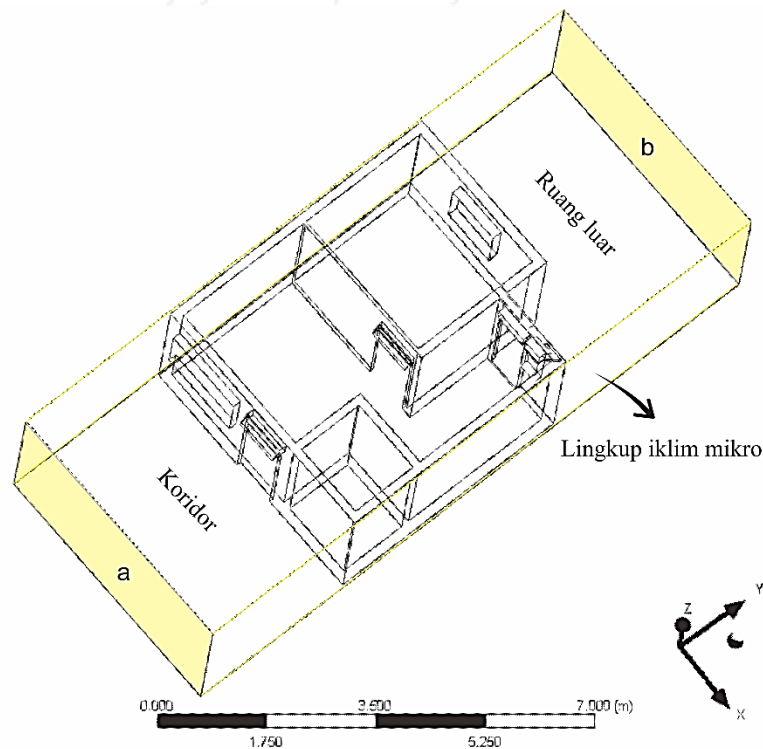
Posisi jendela divariasikan menjadi beberapa alternatif posisi jendela. Variasi posisi tersebut diperoleh berdasarkan posisi ketinggian zona manusia yang berada hingga ketinggian +2,00 m dari lantai. Variasi posisi tersebut antara lain, + 0,50 m, + 0,75 m, dan + 1,00 m. Ketiga variasi tersebut masing-masing dikombinasikan untuk diterapkan pada jendela A dan jendela B. Kombinasi 3 variasi posisi pada 2 jendela menghasilkan 9 alternatif posisi. Berikut ini adalah rincian alternatif posisi jendela.

Tabel 4.21 Alternatif Posisi Jendela

Jenis alternatif	Jendela A (<i>inlet</i>)	Jendela B (<i>outlet</i>)
Alternatif 7-1	+ 1,00 m	+ 1,00 m
Alternatif 7-2		+ 0,75 m
Alternatif 7-3		+ 0,50 m
Alternatif 7-4	+ 0,75 m	+ 1,00 m
Alternatif 7-5		+ 0,75 m
Alternatif 7-6		+ 0,50 m
Alternatif 7-7	+ 0,50 m	+ 1,00 m
Alternatif 7-8		+ 0,75 m
Alternatif 7-9		+ 0,50 m

2. Simulasi suhu pada alternatif posisi jendela

Modifikasi posisi dilakukan menggunakan *software* ANSYS 14.5 dengan memasukkan 9 geometri alternatif posisi tiap simulasi. *Software* secara otomatis melakukan perhitungan numerik berdasarkan data yang dimasukkan, sehingga dapat diketahui perbedaan hasil suhu dari masing-masing alternatif. Data yang dimasukkan ke dalam kondisi batas untuk menciptakan iklim mikro adalah data pengukuran suhu tertinggi pada tanggal 2 September pukul 15.00. Berikut ini adalah pengaturan dan data yang diinput pada *software* untuk simulasi modifikasi posisi.



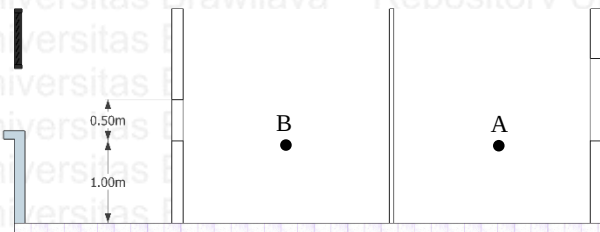
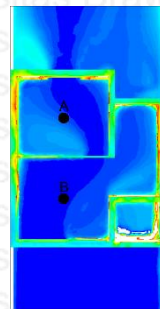
Gambar 4.40 Geometri simulasi posisi

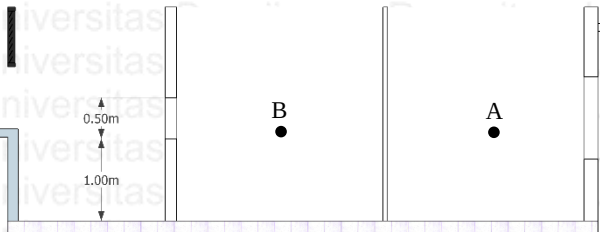
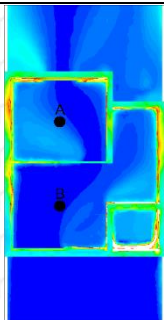
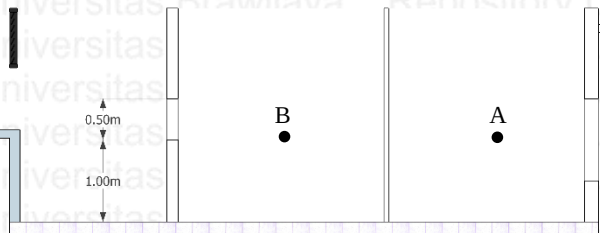
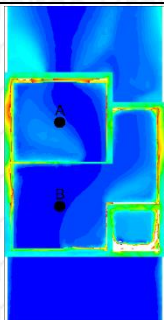
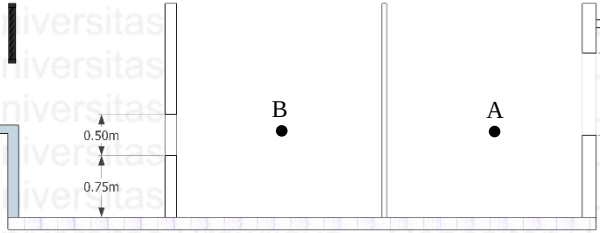
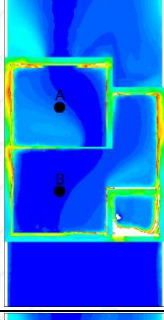
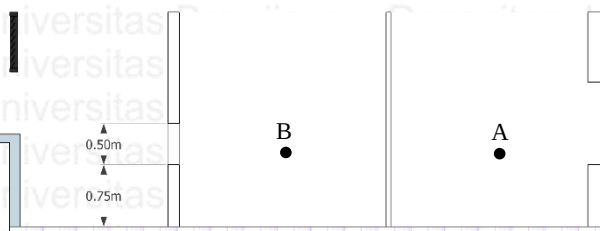
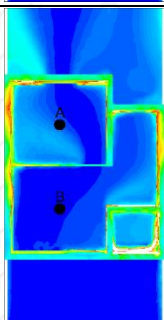
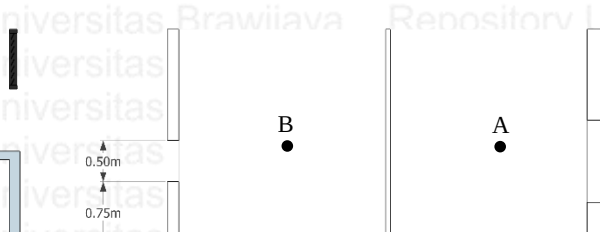
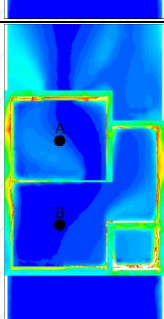
Tabel 4.22 Data Kondisi Batas Simulasi Posisi

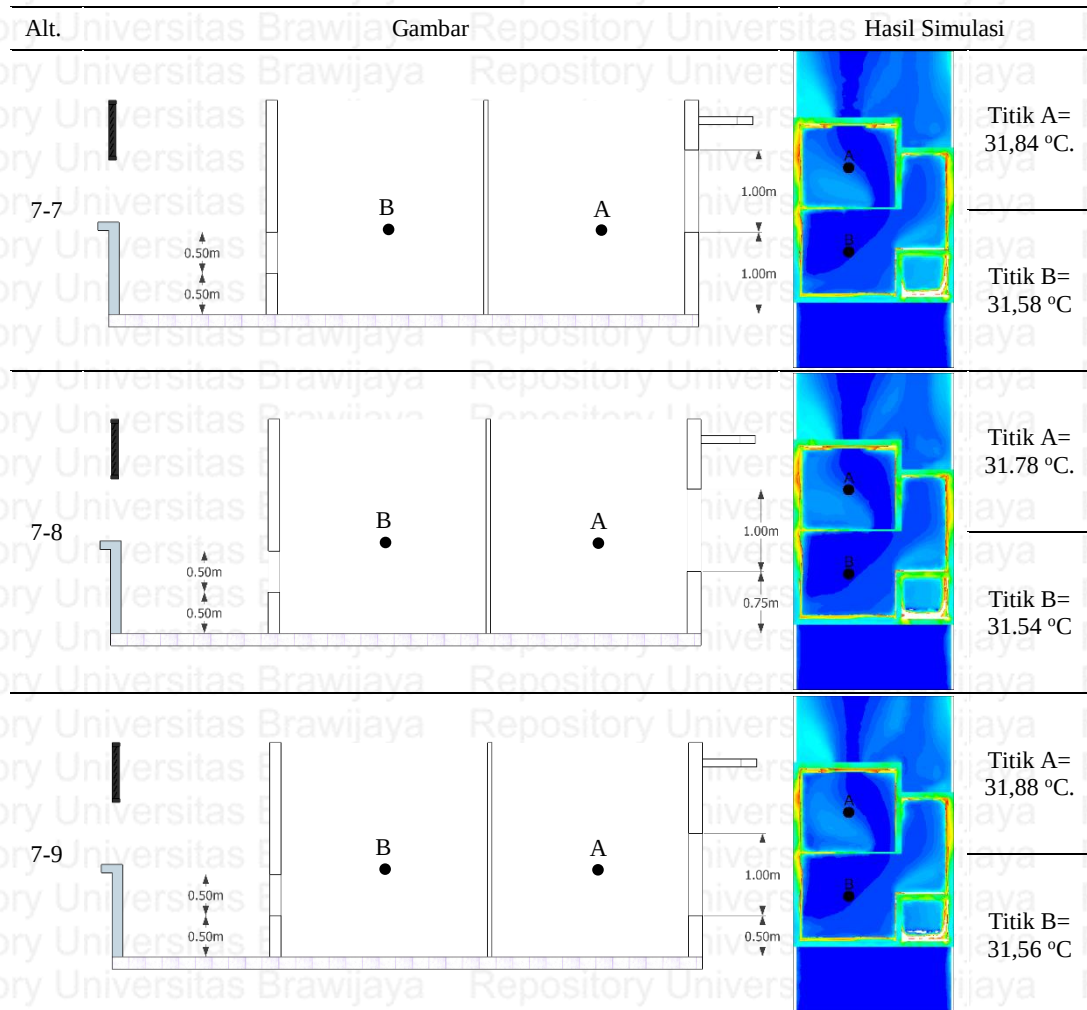
Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
Sisi a wind tunnel	Koridor	Inlet	Suhu = 31,5 °C Kecepatan angin = 0,57 m/s
Sisi b wind tunnel	Ruang luar	Outlet	Suhu = 32,4 °C
Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

Keseluruhan data untuk simulasi diinput pada masing-masing alternatif posisi jendela. Hasil yang ingin dilihat adalah perbedaan suhu terkait perubahan posisi pada unit hunian. Hasil suhu masing-masing alternatif dibandingkan untuk mengetahui alternatif posisi jendela dengan suhu terendah. Berikut ini adalah hasil suhu simulasi dimensi yang dilakukan pada masing-masing alternatif.

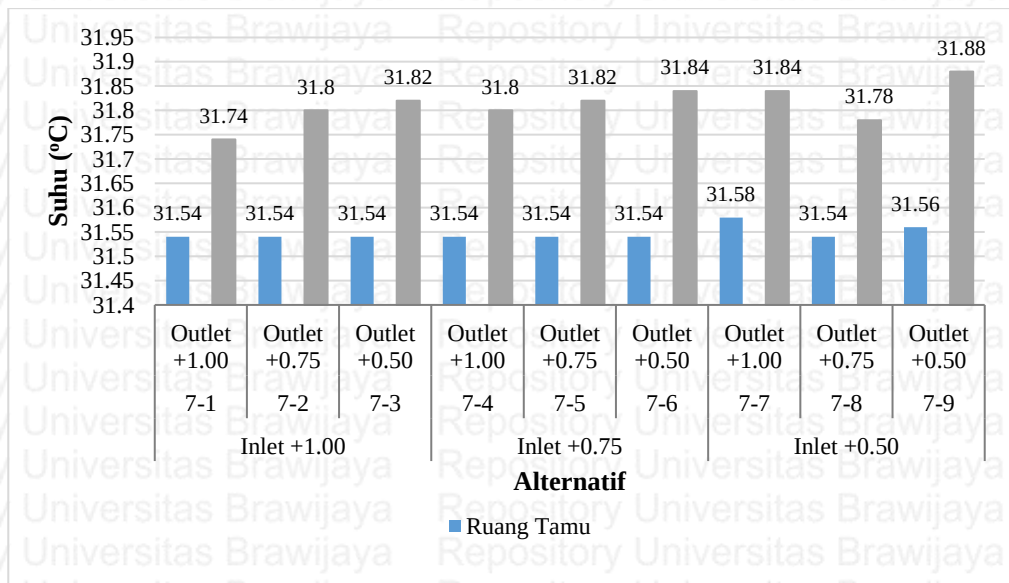
Tabel 4.23 Alternatif Modifikasi Posisi Jendela

Alt.	Gambar	Hasil Simulasi
7-1		 Titik A= 31,74 °C. Titik B= 31,54 °C

Alt.	Gambar	Hasil Simulasi
7-2		 Titik A = 31,8 °C. Titik B = 31,54 °C
7-3		 Titik A = 31,82 °C. Titik B = 31,54 °C
7-4		 Titik A = 31,8 °C. Titik B = 31,54 °C
7-5		 Titik A = 31,82 °C. Titik B = 31,54 °C
7-6		 Titik A = 31,84 °C. Titik B = 31,54 °C



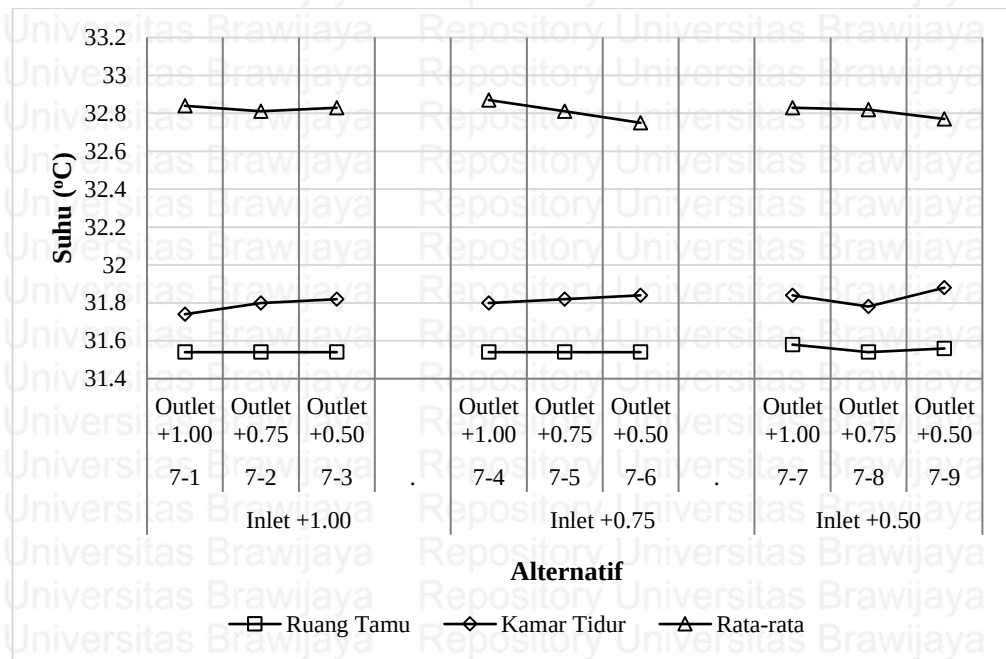
Simulasi dilakukan dengan menggunakan 9 geometri berbeda berdasarkan alternatif posisi jendela. Hasil simulasi alternatif posisi tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain agar diketahui suhu mana yang paling tinggi dan paling rendah pada masing-masing ruang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui alternatif posisi yang mampu menurunkan suhu paling besar. Perbandingan suhu yang paling rendah pada kedua ruang lah yang menjadi pertimbangan untuk pemilihan alternatif. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi suhu alternatif posisi.



Gambar 4.41 Hasil simulasi suhu modifikasi posisi

Hasil simulasi menunjukkan alternatif 7-9 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +0,5 m) memiliki suhu kamar tidur yang paling tinggi, yaitu 31,88 °C (lihat gambar). Suhu ruang tamu yang paling tinggi sebesar 31,58 °C dihasilkan oleh alternatif 7-7 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +1 m). Suhu paling rendah berada pada alternatif 7-1 (*inlet* +1 m dan *outlet* 1 m), yaitu 31,54 °C pada ruang tamu dan 31,74 °C pada kamar tidur. Alternatif 7-1 memiliki suhu paling rendah di kedua ruangan dibandingkan alternatif lain. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif 7-1 dengan posisi *inlet* +1,00 m dan *outlet* +1,00 m adalah posisi terpilih untuk modifikasi posisi.

Hasil simulasi suhu alternatif posisi kemudian saling dikaitkan dengan perubahan suhu. Pengaruh posisi terhadap perubahan suhu berkaitan dengan posisi jendela sebagai inlet maupun outlet. Pengaruh tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil suhu antara alternatif dengan posisi inlet yang sama dan alternatif dengan posisi outlet yang sama. Perubahan suhu yang terjadi ketika posisi inlet berubah dan sebaliknya juga perlu diketahui. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hubungan perubahan posisi inlet maupun outlet terhadap suhu yang dihasilkan dalam ruangan. Berikut ini adalah grafik hubungan antara posisi jendela dengan suhu yang dihasilkan.



Gambar 4.42 Hubungan antara suhu dengan posisi jendela

Hubungan antara posisi jendela dengan suhu pada simulasi menunjukkan tidak adanya perubahan suhu yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh posisi yang menjadi seluruh alternatif jendela masih berada pada zona aktifitas manusia. Pengaruh posisi jendela terhadap perubahan suhu pada ruang tamu hampir tidak terlihat kecuali pada alternatif 7-7 yang berhasil meningkatkan suhu pada ruang tamu. Hal ini berbeda pada kamar tidur yang cenderung memiliki suhu lebih rendah ketika posisi *outlet* semakin tinggi. Panas dalam ruangan pada dasarnya bergerak ke atas sehingga panas ini dapat dikurangi dengan posisi *outlet* yang tinggi.

Secara keseluruhan alternatif posisi yang terpilih adalah alternatif 7-1 dengan posisi *inlet* +1,00 m dan *outlet* +1,00 m. Hasil simulasi alternatif posisi dihitung perbedaan suhunya dengan hasil simulasi kondisi eksisting. Perhitungan selisih penurunan suhu dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi pada kamar tidur dan ruang tamu ketika posisi jendela diubah dari kondisi eksisting. Perbandingan selisih hasil simulasi masing-masing alternatif dapat menunjukkan besarnya penurunan suhu yang dihasilkan oleh modifikasi posisi. Berikut ini adalah selisih suhu pada masing-masing alternatif posisi apabila dibandingkan dengan hasil simulasi eksisting.

Tabel 4.24 Selisih Suhu Modifikasi Posisi terhadap Suhu Hasil Simulasi

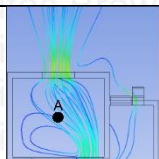
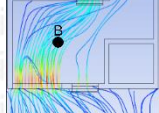
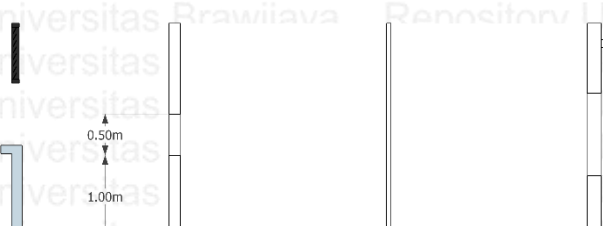
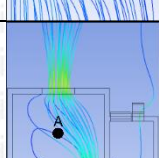
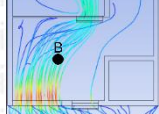
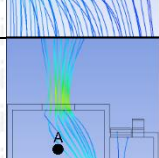
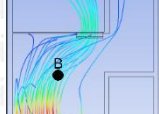
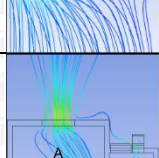
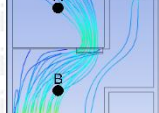
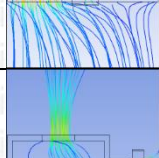
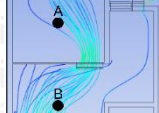
Alt.	Suhu modifikasi (°C)			Selisih dengan simulasi eksisting (°C)		
	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
7-1	31.54	31.74	32.84	-0.06	-0.28	0.66
7-2	31.54	31.8	32.81	-0.06	-0.22	0.63
7-3	31.54	31.82	32.83	-0.06	-0.2	0.65
7-4	31.54	31.8	32.87	-0.06	-0.22	0.69
7-5	31.54	31.82	32.81	-0.06	-0.2	0.63
7-6	31.54	31.84	32.75	-0.06	-0.18	0.57
7-7	31.58	31.84	32.83	-0.02	-0.18	0.65
7-8	31.54	31.78	32.82	-0.06	-0.24	0.64
7-9	31.56	31.88	32.77	-0.04	-0.14	0.59

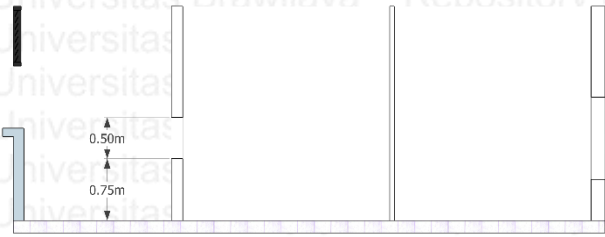
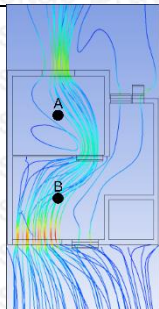
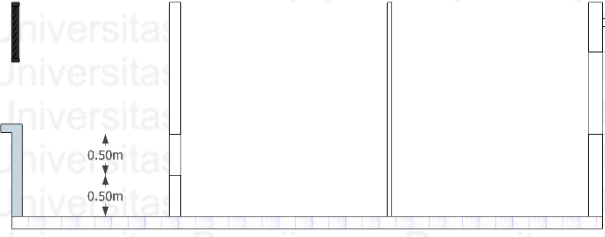
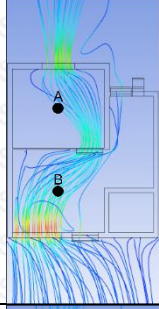
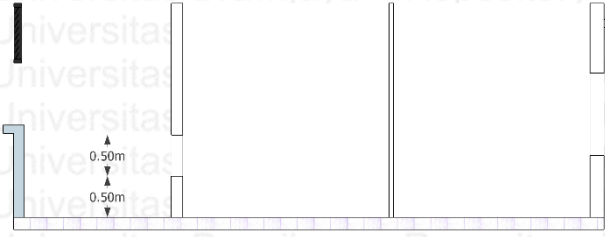
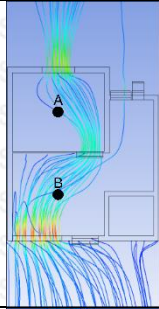
Hasil simulasi keseluruhan alternatif posisi memiliki suhu ruangan yang lebih rendah dibandingkan suhu simulasi kondisi eksisting, meskipun tidak signifikan alternatif posisi pada jendela mampu menurunkan suhu dalam ruang. Suhu pada ruang tamu dapat diturunkan hingga 0,06 °C melalui seluruh jendela alternatif kecuali alternatif 7-7 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +1 m) dan 7-9 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +0,5 m). Hal ini menunjukkan alternatif posisi *inlet* yang diberikan tidak memberi pengaruh signifikan. Suhu pada kamar tidur dapat diturunkan sebesar 0,28 °C melalui jendela alternatif 7-1 (lebar *inlet* 0,5 m dan *outlet* 1 m). Jendela alternatif 7-1 yang terpilih menjadi acuan alternatif selanjutnya mampu menurunkan suhu ruang tamu sebesar 0,06 °C dan suhu kamar tidur sebesar 0,28 °C.

3. Simulasi kecepatan angin pada modifikasi posisi

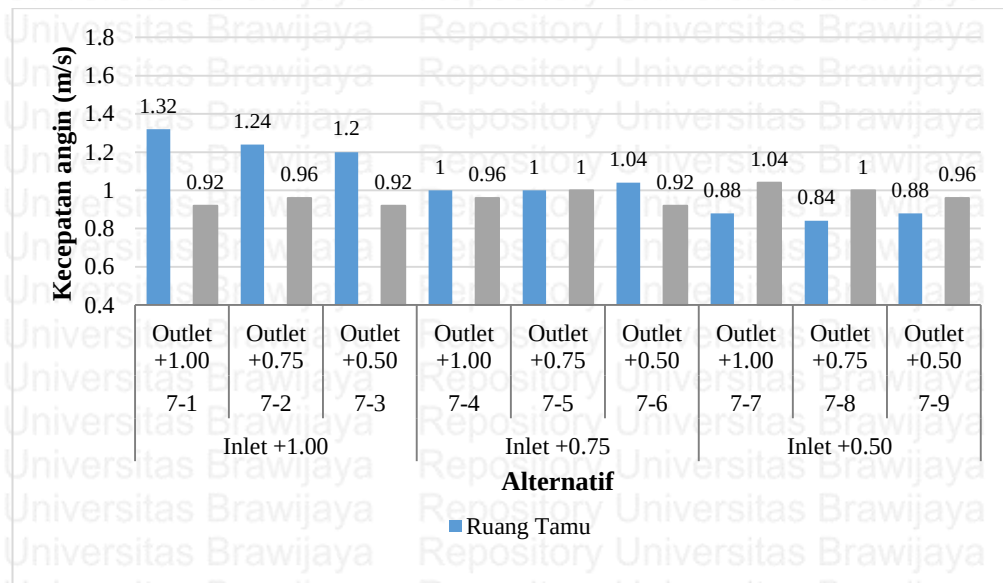
Hasil kecepatan angin dalam ruang juga berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengguna dan efek penyegaran dalam ruangan. Penyegaran udara dalam ruang dapat menurunkan suhu pada kulit manusia melalui proses penguapan, sehingga suhu dalam ruang yang belum masuk kategori nyaman dapat diatasi melalui penyegaran udara pada ventilasi alami. Kebutuhan kecepatan angin melalui *bioclimathichart* untuk mencapai nyaman termal juga dapat digunakan. Berikut ini merupakan hasil simulasi kecepatan angin dalam ruang.

Tabel 4.25 Hasil Simulasi Angin Modifikasi Posisi Jendela

Alt.	Gambar	Hasil simulasi	Σ Kec. angin
7-1			Ruang B= 1,32 m/s
			Ruang A= 0,92 m/s
7-2			Ruang B= 1,24 m/s
			Ruang A= 0,96 m/s
7-3			Ruang B= 1,2 m/s
			Ruang A= 0,92 m/s
7-4			Ruang B= 1 m/s
			Ruang A= 0,96 m/s
7-5			Ruang B= 1 m/s
			Ruang A= 1 m/s

Alt.	Gambar	Hasil simulasi	Σ Kec. angin
7-6			Ruang B= 1,04 m/s Ruang A= 0,92 m/s
7-7			Ruang B= 0,88 m/s Ruang A= 1,04 m/s
7-8			Ruang B= 0,84 m/s Ruang A= 1 m/s
7-9			Ruang B= 0,88 m/s Ruang A= 0,96 m/s

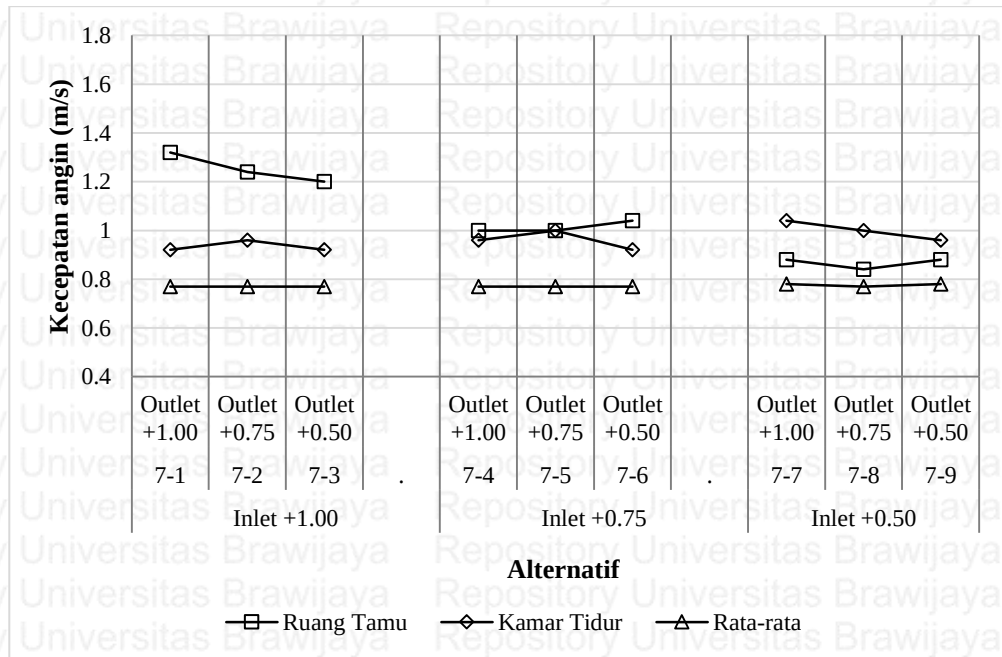
Simulasi dilakukan dengan menggunakan 9 geometri berbeda berdasarkan alternatif posisi jendela. Hasil simulasi alternatif posisi tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain agar diketahui kecepatan angin mana yang paling tinggi dan paling rendah pada masing-masing ruang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui alternatif posisi yang mampu meningkatkan kecepatan angin paling besar. Perbandingan kecepatan suhu hanya dilakukan untuk mengetahui kondisi kecepatan angin. Pemilihan alternatif tidak mempertimbangkan kecepatan angin yang paling besar. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi suhu alternatif posisi.



Gambar 4.43 Perbandingan kecepatan angin pada alternatif modifikasi posisi jendela

Hasil simulasi kecepatan angin pada alternatif modifikasi posisi jendela menunjukkan bahwa kecepatan angin tertinggi sebesar 1,32 m/s pada ruang tamu dihasilkan oleh jendela alternatif 7-1 (*inlet* +1 m dan *outlet* +1 m). Kecepatan angin tertinggi sebesar 1,04 m/s pada kamar tidur dihasilkan oleh jendela alternatif 7-7 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +1 m). Kecepatan angin terendah sebesar 0,84 m/s pada ruang tamu dihasilkan oleh jendela alternatif 7-8 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +0,75 m). Kecepatan angin terendah sebesar 0,92 m/s pada kamar tidur dihasilkan oleh jendela alternatif 7-1 (*inlet* +1 m dan *outlet* +1 m), 7-3 (*inlet* +1 m dan *outlet* +0,5 m), dan 7-6 (*inlet* +0,75 m dan *outlet* +0,75 m). Kecepatan angin alternatif 7-1 sebagai alternatif terpilih adalah 1,32 m/s pada ruang tamu dan 0,92 m/s pada kamar tidur

Hasil simulasi kecepatan angin alternatif posisi kemudian saling dikaitkan dengan perubahan kecepatan angin. Pengaruh dimensi terhadap perubahan kecepatan angin berkaitan dengan posisi jendela sebagai inlet maupun outlet. Pengaruh tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil kecepatan angin antara alternatif dengan posisi inlet yang sama dan alternatif dengan posisi outlet yang sama. Berikut ini adalah grafik hubungan antara posisi jendela dengan suhu yang dihasilkan.



Gambar 4.44 Hubungan alternatif posisi jendela terhadap kecepatan angin

Hasil simulasi kecepatan angin apabila dihubungkan dengan posisinya menunjukkan bahwa posisi jendela *outlet* yang semakin rendah menyebabkan kecepatan angin semakin menurun. Alternatif posisi jendela *inlet* yang dilakukan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kecepatan angin. Hal ini disebabkan oleh alternatif posisi jendela yang diberikan masih berada di zona aktifitas manusia, posisi ini sangat tepat untuk melakukan pendinginan fisiologis terhadap manusia. Kecepatan angin dari hasil simulasi juga menunjukkan adanya penurunan kecepatan dengan semakin rendahnya posisi *inlet*.

Hasil simulasi alternatif posisi dihitung perbedaan kecepatan anginnya dengan hasil simulasi kondisi eksisting. Perhitungan selisih kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui perubahan kecepatan angin yang terjadi pada kamar tidur dan ruang tamu ketika dimensi jendela diubah dari kondisi eksisting. Perbandingan selisih hasil simulasi masing-masing alternatif dapat menunjukkan besarnya kenaikan kecepatan angin yang dihasilkan oleh modifikasi posisi. Berikut ini adalah selisih kecepatan angin pada masing-masing alternatif posisi apabila dibandingkan dengan hasil simulasi eksisting.

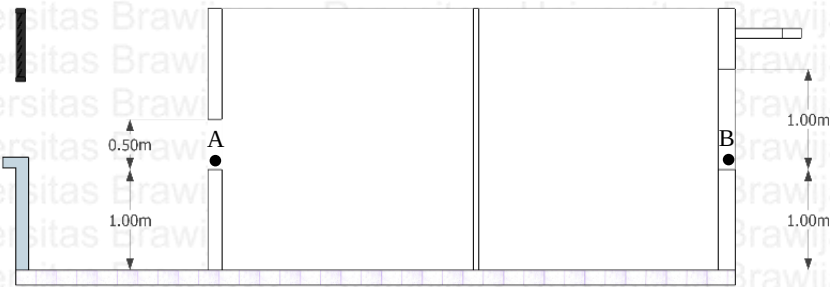
Tabel 4.26 Selisih kecepatan angin alternatif modifikasi posisi terhadap kecepatan angin hasil simulasi eksisting

Alt.	Kecepatan angin modifikasi (m/s)			Selisih dengan simulasi eksisting (m/s)		
	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
7-1	1.32	0.92	0.77	-0.24	0.38	-0.08
7-2	1.24	0.96	0.77	-0.32	0.42	-0.08
7-3	1.2	0.92	0.77	-0.36	0.38	-0.08
7-4	1	0.96	0.77	-0.56	0.42	-0.08
7-5	1	1	0.77	-0.56	0.46	-0.08
7-6	1.04	0.92	0.77	-0.52	0.38	-0.08
7-7	0.88	1.04	0.78	-0.68	0.5	-0.07
7-8	0.84	1	0.77	-0.72	0.46	-0.08
7-9	0.88	0.96	0.78	-0.68	0.42	-0.07

Hasil simulasi keseluruhan alternatif posisi jendela dapat meningkatkan kecepatan angin pada kamar tidur. Peningkatan kecepatan angin pada ruang tamu tidak berhasil dilakukan pada alternatif manapun. Kecepatan angin pada ruang tamu justru dapat diturunkan hingga 0,72 m/s melalui jendela alternatif 7-8 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +0,75 m). Peningkatan kecepatan angin terbesar hingga 0,5 m/s pada kamar tidur dapat dicapai melalui alternatif 7-7 (*inlet* +0,5 m dan *outlet* +1 m). Alternatif posisi terpilih untuk modifikasi selanjutnya, yaitu alternatif 7-1 mampu menurunkan kecepatan angin pada ruang tamu sebesar 0,24 m/s dan mampu meningkatkan kecepatan angin pada kamar tidur sebesar 0,38 m/s.

4. Alternatif posisi jendela terpilih

Hasil simulasi suhu pada alternatif dimensi menunjukkan bahwa alternatif dimensi yang menghasilkan suhu paling rendah adalah alternatif 7-1. Alternatif 7-1 memiliki dimensi jendela A (*inlet*) selebar 0,5 cm dan jendela B (*outlet*) selebar 1 m dengan posisi kedua jendela berada di ketinggian +1.00 m dari lantai. Jendela ini mampu menghasilkan suhu sebesar 31.54 °C pada ruang tamu dan 31.74 °C pada kamar tidur. Hasil suhu tersebut apabila dihitung selisihnya dengan suhu simulasi jendela eksisting memiliki penurunan suhu sebesar 0.06 °C pada ruang tamu dan 0.28 °C pada kamar tidur. Kecepatan angin rata-rata yang dihasilkan adalah 0,77 m/s. Berikut ini adalah potongan unit hunian dengan jendela alternatif 7-1.



Gambar 4.45 Jendela alternatif 7-1

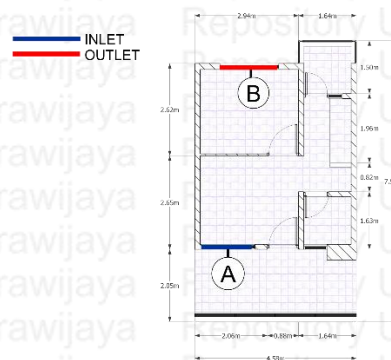
4.6.3 Jenis jendela

Jenis jendela memiliki pengaruh terhadap arah dan besarnya panas dan angin yang masuk ke dalam ruangan. Panas dan angin yang masuk melalui jendela ini mempengaruhi kondisi suhu dalam ruangan. Modifikasi jenis pada jendela A dan B dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela dalam menurunkan suhu apabila jenisnya jendela diubah-ubah. Berikut ini adalah urutan dalam melakukan modifikasi jenis pada jendela A dan B.

1. Penentuan alternatif posisi

Hasil modifikasi posisi yang memiliki suhu paling rendah adalah alternatif 7-1 dengan dimensi jendela A sebesar 1,5 m x 0,5 m sebagai *inlet* dan dimensi jendela B sebesar 1 m x 1 m sebagai *outlet* serta posisi kedua jendela yang berada di ketinggian +1.00 m dari lantai. Kondisi jendela pada alternatif 7-1 ini kemudian digunakan dimensi dan posisinya serta dirubah jenisnya untuk menentukan alternatif jenis jendela. Seluruh alternatif jenis jendela dikondisikan untuk memiliki dimensi dan posisi jendela yang sama. Hal ini dilakukan agar dimensi dan posisi jendela tidak mempengaruhi perubahan suhu pada simulasi.

Jenis jendela yang digunakan adalah tipe jendela nako. Tipe jendela nako dipilih berdasarkan hasil penelitian sebelumnya oleh Daryanto & Utama (2012) bahwa jendela pada rusun yang disarankan adalah jendela nako karena dapat digunakan sesuai kebutuhan pengguna. Prosentase angin yang masuk melalui jendela nako adalah 75%, sama dengan prosentase jendela eksisting (*awning*) (Lechner, 2015). Modifikasi jenis jendela dilakukan dengan memvariasikan sudut jendela nako. Berikut ini adalah perubahan jendela yang dilakukan dari jendela alternatif 7-1 menjadi jendela dengan alternatif jenis.



Gambar 4.46 Keyplan jendela pada modifikasi jenis jendela

Tabel 4.27 Perubahan Jendela untuk Simulasi Jenis

Alternatif 7		Jendela simulasi jenis
Jendela A		
Dimensi	1,50 m × 0,50 m	1,50 m × 0,50 m
Posisi	+1,00	+1,00
Jenis	-	Nako sudut <i>variasi</i>
Jendela B		
Dimensi	1,00 m × 1,00 m	1,00 m × 1,00 m
Posisi	+1,00	+1,00
Jenis	-	Nako sudut <i>variasi</i>

Sudut jendela nako divariasikan menjadi beberapa alternatif sudut jendela. Variasi sudut tersebut diperoleh berdasarkan penelitian oleh Prianto & Depecker (2003) mengenai pengoptimalan elemen desain dalam mencapai kenyamanan termal. Variasi sudut tersebut antara lain, 45°, 135°, dan 90°. Ketiga variasi tersebut masing-masing dikombinasikan untuk diterapkan pada jendela A dan jendela B. Kombinasi 3 variasi posisi pada 2 jendela menghasilkan 9 alternatif jenis jendela. Berikut ini adalah rincian alternatif jenis jendela.

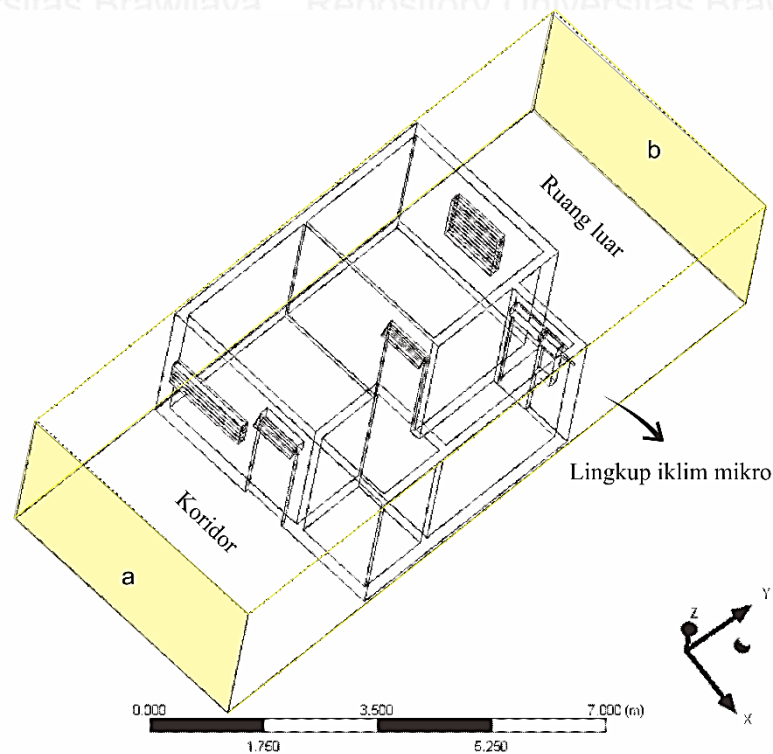
Tabel 4.28 Alternatif jenis jendela

Jenis alternatif	Jendela A (inlet)	Jendela B (outlet)
Alternatif 7-1-1	Nako sudut 45°	Nako sudut 45°
Alternatif 7-1-2		Nako sudut 135°
Alternatif 7-1-3		Nako sudut 90°
Alternatif 7-1-4	Nako sudut 135°	Nako sudut 45°
Alternatif 7-1-5		Nako sudut 135°
Alternatif 7-1-6		Nako sudut 90°
Alternatif 7-1-7	Nako sudut 90°	Nako sudut 45°
Alternatif 7-1-8		Nako sudut 135°
Alternatif 7-1-9		Nako sudut 90°

2. Simulasi suhu pada alternatif jenis jendela

Modifikasi posisi dilakukan menggunakan *software* ANSYS 14.5 dengan memasukkan 9 geometri alternatif jenis tiap simulasi. *Software* secara otomatis

melakukan perhitungan numerik berdasarkan data yang dimasukkan, sehingga dapat diketahui perbedaan hasil suhu dari masing-masing alternatif. Data yang dimasukkan ke dalam kondisi batas untuk menciptakan iklim mikro adalah data pengukuran suhu tertinggi pada tanggal 2 September pukul 15.00. Berikut ini adalah pengaturan dan data yang diinput pada *software* untuk simulasi modifikasi jenis.



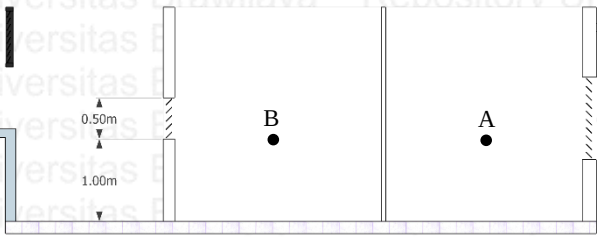
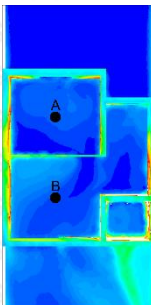
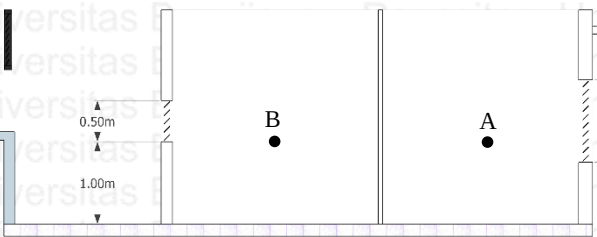
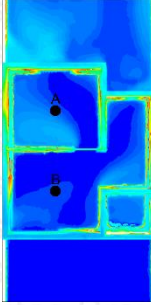
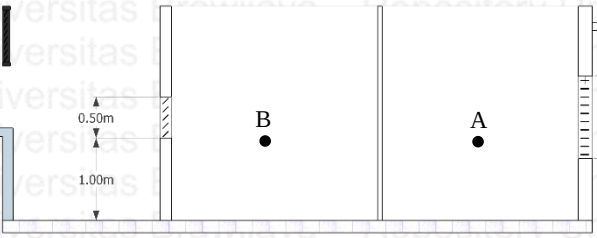
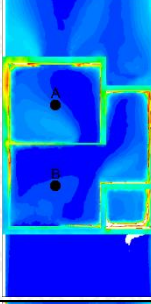
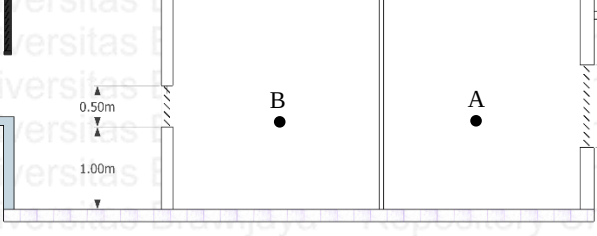
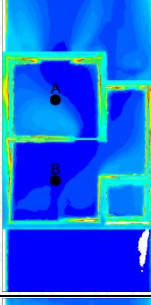
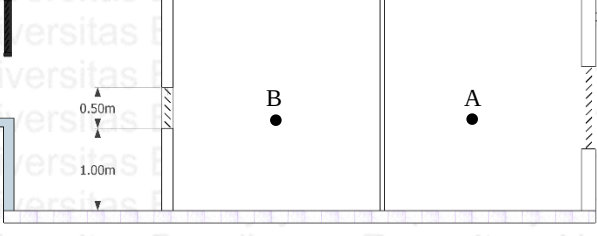
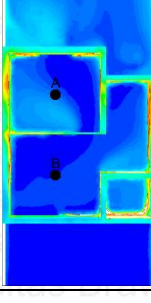
Gambar 4.47 Geometri simulasi jenis

Tabel 4.29 Data Kondisi Batas Simulasi Jenis

Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
Sisi a wind tunnel	Koridor	Inlet	Suhu = 31,5 °C Kecepatan angin = 0,57 m/s
Sisi b wind tunnel	Ruang luar	Outlet	Suhu = 32,4 °C
Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

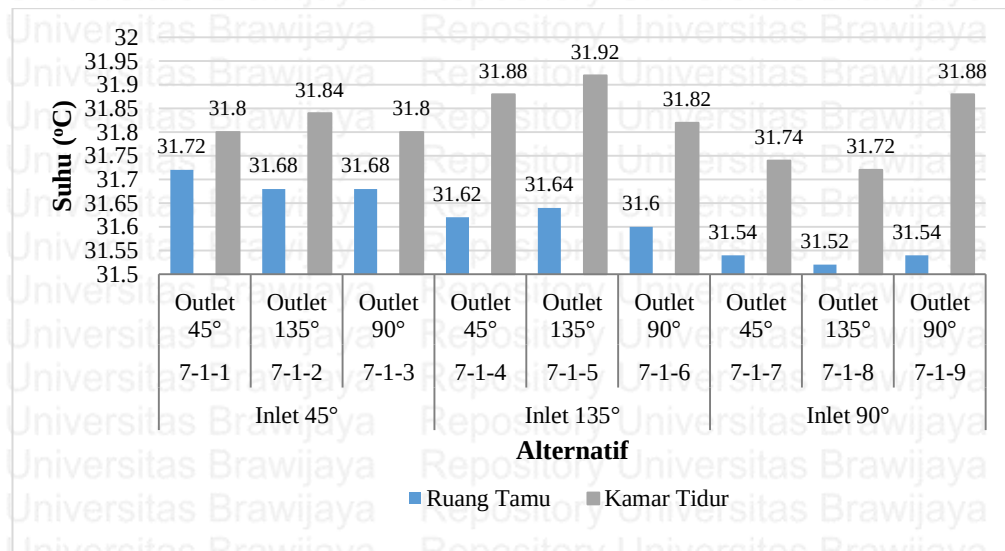
Keseluruhan data untuk simulasi diinput pada masing-masing alternatif jenis jendela. Hasil yang ingin dilihat adalah perbedaan suhu terkait perubahan jenis jendela pada unit hunian. Hasil suhu masing-masing alternatif dibandingkan untuk mengetahui alternatif jenis jendela dengan suhu terendah. Berikut ini adalah hasil suhu simulasi jenis yang dilakukan pada masing-masing alternatif.

Tabel 4.30 Alternatif Modifikasi Jenis Jendela

Alt.	Gambar	Hasil Simulasi	Suhu
7-1-1			Titik A = 31,8 °C. Titik B = 31,72 °C
7-1-2			Titik A = 31,84 °C. Titik B = 31,68 °C
7-1-3			Titik A = 31,8 °C. Titik B = 31,68 °C
7-1-4			Titik A = 31,88 °C. Titik B = 31,62 °C
7-1-5			Titik A = 31,92 °C. Titik B = 31,64 °C

Alt.	Gambar	Hasil Simulasi	Suhu
7-1-6			Titik A= 31,82 °C. Titik B= 31,6 °C
7-1-7			Titik A= 31,74 °C. Titik B= 31,54 °C
7-1-8			Titik A= 31,72 °C. Titik B= 31,52 °C
7-1-9			Titik A= 31,88 °C. Titik B= 31,54 °C

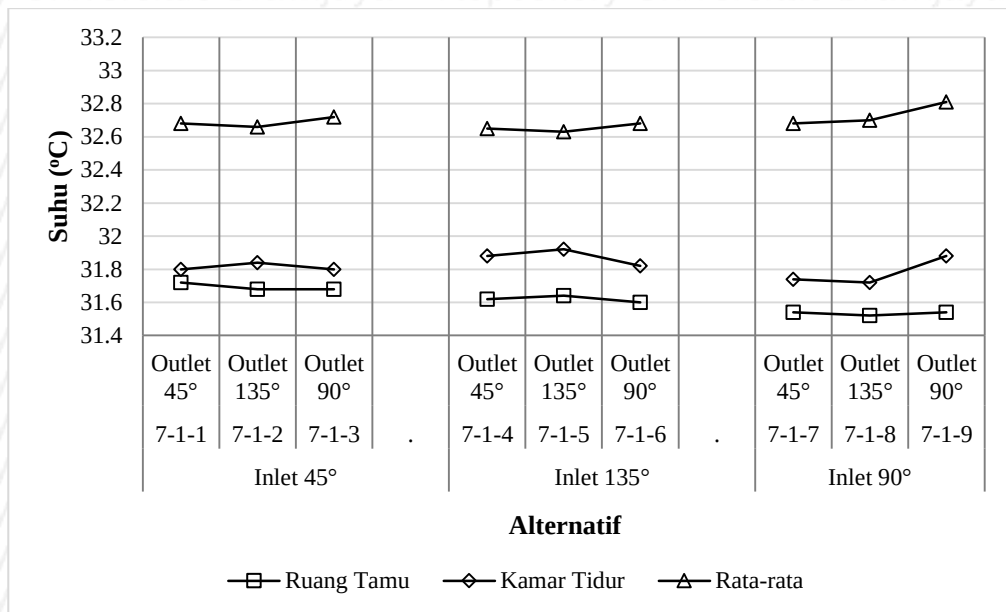
Simulasi dilakukan dengan menggunakan 9 geometri berbeda berdasarkan alternatif jenis jendela. Hasil simulasi alternatif jenis jendela tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain agar diketahui suhu mana yang paling tinggi dan paling rendah pada masing-masing ruang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui alternatif jenis jendela yang mampu menurunkan suhu paling besar. Perbandingan suhu yang paling rendah pada kedua ruang lah yang menjadi pertimbangan untuk pemilihan alternatif. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi suhu alternatif jenis jendela.



Gambar 4.48 Hasil simulasi suhu alternatif jenis jendela

Simulasi dilakukan dengan menggunakan 9 geometri berbeda berdasarkan alternatif jendela pada gambar. Hasil simulasi suhu menunjukkan alternatif 7-1-5 (*inlet* 135° dan *outlet* 135°) memiliki suhu ruang dalam yang paling tinggi, yaitu 31,92 °C pada kamar tidur (lihat gambar). Suhu ruang tamu yang paling tinggi berada pada alternatif 7-1-1 (*inlet* 45° dan *outlet* 45°). Suhu paling rendah berada pada alternatif 7-1-8 (*inlet* 90° dan *outlet* 135°), yaitu 31,54 °C pada ruang tamu dan 31,74 °C pada kamar tidur. Alternatif 7-1-8 memiliki suhu paling rendah di kedua ruangan dibandingkan alternatif lain. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif 7-1-8 dengan jenis jendela nako sudut 90° pada *inlet* dan nako sudut 135° pada *outlet* adalah jenis jendelal terpilih untuk modifikasi jenis jendela.

Hasil simulasi suhu alternatif jenis jendela kemudian saling dikaitkan dengan perubahan suhu. Pengaruh sudut jendela nako terhadap perubahan suhu berkaitan dengan posisi jendela sebagai inlet maupun outlet. Pengaruh tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil suhu antara alternatif dengan sudut nako inlet yang sama dan alternatif dengan sudut nako outlet yang sama. Perubahan suhu yang terjadi ketika sudut nako inlet berubah dan sebaliknya juga perlu diketahui. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hubungan perubahan sudut nako inlet maupun outlet terhadap suhu yang dihasilkan dalam ruangan. Berikut ini adalah grafik hubungan antara jenis jendela variasis sudut nako dengan suhu yang dihasilkan.



Gambar 4.49 Perbandingan antara suhu dengan sudut nako

Hubungan antara jenis jendela dengan suhu pada simulasi menunjukkan bahwa berdasarkan rata-rata suhunya sudut jendela nako 90° sebagai *outlet* justru cenderung meningkatkan suhu pada unit hunian. Hal berbeda terjadi pada kondisi *inlet*nya, kondisi *inlet* dengan sudut jendela nako 90° justru menunjukkan suhu yang lebih rendah dibandingkan sudut lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi sudah nako yang paling tepat sebagai *inlet* adalah sejajar horizontal atau berputar 90°. Kondisi sudut tersebut memungkinkan angin masuk tanpa terkena gangguan dari daun jendela nako itu sendiri, hal ini sesuai dengan teori Moore (1994 dalam Mediastika 2002) bahwa jendela tipe *jalousie* dengan yang sudut kemiringan cenderung menghalangi angin yang masuk sebesar 25%. Angin yang terhalang masuk dapat menjadi penyebab rendahnya suhu dalam bangunan.

Secara keseluruhan alternatif jenis jendela yang terpilih adalah alternatif 7-1-8 dengan jenis jendela nako sudut 90° pada *inlet* dan nako sudut 135° pada *outlet*. Hasil simulasi alternatif jenis jendela dihitung perbedaan suhunya dengan hasil simulasi kondisi eksisting. Perhitungan selisih penurunan suhu dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi pada kamar tidur dan ruang tamu ketika jenis jendela diubah dari kondisi eksisting. Perbandingan selisih hasil simulasi masing-masing alternatif dapat menunjukkan besarnya penurunan suhu yang dihasilkan oleh modifikasi jenis jendela. Berikut ini

adalah selisih suhu pada masing-masing alternatif jenis jendela apabila dibandingkan dengan hasil simulasi eksisting.

Tabel 4.31 Selisih Suhu Modifikasi Jenis terhadap Suhu Hasil Simulasi Eksisting

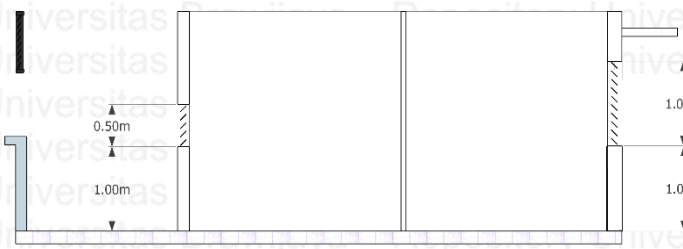
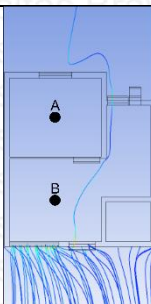
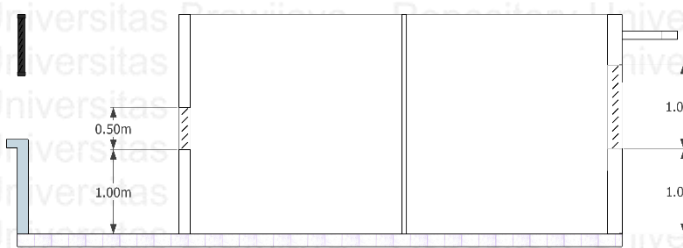
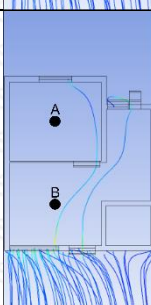
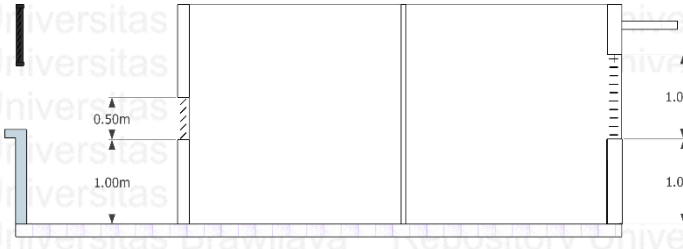
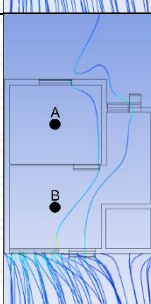
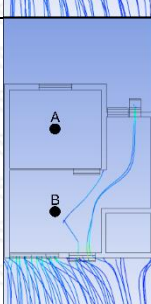
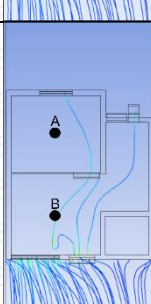
Alt.	Suhu modifikasi (°C)			Selisih dengan simulasi eksisting (°C)		
	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
7-1-1	31.72	31.8	32.68	0.12	-0.22	0.5
7-1-2	31.68	31.84	32.66	0.08	-0.18	0.48
7-1-3	31.68	31.8	32.72	0.08	-0.22	0.54
7-1-4	31.62	31.88	32.65	0.02	-0.14	0.47
7-1-5	31.64	31.92	32.63	0.04	-0.1	0.45
7-1-6	31.6	31.82	32.68	0	-0.2	0.5
7-1-7	31.54	31.74	32.68	-0.06	-0.28	0.5
7-1-8	31.52	31.72	32.7	-0.08	-0.3	0.52
7-1-9	31.54	31.88	32.81	-0.06	-0.14	0.63

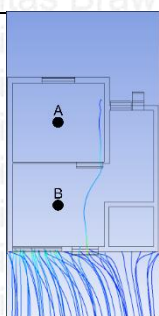
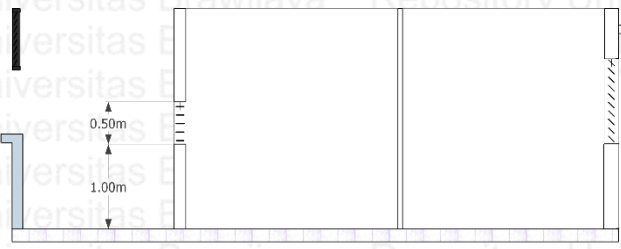
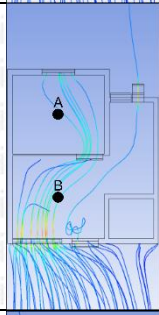
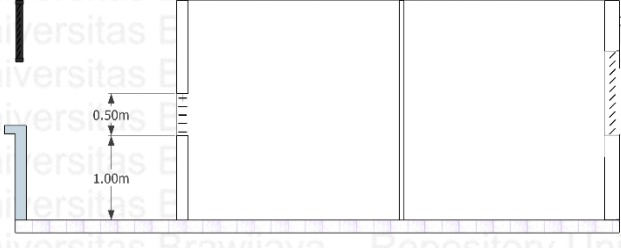
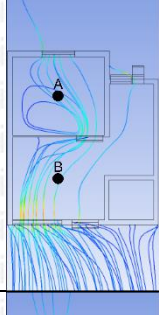
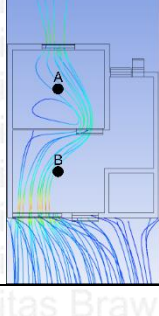
Hasil simulasi keseluruhan alternatif jenis jendela menghasilkan suhu kamar tidur yang lebih rendah dibandingkan hasil simulasi eksisting, meskipun perubahannya tidak signifikan hal ini menunjukkan bahwa alternatif jenis jendela mampu menurunkan suhu dalam ruangan. Peningkatan suhu pada ruang tamu hingga 0,12 °C berhasil dilakukan pada alternatif 7-1-1 (*inlet* 45 ° dan *outlet* 45 °). Penurunan suhu terbesar pada ruang tamu sebesar 0,08 °C dan pada kamar tidur sebesar 0,3 °C berhasil dilakukan pada alternatif 7-1-8. Alternatif desain jendela terpilih merupakan alternatif 7-1-8 yang memiliki angka penurunan suhu terbesar dibandingkan alternatif lain.

3. Simulasi kecepatan angin pada alternatif jenis jendela

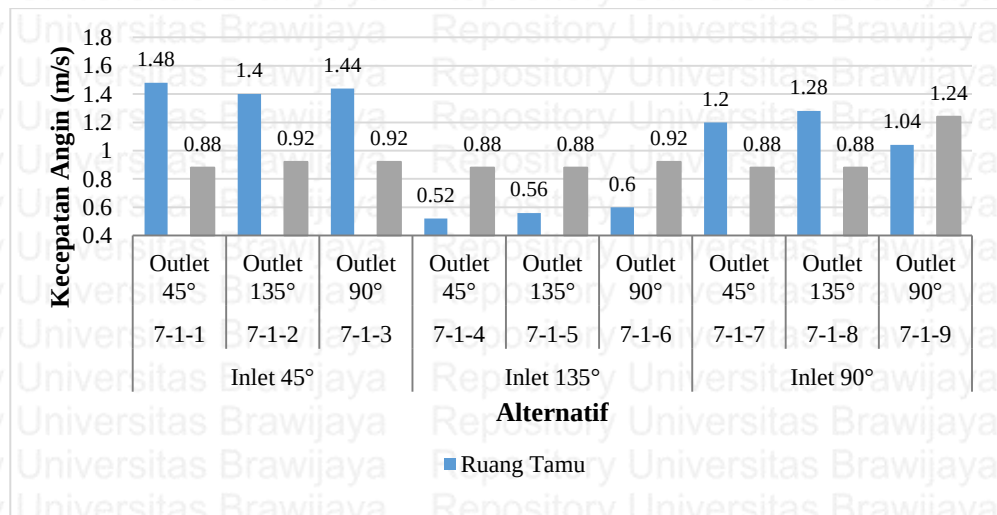
Hasil kecepatan angin dalam ruang juga berpengaruh terhadap kenyamanan termal pengguna dan efek penyegaran dalam ruangan. Penyegaran udara dalam ruang dapat menurunkan suhu pada kulit manusia melalui proses penguapan, sehingga suhu dalam ruang yang belum masuk kategori nyaman dapat diatasi melalui penyegaran udara pada ventilasi alami. Kebutuhan kecepatan angin melalui *bioclimathichart* untuk mencapai kenyamanan termal juga dapat digunakan. Berikut ini merupakan hasil simulasi kecepatan angin dalam ruang.

Tabel 4.32 Hasil Simulasi Angin Modifikasi Jenis Jendela

Alt.	Gambar	Hasil simulasi	Σ Kec. angin
7-1-1			Ruang A = 0,88 m/s Ruang B = 1,48 m/s
7-1-2			Ruang A = 0,92 m/s Ruang B = 1,4 m/s
7-1-3			Ruang A = 0,92 m/s Ruang B = 1,44 m/s
7-1-4			Ruang A = 0,88 m/s Ruang B = 0,52 m/s
7-1-5			Ruang A = 0,88 m/s Ruang B = 0,56 m/s

Alt.	Gambar	Hasil simulasi	Σ Kec. angin
7-1-6			Ruang A = 0,92 m/s Ruang B = 0,6 m/s
7-1-7			Ruang A = 0,88 m/s Ruang B = 1,2 m/s
7-1-8			Ruang A = 0,88 m/s Ruang B = 1,28 m/s
7-1-9			Ruang A = 1,24 m/s Ruang B = 1,04 m/s

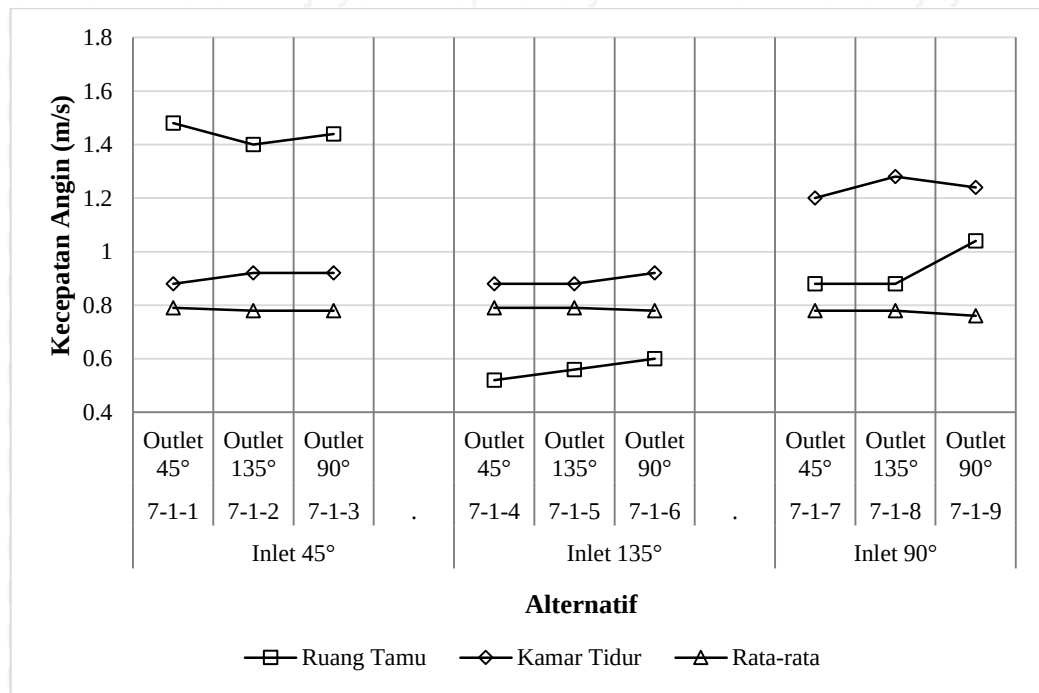
Simulasi dilakukan dengan menggunakan 9 geometri berbeda berdasarkan alternatif jenis jendela. Hasil simulasi alternatif jenis jendela tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain agar diketahui kecepatan angin mana yang paling tinggi dan paling rendah pada masing-masing ruang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui alternatif jenis jendela yang mampu meningkatkan kecepatan angin paling besar. Perbandingan kecepatan suhu hanya dilakukan untuk mengetahui kondisi kecepatan angin. Pemilihan alternatif tidak mempertimbangkan kecepatan angin yang paling besar. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi suhu alternatif jenis jendela.



Gambar 4.50 Perbandingan kecepatan angin pada alternatif modifikasi jenis jendela

Hasil simulasi kecepatan angin pada alternatif modifikasi jenis jendela menunjukkan bahwa kecepatan angin tertinggi sebesar 1,48 m/s pada ruang tamu dihasilkan oleh jendela alternatif 7-1-1 (*inlet* 45 ° dan *outlet* 45 °). Kecepatan angin tertinggi sebesar 1,24 m/s pada kamar tidur dihasilkan oleh jendela alternatif 7-1-9 (*inlet* 90 ° dan *outlet* 90 °). Kecepatan angin terendah pada ruang tamu sebesar 0,52 m/s dihasilkan oleh jendela alternatif 7-1-4 (*inlet* 135 ° dan *outlet* 45 °). Kecepatan angin terendah sebesar 0,88 m/s pada kamar tidur dihasilkan oleh seluruh alternatif jenis jendela, kecuali jendela alternatif 7-1-2 (*inlet* 45 ° dan *outlet* 135 °), 7-1-3 (*inlet* 45 ° dan *outlet* 90 °), 7-1-6 (*inlet* 135 ° dan *outlet* 90 °), dan 7-1-9 (*inlet* 90 ° dan *outlet* 90 °). Kecepatan angin alternatif 7-1-8 sebagai alternatif terpilih adalah 1,28 m/s pada ruang tamu dan 0,88 m/s pada kamar tidur.

Hasil simulasi kecepatan angin alternatif jenis jendela kemudian saling dikaitkan dengan perubahan kecepatan angin. Pengaruh sudut jendela nako terhadap perubahan kecepatan angin berkaitan dengan posisi jendela sebagai inlet maupun outlet. Pengaruh tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan hasil kecepatan angin antara alternatif dengan sudut nako inlet yang sama dan alternatif dengan sudut nako outlet yang sama. Berikut ini adalah grafik hubungan antara jenis jendela nako variasi sudut dengan suhu yang dihasilkan.



Gambar 4.51 Perbandingan antara kecepatan angin terhadap sudut nako

Hubungan antara jenis jendela dengan suhu pada simulasi menunjukkan bahwa sudut jendela nako 135° sebagai inlet justru cenderung menurunkan kecepatan pada unit hunian. Moore (1994 dalam Mediastika 2002) menyebutkan bahwa jenis jendela hopper dengan miring ke atas lebih menghalangi angin dibandingkan jendela awning dengan miring ke bawah. Jendela nako 135° sebetulnya lebih berperan sebagai pembelok angin, sudut ini sangat sesuai menurut Koenigsberger *et al.* (2013) untuk mengarahkan angin ke zona aktifitas manusia. Hal berbeda terjadi pada kondisi *outlet*nya, kondisi *outlet* dengan sudut jendela nako 90° justru menunjukkan kecepatan angin yang lebih tinggi dibandingkan sudut lainnya. Kecepatan angin cenderung langsung meningkat dari ruang tamu ke kamar tidur pada kondisi alternatif 7-1-9 (*inlet* 90° dan *outlet* 90°). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh angin masuk tanpa terkena gangguan dari daun jendela nako itu sendiri, hal ini sesuai dengan teori Moore (1994 dalam Mediastika 2002) bahwa jendela tipe jalousie dengan yang sudut kemiringan cenderung menghalangi angin yang masuk sebesar 25%.

Hasil simulasi alternatif jenis jendela dihitung perbedaan kecepatan anginnya dengan hasil simulasi kondisi eksisting. Perhitungan selisih kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui perubahan kecepatan angin yang terjadi pada kamar tidur dan ruang tamu ketika jenis jendela diubah dari kondisi

eksisting. Perbandingan selisih hasil simulasi masing-masing alternatif dapat menunjukkan besarnya kenaikan kecepatan angin yang dihasilkan oleh modifikasi jenis jendela. Berikut ini adalah selisih kecepatan angin pada masing-masing alternatif jenis jendela apabila dibandingkan dengan hasil simulasi eksisting.

Tabel 4.33 Selisih Kecepatan Angin Modifikasi Jenis terhadap Kecepatan Angin Hasil Simulasi Eksisting

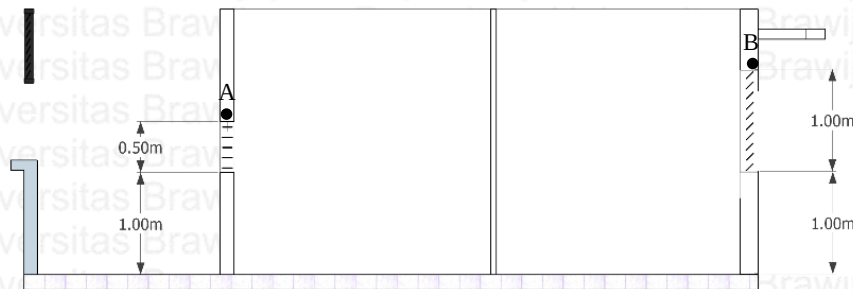
Alt.	Kecepatan angin modifikasi (m/s)			Selisih dengan simulasi eksisting (m/s)		
	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
7-1-1	1.48	0.88	0.79	-0.08	0.34	-0.06
7-1-2	1.4	0.92	0.78	-0.16	0.38	-0.07
7-1-3	1.44	0.92	0.78	-0.12	0.38	-0.07
7-1-4	0.52	0.88	0.79	-1.04	0.34	-0.06
7-1-5	0.56	0.88	0.79	-1	0.34	-0.06
7-1-6	0.6	0.92	0.78	-0.96	0.38	-0.07
7-1-7	1.2	0.88	0.78	-0.36	0.34	-0.07
7-1-8	1.28	0.88	0.78	-0.28	0.34	-0.07
7-1-9	1.04	1.24	0.76	-0.52	0.7	-0.09

Hasil simulasi kecepatan angin keseluruhan alternatif jenis jendela menghasilkan kecepatan kamar tidur yang lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi eksisting, meskipun perubahannya tidak signifikan hal ini menunjukkan bahwa alternatif jenis jendela mampu meningkatkan kecepatan angin pada kamar tidur. Peningkatan kecepatan angin pada ruang tamu tidak berhasil dicapai sama sekali oleh alternatif jendela yang diberikan. Alternatif jendela yang dilakukan hanya mampu meningkatkan kecepatan angin kamar tidur dan menurunkan kecepatan angin kamar tidur. Penurunan kecepatan angin terbesar pada ruang tamu sebesar 0,96 m/s berhasil dilakukan pada alternatif 7-1-6. Peningkatan kecepatan angin terbesar pada kamar tidur sebesar 0,7 berhasil dilakukan pada alternatif 7-1-9. Alternatif desain jendela terpilih merupakan alternatif 7-1-8 yang dapat meningkatkan kecepatan kamar tidur sebesar 0,34 m/s dan menurunkan kecepatan angin ruang tamu sebesar 0,28 m/s.

4. Alternatif jenis jendela terpilih

Hasil simulasi suhu pada alternatif jenis jendela menunjukkan bahwa alternatif jenis yang menghasilkan suhu paling rendah adalah alternatif 7-1-8. Alternatif 7-1-8 memiliki dimensi jendela A (*inlet*) selebar 0,5 m dan jendela B (*outlet*) selebar 1 m dengan posisi kedua jendela berada di ketinggian +1.00

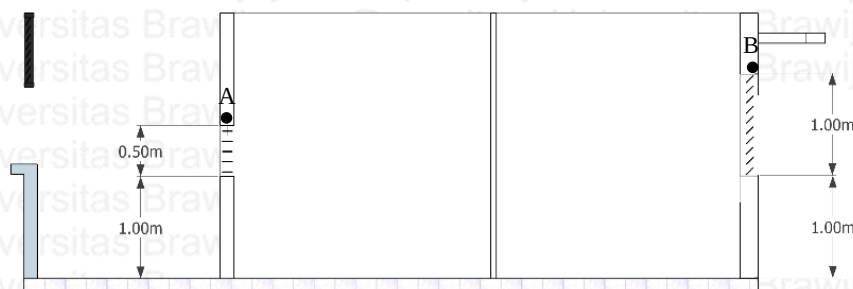
m dari lantai. Jenis jendelanya Jendela ini mampu menghasilkan suhu sebesar 31.52°C pada ruang tamu dan 31.72°C pada kamar tidur. Hasil suhu tersebut apabila dihitung selisihnya dengan suhu simulasi jendela eksisting memiliki penurunan suhu sebesar 0.06°C pada ruang tamu dan 0.3°C pada kamar tidur. Kecepatan angin rata-rata yang dihasilkan adalah $0,78\text{ m/s}$. Berikut ini adalah potongan unit hunian dengan jendela alternatif 7-1-8.



Gambar 4.52 Jendela alternatif 7-1-8

4.6.4 Modifikasi jendela terpilih

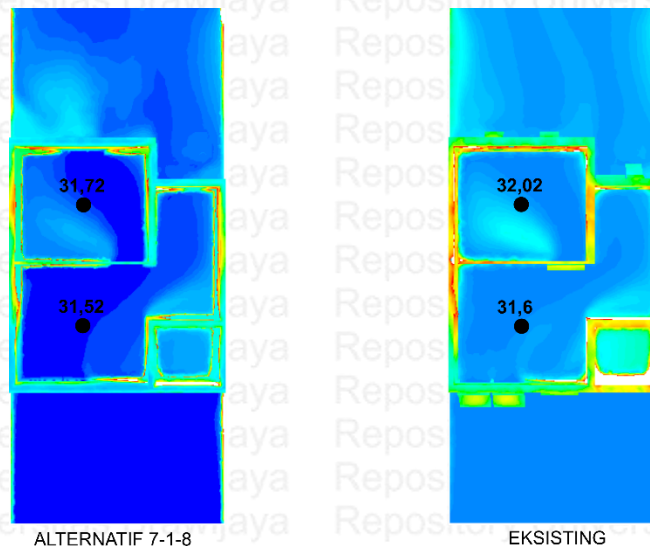
Simulasi dengan memodifikasi dimensi, posisi, dan jenis jendela menghasilkan satu alternatif yang memiliki hasil suhu terendah. Alternatif yang terpilih adalah alternatif 7-1-8 yang dimodifikasi dari jendela A dan B pada kondisi eksisting. Kriteria desain jendela A yang telah dimodifikasi memiliki dimensi $1,5\text{ m} \times 0,5\text{ m}$, posisi ketinggian dari lantai $+1\text{ m}$, dan jenis jendela berupa jendela nako dengan sudut 90° . Kriteria desain jendela B yang telah dimodifikasi memiliki dimensi $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, posisi ketinggian dari lantai $+1\text{ m}$, dan jenis jendela berupa jendela nako dengan sudut 135° . Berikut ini adalah gambar potongan unit hunian dengan jendela alternatif 7-1-8.



Gambar 4.53 Potongan alternatif 7-1-8

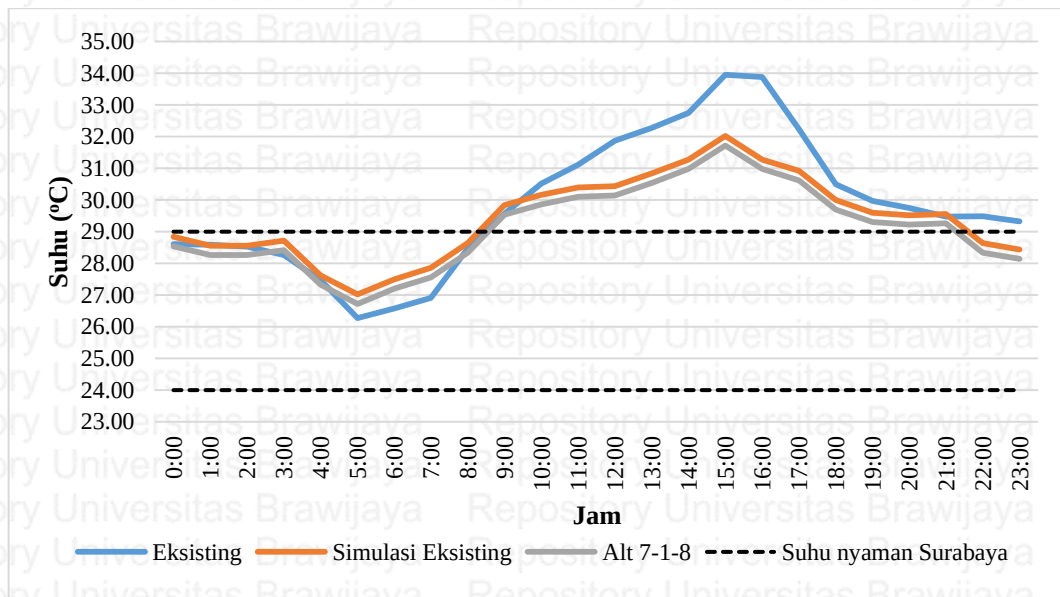
Hasil simulasi suhu pada alternatif 7-1-8 menunjukkan suhu kamar tidur sebesar $31,72^{\circ}\text{C}$ dan suhu ruang tamu sebesar $31,52^{\circ}\text{C}$. Kondisi suhu ini memiliki selisih yang lebih rendah dibandingkan hasil simulasi kondisi eksisting. Kondisi

eksisting yang disimulasikan memiliki suhu kamar tidur sebesar $32,02^{\circ}\text{C}$ dan suhu ruang tamu sebesar $31,6^{\circ}\text{C}$. Selisih suhu kedua objek tersebut menunjukkan adanya penurunan suhu dalam ruang. Penurunan suhu kamar tidur sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$ dan penurunan suhu pada ruang tamu adalah $0,08^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif 7-1-8 mampu menurunkan suhu dalam bangunan hingga $0,3^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.54 Perbandingan kontur suhu alternatif dengan simulasi eksisting

Suhu nyaman Kota Surabaya telah dihitung sebelumnya berdasarkan data rata-rata suhu per bulan selama 5 tahun terakhir Kota Surabaya, hasilnya adalah rentang suhu nyaman sebesar $24-29^{\circ}\text{C}$. Rentang ini merupakan batas kondisi suhu yang masih dapat diterima oleh orang surabaya. Modifikasi jendela terpilih berupa alternatif 7-1-8 disimulasikan berdasarkan data pengukuran suhu terpanas pada tanggal 2 September selama 24 jam. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah suhu hasil simulasi alternatif 7-1-8 telah masuk kategori suhu nyaman surabaya. Selisih terbesar antara suhu nyaman Kota Surabaya dengan suhu per jam simulasi alternatif 7-1-8 dihitung untuk diketahui seberapa besar suhu yang perlu diturunkan agar dapat mencapai kategori suhu nyaman. Berikut ini adalah grafik hasil perbandingan rata-rata suhu per jam hasil pengukuran dengan suhu nyaman surabaya.

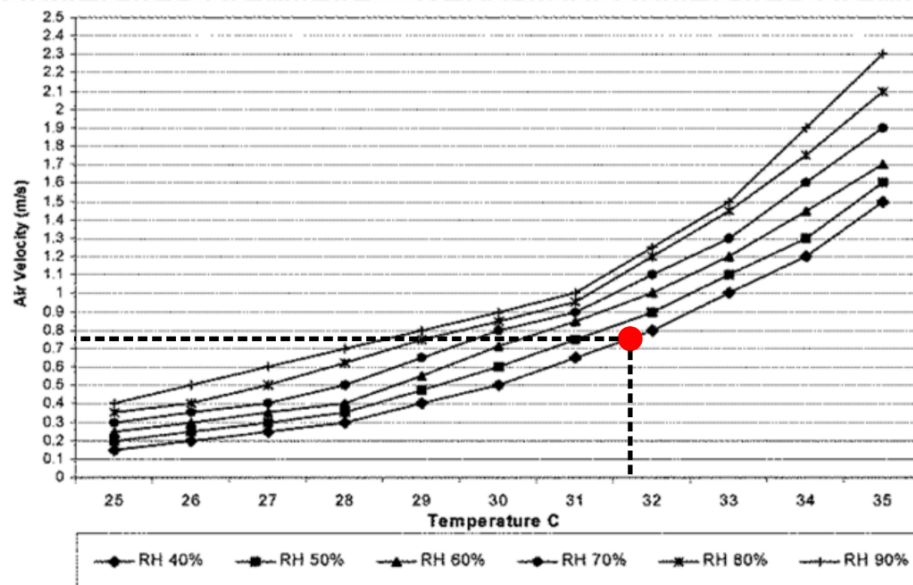


Gambar 4.55 Perbandingan kondisi suhu eksisting, simulasi eksisting, dan suhu nyaman Surabaya.

Penurunan suhu yang dilakukan melalui desain jendela hanya berhasil menurunkan suhu sebesar 0,3 °C pada kamar tidur. Perbandingan suhu hasil simulasi alternatif 7-1-8 masih menunjukkan suhu dalam ruang yang berada diluar zona nyaman Surabaya pada pukul 09.00-21.00. Suhu simulasi alternatif 7-1-8 diatas zona suhu nyaman dengan selisih suhu tertinggi pada ruang dalam sebesar 2,5 °C. Penurunan suhu telah berhasil, namun belum mencapai kondisi nyaman. Hal ini tidak jauh berbeda dengan suhu hasil simulasi kondisi eksisting. Perbandingan suhu hasil simulasi dengan suhu nyaman surabaya menunjukkan bahwa suhu hasil simulasi berada di dalam zona suhu nyaman Kota Surabaya, kecuali pada pukul 09.00-21.00 untuk suhu ruang dalam. Suhu simulasi berada di atas zona suhu nyaman dengan selisih suhu tertinggi pada ruang dalam sebesar 2,8 °C.

Upaya selanjutnya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan angin untuk mencapai kenyamanan melalui kenyamanan ventilasi. Penurunan suhu untuk mencapai kenyamanan termal pada bangunan di iklim tropis memang sulit dilakukan, oleh karena itu bangunan di iklim tropis cenderung memanfaatkan angin sebagai ventilasi. Angin yang masuk ke dalam bangunan dengan kecepatan tertentu mampu membawa panas dari dalam bangunan ke luar bangunan. Angin yang mengarah ke penghuni secara langsung juga dapat melakukan penyegaran udara pada permukaan kulit manusia, sehingga suhu udara terasa lebih dingin di permukaan kulit.

Nugroho *et al.* (2007) meneliti tentang kebutuhan angin untuk mencapai kondisi nyaman melalui ventilasi. Kenyamanan ventilasi dapat memberikan efek penyegaran pada bangunan maupun manusia sehingga suhu udara dilingkungan terasa lebih dingin. Kebutuhan kecepatan angin untuk kenyamanan ventilasi dapat diketahui melalui kondisi suhu dan kelembaban dalam bangunan. Kondisi suhu terpanas eksisting pada hasil simulasi adalah 31,72 °C dengan besar kelembaban udara 37%. Kebutuhan kecepatan angin pada kondisi suhu 31,72 °C dan kelembaban 37% untuk mencapai kenyamanan ventilasi adalah 0,75 m/s. Hasil simulasi angin alternatif 7-1-8 menunjukkan hasil kecepatan angin rata-rata sebesar 0,78 m/s, sehingga kebutuhan kecepatan angin untuk mencapai kenyamanan ventilasi terpenuhi. Alternatif jendela 7-1-8 berhasil memenuhi kenyamanan ventilasi pada Rusunawa Grudo Surabaya.

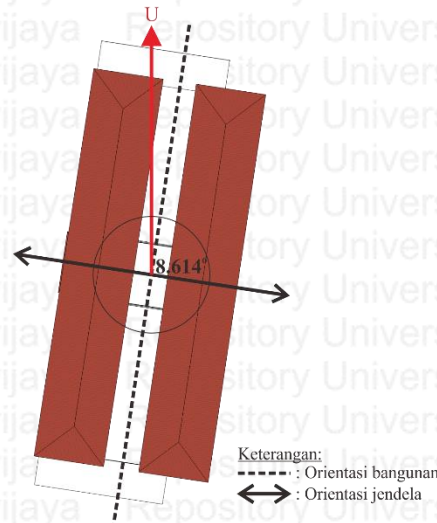


Gambar 4.56 Kebutuhan kecepatan angin Rusunawa Grudo Surabaya

4.7 Modifikasi orientasi jendela

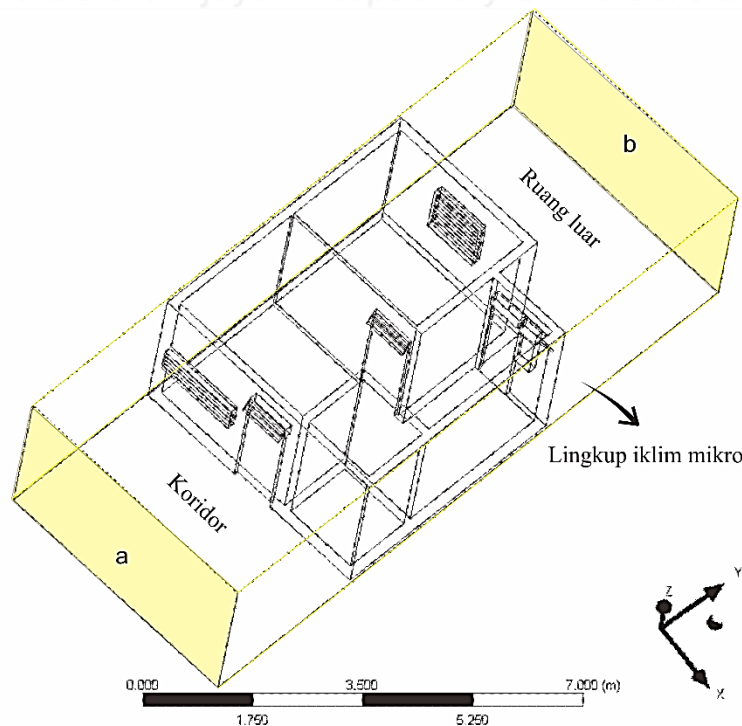
Kondisi eksisting bangunan ialah memanjang utara-selatan dengan orientasi jendela unit hunian rusunawa menghadap barat-timur. Hal ini menyebabkan area hunian cenderung terpapar sinar matahari dan memasukkan panas ke dalam unit hunian melalui jendela. Menurut Lechner (2015), bangunan pada iklim tropis panas lembab sebaiknya menghindari paparan sinar matahari melalui pendekatan orientasi. Orientasi bangunan yang tepat pada iklim tropis panas lembab ialah sisi terpanjangnya menghadap utara-selatan dengan meminimalisir bukaan yang

cenderung menghadap barat-timur. Berikut ini adalah kondisi orientasi eksisting pada jendela di bangunan Rusunawa Grudo Surabaya.



Gambar 4.57 Kondisi orientasi eksisting pada jendela

Modifikasi orientasi pada jendela dilakukan sebagai upaya penghindaran panas untuk mengetahui bagaimana kinerja jendela dalam penurunan suhu apabila orientasi jendela diubah-ubah. Geometri yang digunakan pada modifikasi orientasi adalah geometri jendela modifikasi terpilih (Alt. 7-1-8). Alternatif orientasi yang digunakan adalah barat, timur, utara, selatan. Modifikasi orientasi dilakukan menggunakan *software* ANSYS 14.5 dengan mengatur *mesh orientation* sesuai dengan arah yang diinginkan. *Software* secara otomatis melakukan perhitungan numerik mengenai beban radiasi yang terkena pada model 3D, sehingga dapat diketahui perbedaan hasil suhu dari masing-masing orientasi. Simulasi dilakukan pada pagi, siang, dan sore hari mengikuti data suhu pada tanggal 2 September, yaitu suhu pukul 08.00, 12.00, dan 16.00. Berikut ini adalah pengaturan dan data yang diinput pada *software* untuk simulasi modifikasi orientasi jendela.



Gambar 4.58 Geometri jendela modifikasi terpilih

Tabel 4.34 Pengaturan Alternatif Orientasi Jendela

Jenis pengaturan	Data	Keterangan
Orientasi	Utara	Utara (0,1,0); Timur (1,0,0)
	Timur	Utara (-1,0,0); Timur (0,1,0)
	Selatan	Utara (0,-1,0); Timur (-1,0,0)
	Barat	Utara (1,0,0); Timur (0,-1,0)

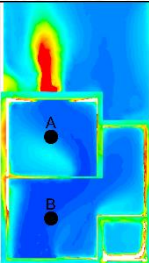
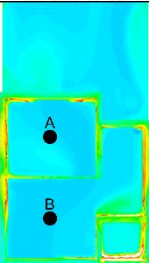
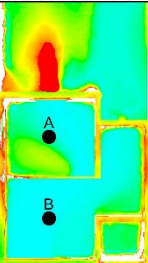
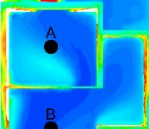
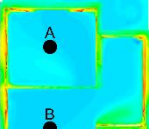
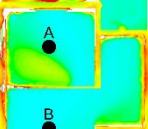
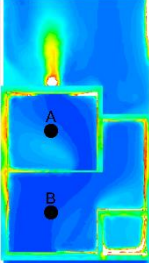
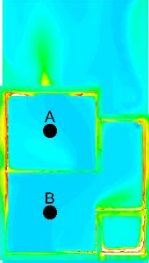
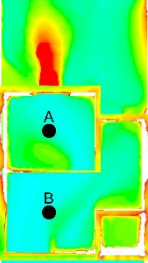
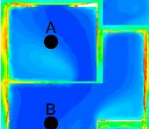
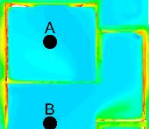
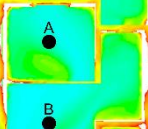
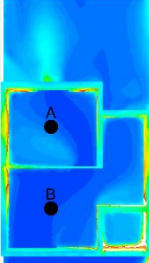
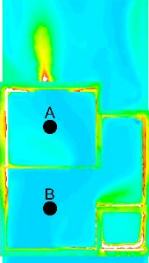
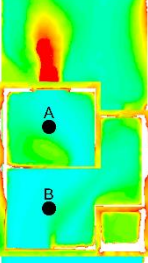
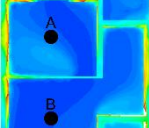
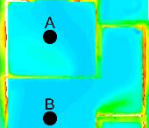
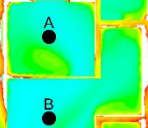
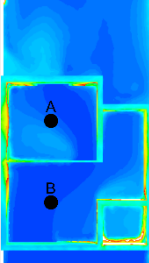
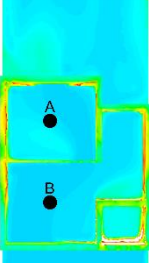
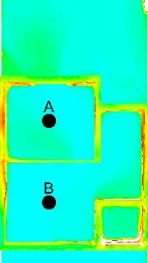
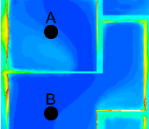
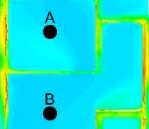
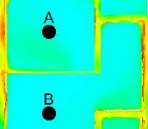
Tabel 4.35 Kondisi Batas Geometri Simulasi Orientasi Jendela

Pukul	Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
08.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	Inlet	Suhu = 28,3 °C Kecepatan angin = 0,66 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	Outlet	Suhu = 27,45 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
12.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	Inlet	Suhu = 30,1 °C Kecepatan angin = 0,74 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	Outlet	Suhu = 31,21 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
16.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	Inlet	Suhu = 30,9 °C Kecepatan angin = 0,61 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	Outlet	Suhu = 31,3 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

Simulasi orientasi jendela hanya melakukan modifikasi orientasi jendela terhadap matahari. Arah angin dan data suhu terkait iklim mikro *wind tunnel* dianggap sama. Hasil yang ingin dilihat adalah perbedaan suhu terkait orientasi matahari terhadap jendela. Hasil suhu masing-masing alternatif tiap waktu

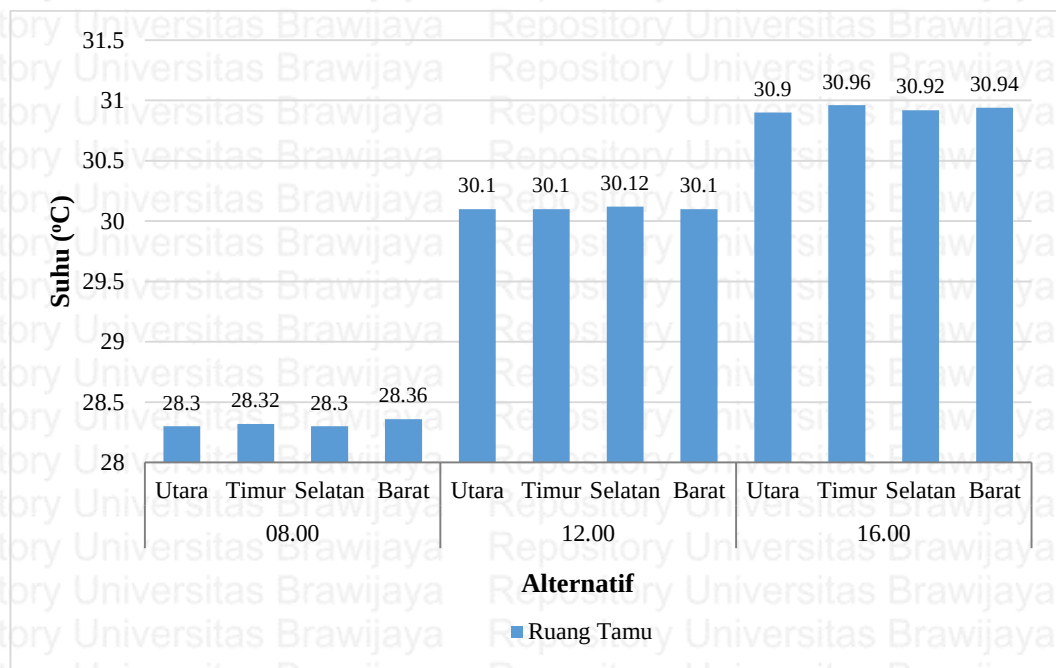
dibandingkan untuk mengetahui alternatif orientasi dengan suhu terendah. Berikut ini adalah hasil simulasi modifikasi orientasi tersebut.

Tabel 4.36 Hasil Simulasi Modifikasi Orientasi Jendela

Alt.	Pukul 08.00		Pukul 12.00		Pukul 16.00	
	Simulasi suhu	Suhu (°C)	Simulasi suhu	Suhu (°C)	Simulasi suhu	Suhu (°C)
Barat		Titik A= 28.74		Titik A= 30.14		Titik A= 31.54
		Titik B= 28.36		Titik B= 30.10		Titik B= 30.94
		Rata-rata= 31.23		Rata-rata= 31.13		Rata-rata= 33.87
Timur		Titik A= 28.52		Titik A= 30.18		Titik A= 31.40
		Titik B= 28.32		Titik B= 30.10		Titik B= 30.96
		Rata-rata= 31.4		Rata-rata= 31.36		Rata-rata= 35.12
Selatan		Titik A= 28.38		Titik A= 30.22		Titik A= 31.26
		Titik B= 28.30		Titik B= 30.12		Titik B= 30.92
		Rata-rata= 29.82		Rata-rata= 31.62		Rata-rata= 32.38
Utara		Titik A= 28.34		Titik A= 30.14		Titik A= 31.04
		Titik B= 28.30		Titik B= 30.10		Titik B= 30.90
		Rata-rata= 29.47		Rata-rata= 31.23		Rata-rata= 32.06

Hasil simulasi orientasi jendela menunjukkan bahwa pada ruang tamu kondisi suhu dalam ruang tamu tidak mengalami perubahan signifikan pada tiap waktunya. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi jendela unit hunian tidak begitu

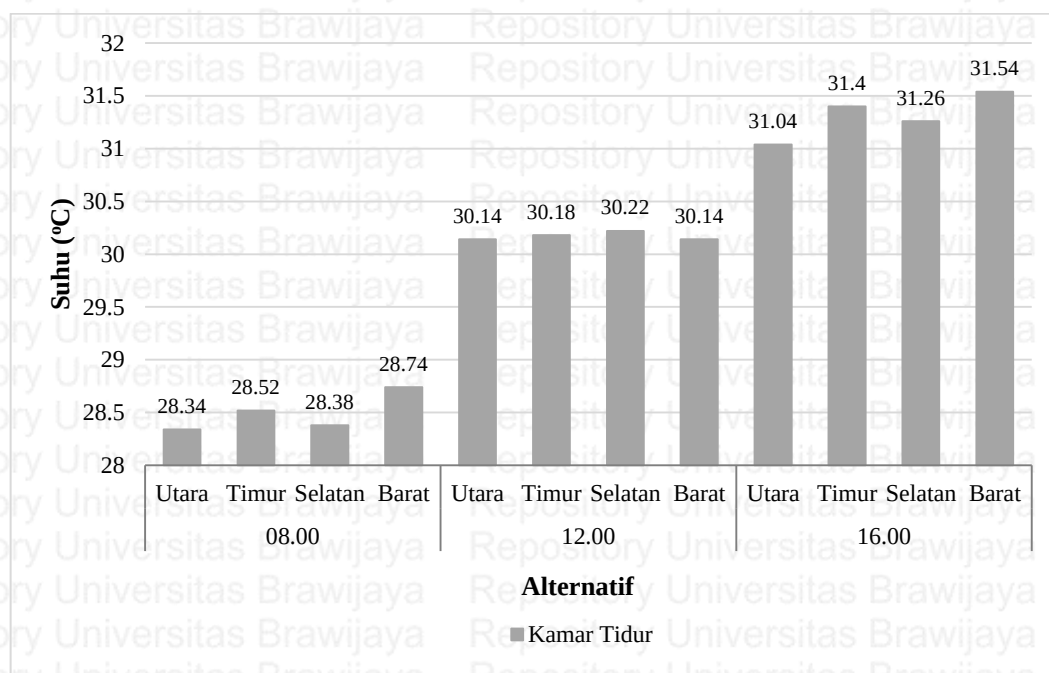
mempengaruhi kondisi suhu ruang tamu. Ruang tamu sendiri merupakan ruang yang selalu digunakan pada unit hunian sehingga kondisi suhu pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 berpengaruh terhadap penghuni ruang tamu.



Gambar 4.59 Perbandingan hasil simulasi orientasi pada ruang tamu berdasarkan waktu

Hasil simulasi ruang tamu pada pukul 08.00 menunjukkan orientasi jendela yang memiliki suhu paling rendah adalah utara dan selatan sebesar 28,3 °C diikuti oleh timur dengan suhu sebesar 28,32 °C dan barat dengan suhu paling tinggi sebesar 28,36 °C. Hasil simulasi pada pukul 12.00 justru menunjukkan hasil yang hampir sama, yaitu pada orientasi utara, timur, dan barat suhu dalam ruang sebesar 30,1 °C sedangkan orientasi selatan memiliki suhu yang lebih tinggi sebesar 30,12 °C. Hasil simulasi pada pukul 16.00 menunjukkan bahwa orientasi dengan suhu terendah adalah utara dengan suhu sebesar 30,9 °C diikuti oleh selatan dengan suhu sebesar 30,92 °C kemudian barat dengan suhu sebesar 30,96 °C dan timur yang memiliki suhu tertinggi sebesar 30,96 °C. Keseluruhan hasil simulasi pada ruang tamu menunjukkan bahwa orientasi utara memiliki kondisi suhu terendah diikuti oleh orientasi selatan. Hal ini sesuai dengan kondisi iklim Indonesia yang cenderung terpapar sinar matahari sehingga orientasi utara dan selatan merupakan orientasi yang banyak disarankan untuk menghindari paparan sinar matahari. Orientasi barat dan timur cenderung memiliki kondisi suhu lebih tinggi sehingga perlu dihindari.

Hasil simulasi orientasi jendela menunjukkan bahwa pada kamar tidur kondisi suhu dalam kamar tidur mengalami perubahan yang cukup berarti antar orientasinya. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi bangunan mempengaruhi kondisi suhu kamar tidur yang dindingnya berhubungan langsung dengan ruang luar. Kamar tidur cenderung digunakan untuk tidur di malam hari sehingga kondisi suhu pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 tidak begitu berpengaruh terhadap penghuni di kamar tidur.

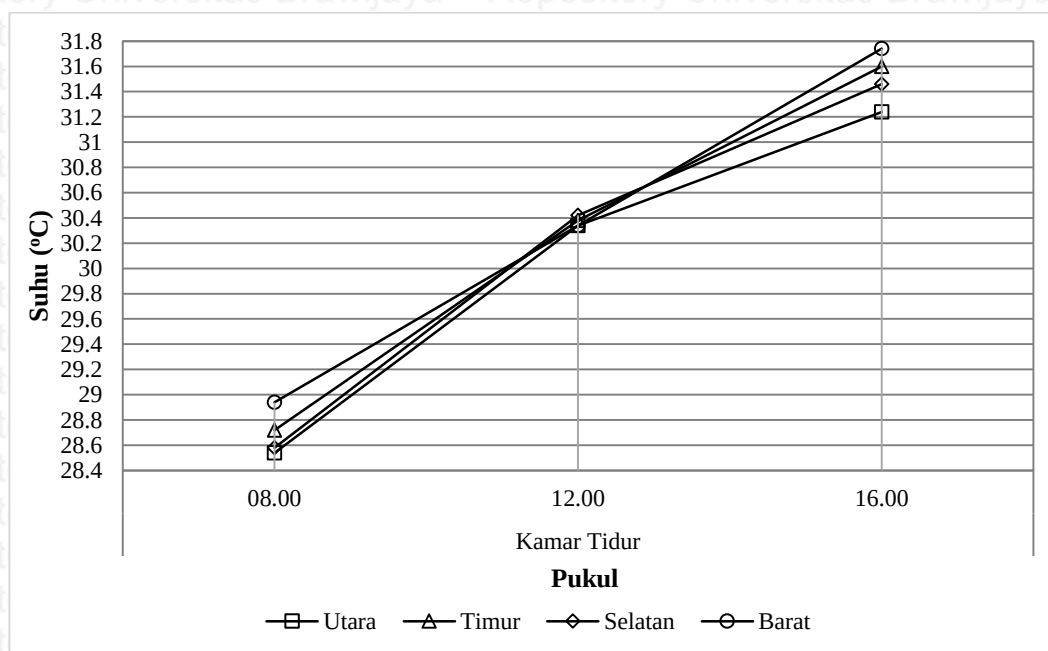


Gambar 4.60 Perbandingan hasil simulasi orientasi pada kamar tidur berdasarkan waktu

Hasil simulasi kamar tidur pada pukul 08.00 menunjukkan orientasi yang memiliki suhu paling rendah adalah utara sebesar 28,34 °C diikuti oleh selatan dengan suhu sebesar 28,38 °C kemudian timur dengan suhu sebesar 28,52 °C dan barat dengan suhu paling tinggi sebesar 28,74 °C. Hasil simulasi pada pukul 12.00 justru menunjukkan hasil yang hampir sama, yaitu pada orientasi utara dan barat suhu dalam ruang sebesar 30,14 °C sedangkan orientasi timur memiliki suhu sebesar 30,18 °C dan orientasi selatan memiliki suhu paling tinggi sebesar 30,22 °C. Hasil simulasi pada pukul 16.00 menunjukkan bahwa orientasi dengan suhu terendah adalah utara dengan suhu sebesar 31,04 °C diikuti oleh selatan dengan suhu sebesar 31,26 °C kemudian barat dengan suhu sebesar 31,4 °C dan timur yang memiliki suhu tertinggi sebesar 31,54 °C. Keseluruhan hasil simulasi pada kamar tidur menunjukkan bahwa orientasi utara memiliki kondisi suhu terendah diikuti

oleh orientasi selatan. Hal ini sesuai dengan kondisi iklim Indonesia yang cenderung terpapar sinar matahari sehingga orientasi utara dan selatan merupakan orientasi yang banyak disarankan untuk menghindari paparan sinar matahari. Orientasi barat dan timur cenderung memiliki kondisi suhu lebih tinggi sehingga perlu dihindari.

Perubahan orientasi jendela pada unit hunian sangat mempengaruhi kondisi suhu kamar tidur dibandingkan dengan suhu ruang tamu apabila dilihat dari perbedaan suhu dari masing-masing orientasi. Kamar tidur yang cenderung digunakan pada malam hari memiliki kondisi suhu yang lebih tinggi dibandingkan ruang tamu. Kecenderungan penggunaan kamar tidur pada pagi hari cukup sedikit dan pada siang hari ada kemungkinan penggunaan untuk tidur siang sedangkan pada sore hari digunakan untuk belajar. Hasil suhu pada simulasi kamar tidur terkait orientasi pada pukul 08.00 dan 16.00 secara berurutan dari suhu yang terendah adalah utara, selatan, timur, kemudian barat. Hanya pada pukul 12.00 dimana matahari tepat berada tegak lurus di atas bangunan suhu tertinggi adalah selatan diikuti timur kemudian baru barat dan utara dengan perbedaan suhu yang kecil.



Gambar 4.61 Perubahan suhu kamar tidur pada simulasi orientasi

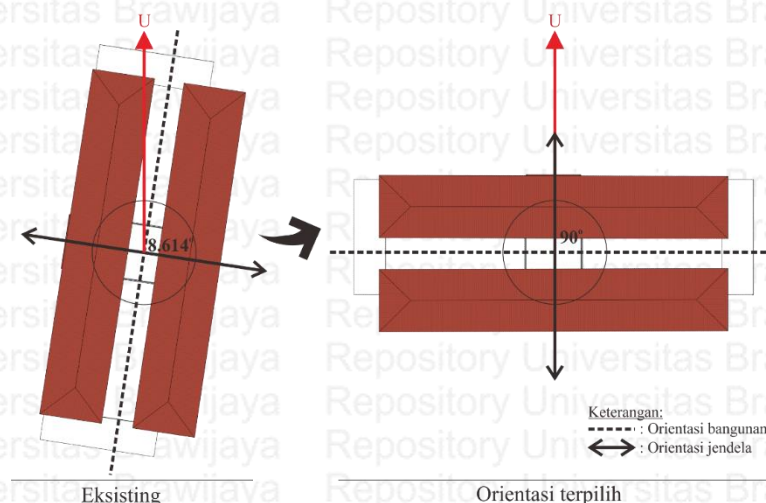
Secara keseluruhan hasil suhu pada simulasi kamar tidur dan ruang tamu menunjukkan bahwa suhu terendah secara berurutan berada pada orientasi utara, selatan, timur, kemudian barat. Barat merupakan orientasi dengan hasil suhu terendah, padahal orientasi eksisting pada unit hunian adalah menghadap barat.

Perhitungan selisih penurunan suhu dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi pada kamar tidur dan ruang tamu ketika orientasi unit hunian diubah dari barat menjadi utara, timur, dan selatan. Berikut ini adalah selisih suhu pada masing-masing orientasi dari yang tertinggi secara berurutan apabila dibandingkan dengan orientasi barat (eksisting).

Tabel 4.37 Selisih suhu hasil simulasi jendela orientasi alternatif dengan jendela orientasi eksisting

Jenis alternatif	Pukul	Suhu modifikasi (°C)			Selisih dengan orientasi eksisting (°C)		
		Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
Utara	08.00	28.3	28.34	29.47	-0.06	-0.4	-1.76
	12.00	30.1	30.14	31.23	0	0	0.1
	16.00	30.9	31.04	32.06	-0.04	-0.5	-1.81
Selatan	08.00	28.3	28.38	29.82	-0.06	-0.36	-1.41
	12.00	30.12	30.22	31.62	0.02	0.08	0.49
	16.00	30.92	31.26	32.38	-0.02	-0.28	-1.49
Timur	08.00	28.32	28.52	31.4	-0.04	-0.22	0.17
	12.00	30.1	30.18	31.36	0	0.04	0.23
	16.00	30.96	31.4	35.12	0.02	-0.14	1.25
Barat (Eksisting)	08.00	28.36	28.74	31.23	0	0	0
	12.00	30.1	30.14	31.13	0	0	0
	16.00	30.94	31.54	33.87	0	0	0

Berdasarkan hasil modifikasi orientasi dapat disimpulkan bahwa orientasi utara merupakan orientasi yang menghasilkan suhu terendah dan orientasi barat (eksisting) merupakan orientasi yang menghasilkan suhu tertinggi, sehingga orientasi jendela yang tepat untuk digunakan pada unit hunian Rusunawa Grudo secara berurutan adalah utara, selatan, timur, kemudian barat. Orientasi terpilih yang digunakan untuk modifikasi selanjutnya adalah orientasi jendela menghadap utara selatan. Berikut ini adalah gambar perubahan orientasi jendela berdasarkan modifikasi terpilih.

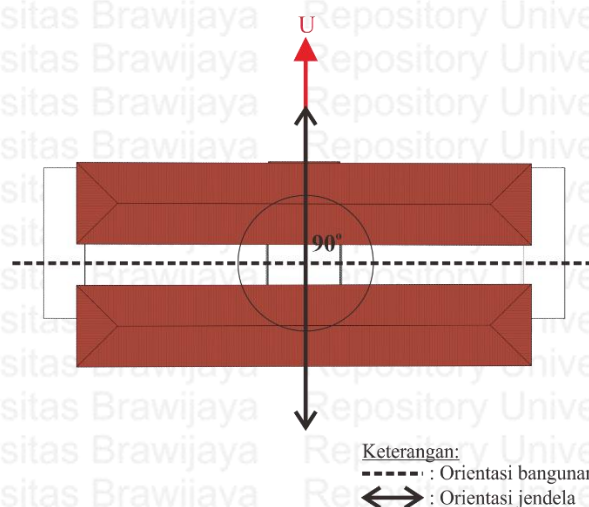


Gambar 4.62 Perubahan orientasi berdasarkan modifikasi orientasi terpilih

Penggunaan orientasi utara mampu menurunkan suhu pada pagi hari sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$ di ruang tamu dan $0,4^{\circ}\text{C}$ di kamar tidur, kemudian pada sore hari mampu menurunkan suhu sebesar $0,04^{\circ}\text{C}$ di ruang tamu dan $0,5^{\circ}\text{C}$ di kamar tidur. Hanya pada pukul 12.00 suhu orientasi utara sama dengan orientasi barat sehingga selisihnya 0°C . Penggunaan orientasi selatan mampu menurunkan suhu pada pagi hari sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$ di ruang tamu dan $0,36^{\circ}\text{C}$ di kamar tidur, kemudian pada sore hari mampu menurunkan suhu sebesar $0,02^{\circ}\text{C}$ di ruang tamu dan $0,28^{\circ}\text{C}$ di kamar tidur. Namun, pada pukul 12.00 suhu orientasi selatan menaikkan suhu sebesar $0,02^{\circ}\text{C}$ pada ruang tamu dan $0,08^{\circ}\text{C}$ pada kamar tidur. Orientasi jendela menghadap utara dan selatan ini menjadi acuan untuk menentukan desain *overhang*.

4.8 Modifikasi *overhang* pada jendela

Upaya penghindaran panas selain melalui pendekatan orientasi bangunan dapat dilakukan juga melalui penggunaan *overhang* pada bukaan berupa jendela. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja jendela dengan *overhang* dalam membantu mengurangi panas yang masuk ke dalam ruang melalui jendela dan menurunkan suhu dalam ruangan. Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan modifikasi *overhang* yang pertama adalah dengan menentukan alternatif desain *overhang*, kemudian mensimulasikan alternatif desain *overhang* yang telah diketahui. Hasil simulasi alternatif *overhang* kemudian dibandingkan untuk mengetahui alternatif yang memiliki suhu terendah. Alternatif dengan suhu terendah lah yang dipilih untuk sebagai modifikasi *overhang* terpilih.



Gambar 4.63 Kondisi orientasi terpilih

Kondisi bangunan berada di posisi -7.277606 LS dengan orientasi eksisting miring $8,614^{\circ}$ dari utara. Orientasi dan posisi ini mempengaruhi desain *overhang*

yang diperlukan untuk membayangi jendela unit hunian. Modifikasi orientasi bangunan telah dilakukan sebelumnya menggunakan simulasi ANSYS. Hasil modifikasi menunjukkan bahwa orientasi jendela yang paling rendah suhunya adalah menghadap utara, selatan, timur, dan barat. Modifikasi orientasi jendela yang terpilih pun menjadi menghadap utara-selatan. Desain *overhang* jendela pada orientasi utara akan berbeda dengan *overhang* jendela pada orientasi selatan dan sebaliknya. Modifikasi desain *overhang* pun dibagi menjadi dua berdasarkan orientasi jendelanya, yaitu pada orientasi utara dan orientasi selatan.

4.8.1 *Overhang* pada jendela dengan orientasi utara

Berikut ini adalah urutan dalam melakukan modifikasi *overhang* pada jendela dengan orientasi utara.

1. Penentuan alternatif *overhang*

Langkah pertama untuk melakukan modifikasi *overhang* adalah menentukan alternatif desain *overhang*. Hal yang perlu diperhatikan adalah jarak *overhang* terhadap jendela dan dimensi *overhang* berdasarkan kebutuhan SBV untuk membayangi jendela. Jarak *overhang* terhadap jendela memberikan pengaruh terhadap aliran angin yang masuk ke dalam ruangan, sedangkan dimensi *overhang* mempengaruhi pembayangan jendela terhadap sinar matahari. *Overhang* yang merupakan pembayang horizontal membutuhkan dimensi dengan lebar mengikuti sudut bayangan vertikal (SBV). Hal ini bertujuan agar SBV yang mengenai *overhang* tidak terproyeksi masuk ke dalam ruangan. SBV yang terproyeksi berada di luar batas jendela menunjukkan bahwa jendela tersebut berhasil terbayangi.

Kondisi *overhang* eksisting memiliki lebar sebesar 0,66 m dengan jarak ke atas dari jendela sebesar 0,31 m. Menurut Lechner (2015), posisi *overhang* terhadap jendela sebaiknya memiliki jarak ke atas dari jendela minimal sebesar 0,30 m. Kondisi *overhang* eksisting sudah tepat karena memiliki jarak sebesar $0,31\text{ m} > 0,30\text{ m}$. Namun, lebar *overhang* yang sesuai ditentukan dengan menghitung SBV.

SBV merupakan sudut bayang yang dihasilkan berdasarkan ketinggian matahari pada waktu tertentu. SBV yang dihasilkan berbeda-beda tergantung pada waktu dan orientasi jendela. Lebar *overhang* dapat diketahui dengan

menentukan waktu yang paling membutuhkan pembayangan dan menghitung SBV pada waktu tersebut. Perhitungan SBV ini dilakukan menggunakan diagram *sunpath* dan *shading mask*. Langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengetahui posisi bangunan dan orientasi bangunan. Kemudian mensimulasikan pembayangan pada waktu titik balik matahari dan equinox berdasarkan orientasi jendelanya. Orientasi jendela dan waktu yang menghasilkan pembayangan paling minim digunakan sebagai acuan untuk mencari SBV menggunakan diagram *sunpath* dan *shading mask*. SBV yang telah diketahui kemudian dijadikan acuan untuk menentukan lebar *overhang*.

Orientasi bangunan telah diketahui memanjang barat timur dengan menghadap ke utara selatan. Hal selanjutnya yang perlu diketahui adalah waktu yang paling membutuhkan pembayangan berdasarkan waktu pembayangan paling minim. Waktu pembayangan paling minim diketahui dengan melakukan simulasi pembayangan menggunakan *software sketch up*. Simulasi pembayangan perlu dilakukan lagi pada orientasi jendela selatan untuk mengetahui waktu yang menghasilkan pembayangan paling minim.

Simulasi pembayangan pada jendela orientasi utara dilakukan dengan orientasi bangunan memanjang barat-timur dan kondisi jendela menghadap utara. Hasil simulasi yang dilihat adalah fasad yang memiliki jendela unit hunian atau sisi utara. Pembayangan dilakukan mengikuti tanggal titik balik matahari, yaitu 22 Juni dan 22 Desember dan waktu titik equinox, yaitu 21 Maret. Pembayangan pada ketiga tanggal tersebut dilakukan pada pagi hari pukul 08.00, siang hari pukul 12.00, dan sore hari pukul 16.00. Hasil pembayangan fasad tersebut masing-masing dibandingkan satu sama lain. Hal ini dilakukan untuk mengetahui waktu pembayangan yang paling minim pada sisi fasad utara. Berikut ini adalah hasil simulasi pembayangan pada sisi fasad utara.

Tabel 4.38 Hasil pembayangan orientasi terpilih pada sisi utara

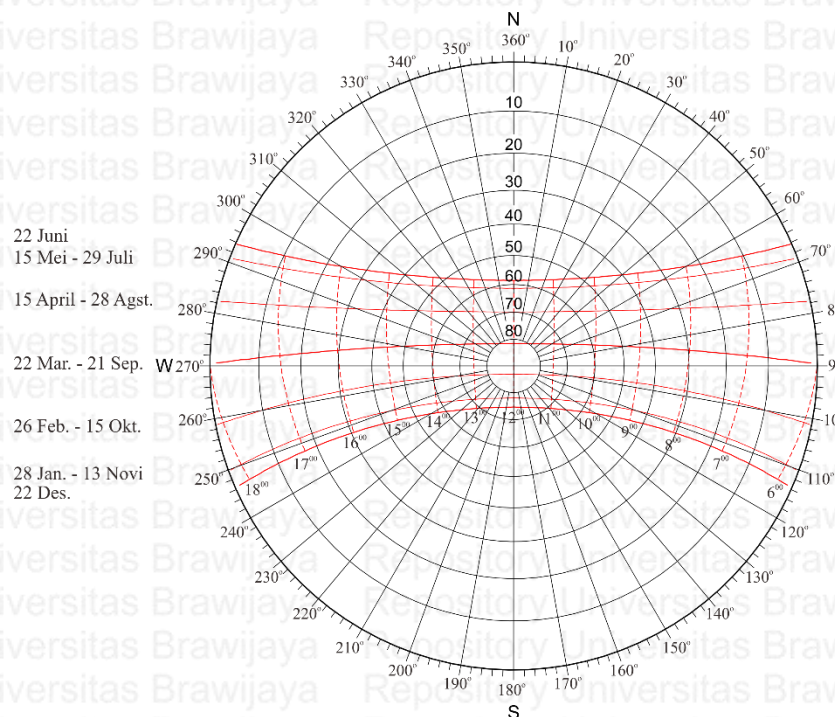
Tanggal	Waktu	Hasil pembayangan
21 Maret	08.00	

Tanggal	Waktu	Hasil pembayangan
	12.00	
	16.00	
22 Juni	08.00	
	12.00	
	16.00	
22 Desember	08.00	
	12.00	
	16.00	

Hasil simulasi pembayangan pada sisi utara menunjukkan bahwa pembayangan jendela yang paling minim dihasilkan pada tanggal 22 Juni pukul 16.00. Pembayangan pada tanggal 22 Juni menunjukkan bahwa *overhang* eksisting pada bangunan dengan kondisi orientasi jendela menghadap utara masih belum mampu membayangi jendela secara keseluruhan. Namun, pada tanggal 21 Maret dan 22 Desember jendela pada sisi utara bangunan berhasil

terbayangi. Keseluruhan hasil menunjukkan bahwa tanggal 22 Juni pukul 16.00 merupakan waktu yang paling membutuhkan pembayangan, karena fasad jendelanya yang paling terpapar sinar matahari. Waktu tersebut menjadi dasar untuk mencari SBV yang dibutuhkan untuk menentukan lebar *overhang* agar dapat membayangi seluruh jendela unit hunian.

SBV ditentukan menggunakan diagram *sunpath* dan *shading mask* berdasarkan waktu yang menghasilkan bayangan paling minim. Hal pertama yang dilakukan adalah mengetahui posisi bangunan untuk mengetahui diagram *sunpath* yang digunakan. Bangunan berada di posisi -7.277606° LS. Berdasarkan posisi tersebut maka diagram *sunpath* yang digunakan adalah diagram *sunpath* pada 7° LS. Berikut ini adalah diagram *sunpath* yang digunakan pada posisi 7° LS.

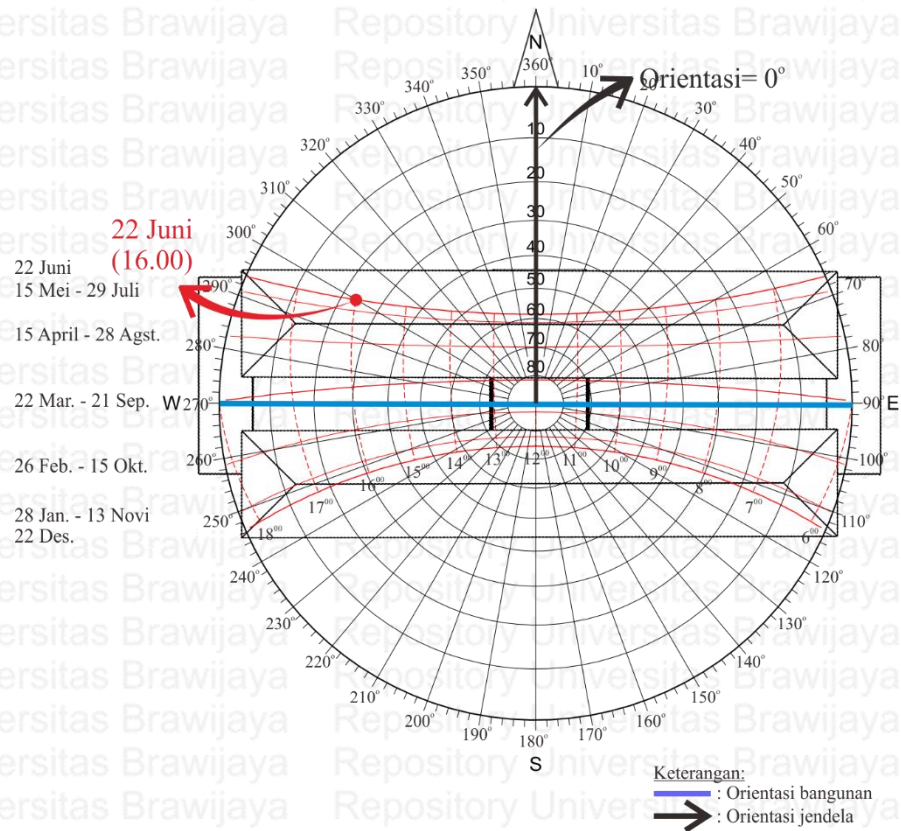


Gambar 4.64 Diagram *sunpath* untuk orientasi utara

Diagram *sunpath* tersebut menunjukkan garis lintas matahari berdasarkan waktunya. Tanggal pada sebelah kiri gambar menunjukkan waktu lintas matahari dan jam pada bawah garis merah menunjukkan jamnya. Selanjutnya, adalah menentukan titik waktu pembayangan berdasarkan waktu pembayangan yang paling dibutuhkan. Waktu pembayangan yang paling dibutuhkan pada orientasi utara adalah 22 Juni 2016 pukul 16.00, sehingga waktu tersebut ditandai sebagai titik waktu pembayangan. Titik waktu tersebut ditandai dengan



pertemuan antara garis tanggal dan garis jam. Berikut ini adalah diagram *sunpath* yang sudah ditandai titik waktunya beserta bangunannya pada orientasi utara.

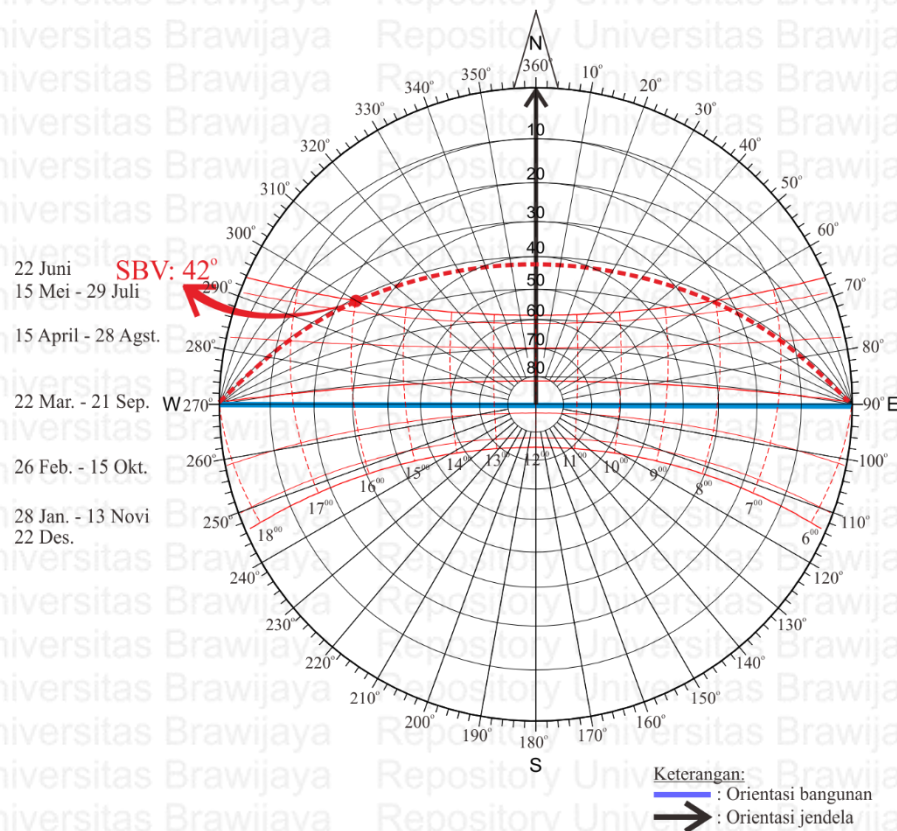


Gambar 4.65 Penentuan titik waktu diagram *sunpath* pada jendela sisi utara

Titik waktu pembayangan ditandai dengan titik merah (●) pada pertemuan tanggal 22 juni dan jam 16.00. Orientasi jendela yang mengarah ke utara ditandai dengan garis panah hitam (→) dan orientasi bangunan sejajar dengan letak jendela ditandai dengan garis biru (—). Tanda-tanda ini berguna untuk mengetahui besar SBV ketika menggunakan *shading mask*. *Shading mask* digunakan untuk menentukan besar SBV berdasarkan garis radial yang merupakan garis altitude pada diagram *sunpath*.

Langkah berikutnya adalah menentukah besar SBV menggunakan *shading mask*. Diagram *sunpath* yang telah ditandai dan *shading mask* digabungkan jadi satu pada pertemuan garis orientasi bangunan di diagram *sunpath* dan garis tengah *shading mask* dengan garis SBV mengarah ke titik waktu. Garis SBV diproyeksikan memotong titik waktu sehingga terlihat pertemuan antara garis SBV dan titik waktu berada pada berapa derajat altitude. Proyeksi SBV pada

garis altitude menunjukkan besar SBV yang dihasilkan. Berikut ini adalah *shading mask* yang telah ditandai untuk menunjukkan SBV pada orientasi utara.



Gambar 4.66 Penentuan SBV pada jendela sisi utara

Berdasarkan proyeksi garis SBV pada penggabungan *shading mask* dan diagram *sunpath* ditemukan SBV sebesar 42° . Hasil SBV tersebut kemudian diproyeksikan pada potongan unit hunian untuk mengetahui garis sinar matahari yang dihasilkan. Garis proyeksi tersebut diletakkan pada ujung *overhang* dan diteruskan sampai ke ujung. Berikut ini adalah proyeksi garis SBV yang dihasilkan pada unit hunian dengan orientasi jendela berada di utara.



Gambar 4.67 Proyeksi garis SBV pada jendela sisi utara

Penentuan lebar *overhang* dilakukan dengan melebarkan *overhang* hingga garis SBV berada di ujung bawah jendela, sehingga garis sinar matahari tidak masuk ke dalam ruangan dan area jendela dapat terbayangi. Lebar *overhang* yang mengikuti SBV ini juga dapat berbeda berdasarkan posisi *overhang* terhadap jendela. Menurut Lechner (2015), posisi *overhang* yang disarankan adalah minimal 0,30 m berada di atas jendela atau minimal 0,15 m berada di samping jendela. Kedua posisi tersebut menjadi alternatif desain *overhang* yang telah ditentukan berdasarkan SBV. Berikut ini adalah alternatif lebar *overhang* berdasarkan SBV dan jaraknya terhadap jendela pada *overhang* sisi utara.

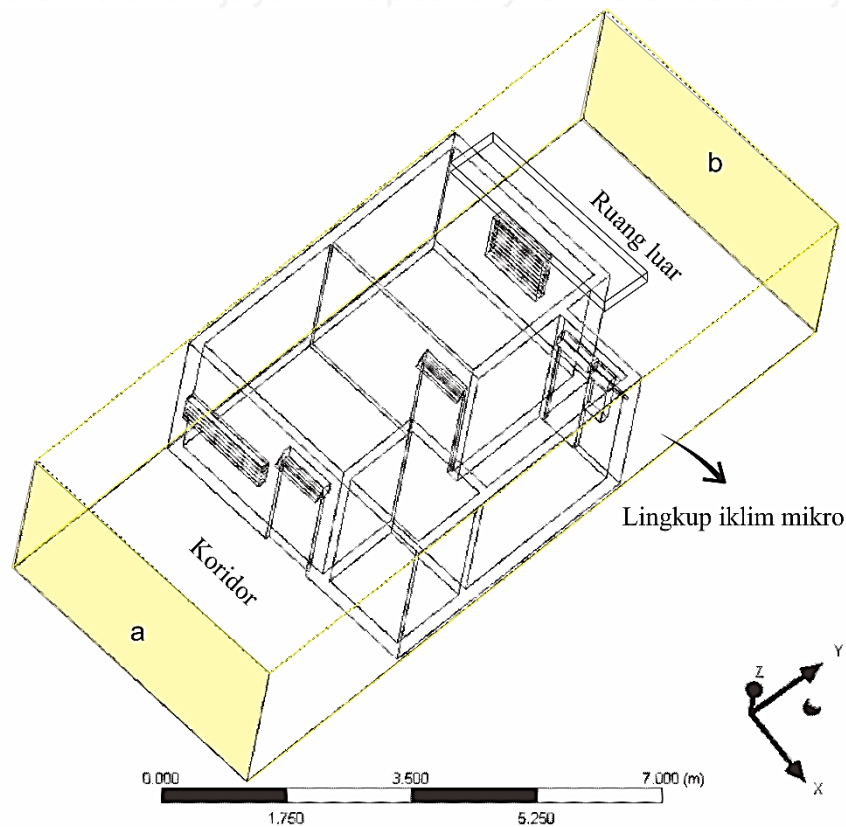
Tabel 4.39 Gambar potongan alternatif modifikasi *overhang* sisi utara

Alt.	Lebar <i>overhang</i>	Jarak	Gambar potongan
U1	0.96	0.15 m ke samping dari jendela	
U2	1.44	0.30 m ke atas dari jendela	

Kedua alternatif *overhang* tersebut digunakan untuk dilakukan simulasi suhu pada ruang unit hunian. Suhu yang dihasilkan oleh kedua alternatif tersebut kemudian saling dibandingkan. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui suhu terendah yang dihasilkan pada alternatif modifikasi *overhang*. Alternatif *overhang* dengan suhu terpilih lah yang dipilih.

2. Simulasi alternatif *overhang*

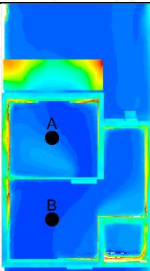
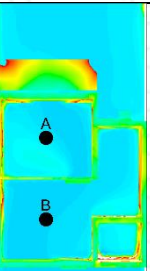
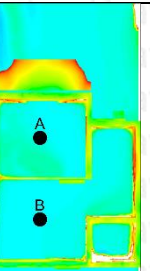
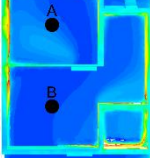
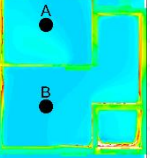
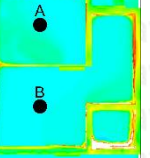
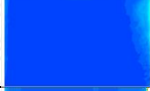
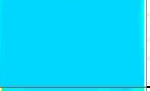
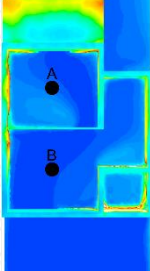
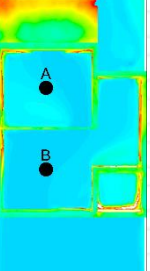
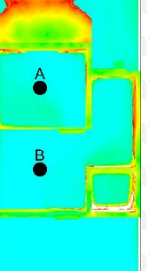
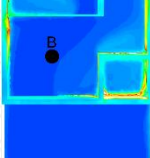
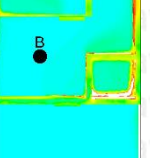
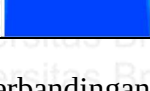
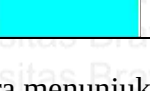
Simulasi dilakukan pada 3 waktu, yaitu pukul 08.00, 12.00, dan 16.00. Pengaturan model pada simulasi *overhang* utara menggunakan pengaturan orientasi utara, yaitu vektor utara (0,1,0) dan vektor timur (1,0,0). Data kondisi batas yang diinput pada simulasi *overhang* sama dengan data yang diinput pada simulasi orientasi, yaitu data pengukuran pada tanggal 2 September. Berikut ini adalah kondisi batas geometri yang diinput pada simulasi berdasarkan data pengukuran.

Gambar 4.68 Geometri simulasi *overhang*Tabel 4.40 Kondisi Batas Geometri Simulasi *Overhang*

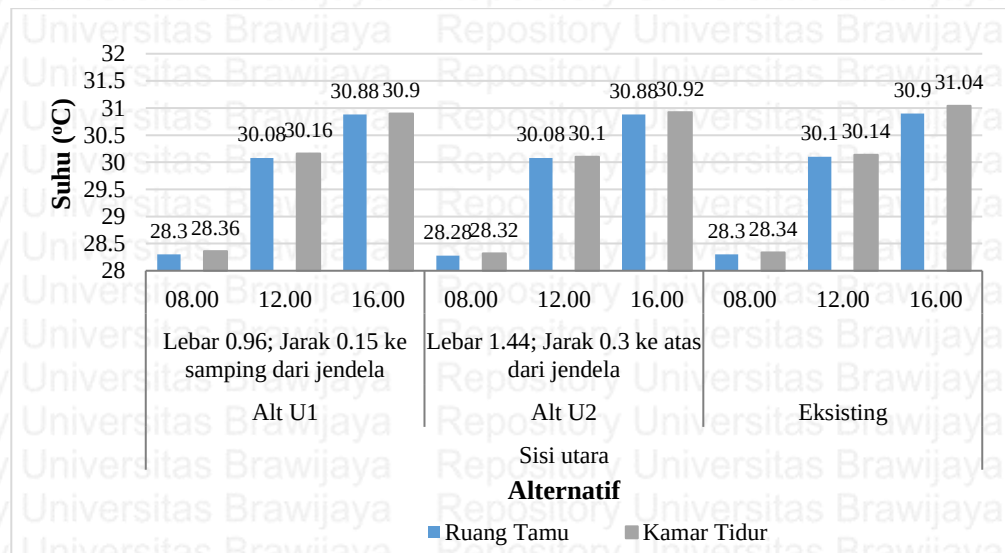
Pukul	Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
08.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	Inlet	Suhu = 28,3 °C Kecepatan angin = 0,66 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	Outlet	Suhu = 27,45 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
12.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	Inlet	Suhu = 30,1 °C Kecepatan angin = 0,74 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	Outlet	Suhu = 31,21 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
16.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	Inlet	Suhu = 30,9 °C Kecepatan angin = 0,61 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	Outlet	Suhu = 31,3 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

Keseluruhan data untuk simulasi diinput pada masing-masing alternatif *overhang*. Hasil yang ingin dilihat adalah perbedaan suhu terkait alternatif *overhang* pada unit hunian. Hasil suhu masing-masing alternatif tiap waktu dibandingkan untuk mengetahui alternatif *overhang* dengan suhu terendah. Berikut ini adalah hasil suhu pada simulasi *overhang* yang dilakukan di 3 waktu berbeda pada masing-masing alternatif.

Tabel 4.41 Hasil simulasi modifikasi *overhang* sisi utara

Alt.	Pukul 08.00		Pukul 12.00		Pukul 16.00	
	Simulasi suhu	Suhu (°C)	Simulasi suhu	Suhu (°C)	Simulasi suhu	Suhu (°C)
U1		Titik A= 28.36		Titik A= 30.16		Titik A= 30.9
		Titik B= 28.3		Titik B= 30.08		Titik B= 30.88
		Rata-rata= 29.45		Rata-rata= 31.13		Rata-rata= 32.02
U2		Titik A= 28.32		Titik A= 30.10		Titik A= 30.92
		Titik B= 28.28		Titik B= 30.08		Titik B= 30.88
		Rata-rata= 29.44		Rata-rata= 31.14		Rata-rata= 32.05

Perbandingan hasil simulasi *overhang* pada sisi utara menunjukkan bahwa kondisi suhu dalam ruang tamu pada masing-masing alternatif tidak memiliki perbedaan suhu yang signifikan di tiap waktunya. Hal ini menunjukkan bahwa *overhang* pada jendela kamar tidur tidak begitu mempengaruhi kondisi suhu ruang tamu. Padahal ruang tamu sendiri merupakan ruang yang selalu digunakan pada unit hunian dan kondisi suhu pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 berpengaruh terhadap aktifitas di ruang tamu. Kondisi suhu pada kamar tidur yang dihasilkan oleh simulasi *overhang* juga tidak memiliki perbedaan signifikan pada masing-masing alternatif, meskipun perbedaannya lebih besar dibandingkan suhu pada ruang tamu. Hal ini menunjukkan bahwa *overhang* pada jendela kamar tidur lebih mempengaruhi kondisi suhu kamar tidur dibandingkan ruang tamu. Kamar tidur yang berhubungan langsung dengan *overhang* lebih terkena dampaknya dibandingkan ruang tamu yang tidak berhubungan.



Gambar 4.69 Perbandingan hasil simulasi *overhang* pada orientasi utara

Hasil simulasi pada pukul 08.00 menunjukkan alternatif yang memiliki suhu paling rendah adalah U2 sebesar 28,28 °C pada ruang tamu dan 28,32 °C pada kamar tidur. Hasil simulasi pada pukul 12.00 juga menunjukkan hasil yang hampir sama, yaitu suhu terendah berada pada alternatif U2 dengan suhu sebesar 30,08 °C pada ruang tamu dan 30,1 °C pada kamar tidur. Hasil simulasi pada pukul 16.00 juga menunjukkan hasil yang berbeda, yaitu suhu terendah berada pada alternatif U1 dengan suhu sebesar 30,88 °C pada ruang tamu dan 30,90 °C pada kamar tidur. Keseluruhan hasil simulasi pada ruang tamu menunjukkan bahwa alternatif U2 dengan lebar *overhang* 1,44 m dan jarak ke dinding 0,3 m memiliki suhu paling rendah pada pukul 08.00 dan 12.00. Kedua alternatif *overhang* berdasarkan SBV juga menghasilkan suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan *overhang* eksisting. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja jendela lebih baik ketika memiliki *overhang* yang sesuai dengan SBV.

Secara keseluruhan hasil suhu pada simulasi kamar tidur dan ruang tamu menunjukkan bahwa *overhang* pada jendela yang sesuai SBV mampu menurunkan suhu, meskipun tidak signifikan. Perhitungan selisih suhu antara alternatif *overhang* berdasarkan SBV (U1-U2) dan *overhang* eksisting dilakukan untuk mengetahui alternatif penambahan *overhang* mana yang mampu menurunkan suhu paling rendah. Berikut ini adalah selisih suhu pada alternatif penambahan *overhang* dengan SBV dan *overhang* eksisting.

Tabel 4.42 Selisih suhu pada alternatif modifikasi *overhang* pada sisi utara

Alt.	Keterangan	Pukul	Suhu modifikasi (°C)			Selisih dengan <i>overhang</i> eksisting (°C)		
			Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
U1	Lebar 0.96; Jarak 0.15 dari dinding	08.00	28.3	28.36	29.45	0	0.02	-0.02
		12.00	30.08	30.16	31.13	-0.02	0.02	-0.1
		16.00	30.88	30.9	32.02	-0.02	-0.14	-0.04
U2	Lebar 1.44; Jarak 0.3 dari jendela	08.00	28.28	28.32	29.44	-0.02	-0.02	-0.03
		12.00	30.08	30.1	31.14	-0.02	-0.04	-0.09
		16.00	30.88	30.92	32.05	-0.02	-0.12	-0.01

Keseluruhan simulasi *overhang* menunjukkan bahwa selisih terbesar pada orientasi utara berada pada alternatif U2 dengan lebar *overhang* 0,5 m dan jarak ke dinding 0,15 m, yaitu pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 mampu menurunkan suhu sebesar 0,02 °C di ruang tamu. Suhu di kamar tidur berhasil turun pada pukul 08.00 sebesar 0,02 °C dan pada pukul 12.00 mampu menurunkan suhu sebesar 0,04 °C dan pukul 16.00 mampu menurunkan suhu sebesar 0,12 °C. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif U2 merupakan alternatif *overhang* yang paling besar dalam penurunan suhu pada unit hunian Rusunawa Grudo orientasi utara dan mampu menurunkan suhu hingga 0,12 °C.

3. Alternatif *overhang* jendela utara terpilih

Hasil simulasi suhu pada alternatif *overhang* jendela utara menunjukkan bahwa alternatif yang menghasilkan suhu paling rendah adalah alternatif U2. Alternatif U2 dengan dimensi *overhang* selebar 1,44 m dengan jarak 0,3 m ke atas dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,12 °C dari suhu simulasi eksisting. Berikut ini adalah potongan unit hunian dengan jendela alternatif U2.



Gambar 4.70 Potongan alternatif U2

4.8.2 *Overhang* pada jendela orientasi selatan

Berikut ini adalah urutan dalam melakukan modifikasi *overhang* pada jendela dengan orientasi selatan.

1. Penentuan alternatif *overhang*

Langkah pertama untuk melakukan modifikasi *overhang* adalah menentukan alternatif desain *overhang*. Hal yang perlu diperhatikan adalah jarak *overhang* terhadap jendela dan dimensi *overhang* berdasarkan kebutuhan SBV untuk membayangi jendela. Jarak *overhang* terhadap jendela memberikan pengaruh terhadap aliran angin yang masuk ke dalam ruangan, sedangkan dimensi *overhang* mempengaruhi pembayangan jendela terhadap sinar matahari. *Overhang* yang merupakan pembayang horizontal membutuhkan dimensi dengan lebar mengikuti sudut bayangan vertikal (SBV). Hal ini bertujuan agar SBV yang mengenai *overhang* tidak terproyeksi masuk ke dalam ruangan. SBV yang terproyeksi berada di luar batas jendela menunjukkan bahwa jendela tersebut berhasil terbayangi.

Kondisi *overhang* eksisting memiliki lebar sebesar 0,66 m dengan jarak ke atas dari jendela sebesar 0,31 m. Menurut Lechner (2015), posisi *overhang* terhadap jendela sebaiknya memiliki jarak ke atas dari jendela minimal sebesar 0,30 m. Kondisi *overhang* eksisting sudah tepat karena memiliki jarak sebesar 0,31 m > 0,30 m. Namun, lebar *overhang* yang sesuai ditentukan dengan menghitung SBV.

SBV merupakan sudut bayang yang dihasilkan berdasarkan ketinggian matahari pada waktu tertentu. SBV yang dihasilkan berbeda-beda tergantung pada waktu dan orientasi jendela. Lebar *overhang* dapat diketahui dengan menentukan waktu yang paling membutuhkan pembayangan dan menghitung SBV pada waktu tersebut. Perhitungan SBV ini dilakukan menggunakan diagram *sunpath* dan *shading mask*. Hal awal yang perlu diketahui adalah posisi bangunan dan orientasi bangunan. Kemudian mensimulasikan pembayangan pada waktu titik balik matahari dan equinox berdasarkan orientasi jendelanya. Orientasi jendela dan waktu yang menghasilkan pembayangan paling minim digunakan sebagai acuan untuk mencari SBV menggunakan diagram *sunpath* dan *shading mask*. SBV yang telah diketahui kemudian dijadikan acuan untuk menentukan lebar *overhang*.

Orientasi bangunan telah diketahui memanjang barat timur dengan menghadap ke utara selatan. Hal selanjutnya yang perlu diketahui adalah waktu yang paling membutuhkan pembayangan berdasarkan waktu pembayangan paling minim. Waktu pembayangan paling minim diketahui dengan melakukan simulasi pembayangan menggunakan *software* sketch up. Pembayangan perlu dilakukan lagi pada orientasi jendela selatan untuk mengetahui waktu yang menghasilkan pembayangan paling minim.

Simulasi pembayangan pada jendela orientasi selatan dilakukan dengan orientasi bangunan memanjang barat-timur dan kondisi jendela menghadap selatan. Hasil simulasi yang dilihat adalah fasad yang memiliki jendela unit hunian atau sisi selatan. Pembayangan dilakukan mengikuti tanggal titik balik matahari, yaitu 22 Juni dan 22 Desember dan waktu titik equinox, yaitu 21 Maret. Pembayangan pada ketiga tanggal tersebut dilakukan pada pagi hari pukul 08.00, siang hari pukul 12.00, dan sore hari pukul 16.00. Hasil pembayangan fasad tersebut masing-masing dibandingkan satu sama lain. Hal ini dilakukan untuk mengetahui waktu pembayangan yang paling minim pada sisi fasad selatan. Berikut ini adalah hasil simulasi pembayangan pada fasad orientasi selatan.

Tabel 4.43 Hasil pembayangan orientasi terpilih pada sisi selatan

Tanggal	Waktu	Hasil pembayangan
21 Maret	08.00	
	12.00	
	16.00	
22 Juni	08.00	

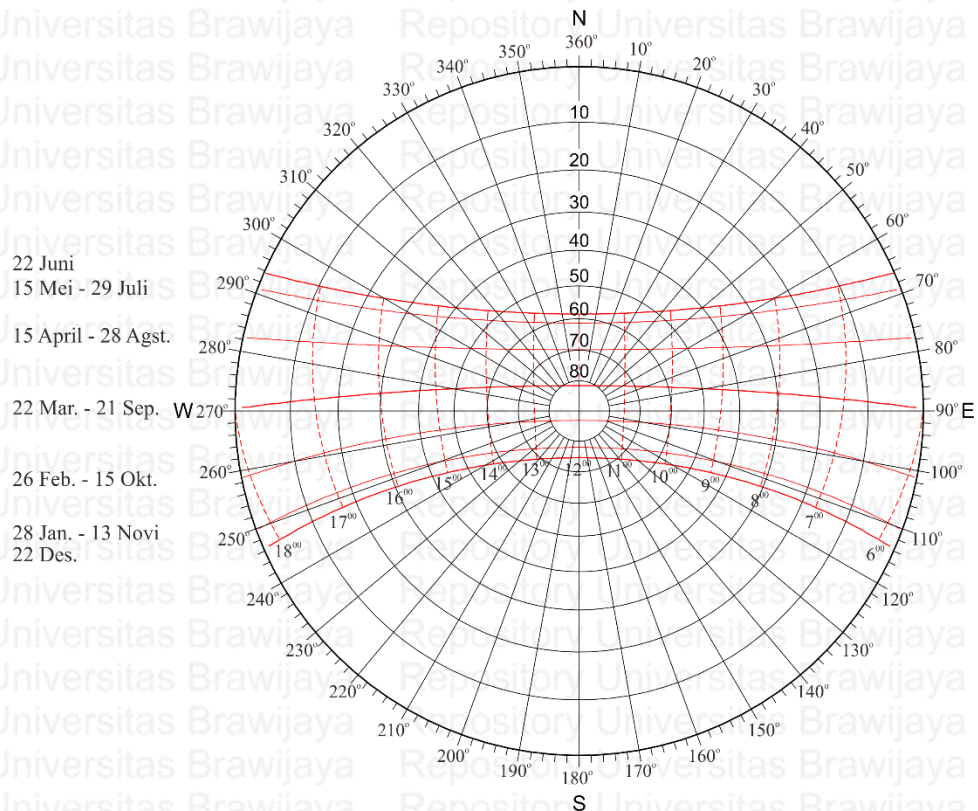
Tanggal	Waktu	Hasil pembayangan
	12.00	
	16.00	
22 Desember	08.00	
	12.00	
	16.00	

Hasil simulasi pembayangan pada sisi selatan menunjukkan bahwa pembayangan jendela yang paling minim dihasilkan pada tanggal 22 Desember pukul 16.00. Pembayangan pada tanggal 22 Desember menunjukkan bahwa *overhang* eksisting pada bangunan dengan kondisi orientasi jendela menghadap selatan masih belum mampu membayangi jendela secara keseluruhan. Namun, pada tanggal 21 Maret dan 22 Juni jendela pada sisi selatan bangunan berhasil terbayangi. Keseluruhan hasil menunjukkan bahwa tanggal 22 Desember pukul 16.00 merupakan waktu yang paling membutuhkan pembayangan, karena fasad jendelanya yang paling terpapar sinar matahari. Waktu tersebut menjadi dasar untuk mencari SBV yang dibutuhkan untuk menentukan lebar *overhang* pada sisi selatan agar dapat membayangi seluruh jendela unit hunian.

SBV ditentukan menggunakan diagram *sunpath* dan *shading mask* berdasarkan waktu yang menghasilkan bayangan paling minim. Hal pertama yang dilakukan adalah mengetahui posisi bangunan untuk mengetahui diagram *sunpath* yang digunakan. Bangunan berada di posisi -7.277606° LS.

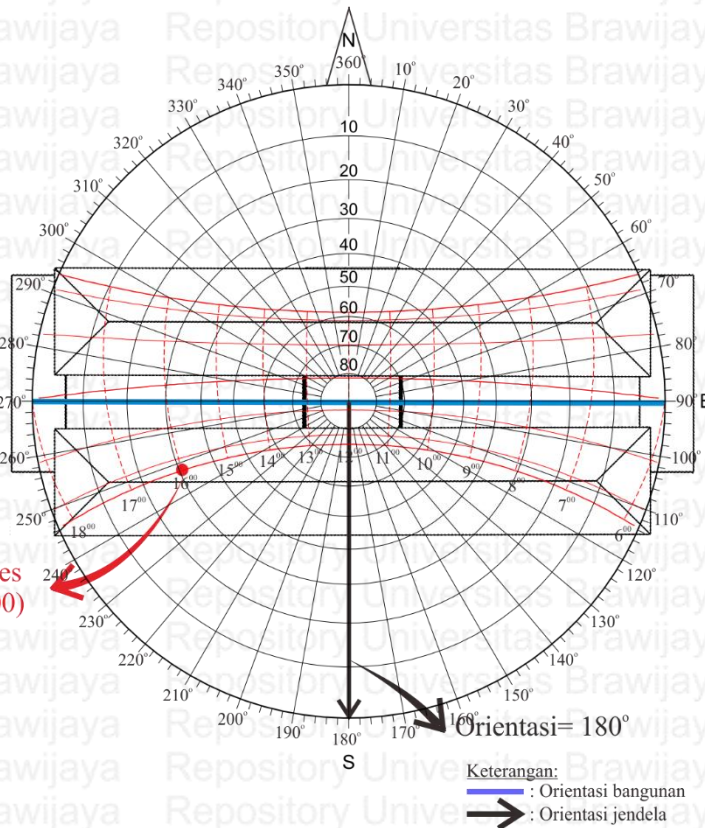


Berdasarkan posisi tersebut maka diagram *sunpath* yang digunakan adalah diagram *sunpath* pada 7° LS. Berikut ini adalah diagram *sunpath* yang digunakan pada posisi 7° LS.



Gambar 4.71 Diagram *sunpath* untuk orientasi selatan

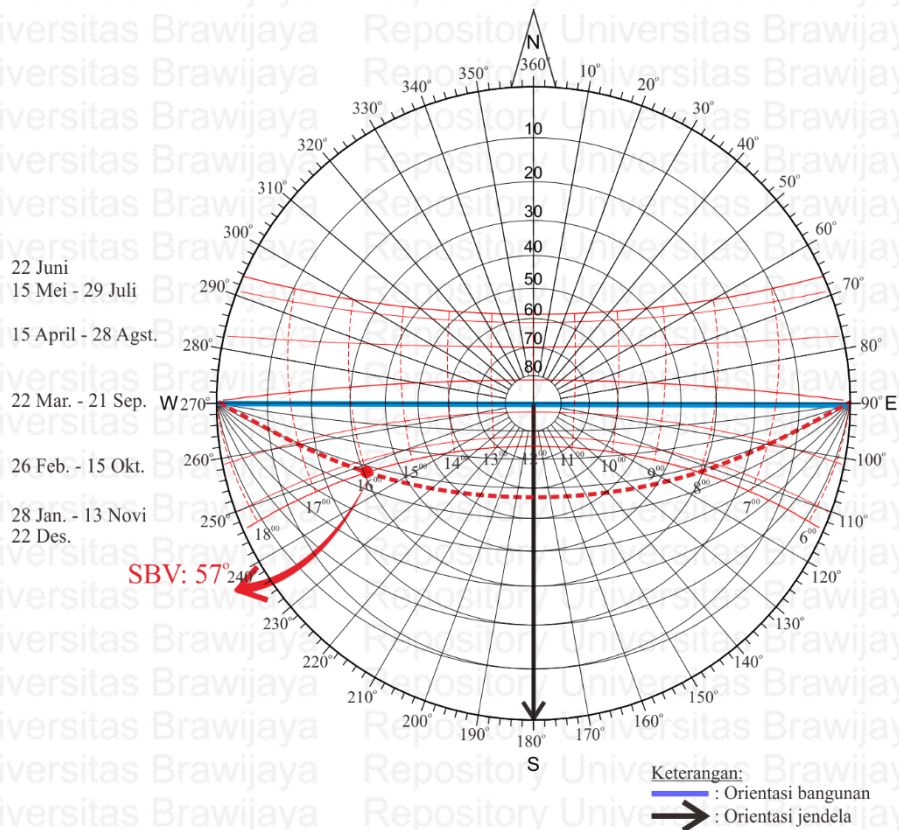
Diagram *sunpath* tersebut menunjukkan garis lintas matahari berdasarkan waktunya. Tanggal pada sebelah kiri gambar menunjukkan waktu lintas matahari dan jam pada bawah garis merah menunjukkan jamnya. Selanjutnya, adalah menentukan titik waktu pembayangan berdasarkan waktu pembayangan yang paling dibutuhkan. Waktu pembayangan yang paling dibutuhkan pada orientasi selatan adalah 22 Desember 2016 pukul 16.00, sehingga waktu tersebut ditandai sebagai titik waktu pembayangan. Titik waktu tersebut ditandai dengan pertemuan antara garis tanggal dan garis jam. Berikut ini adalah diagram *sunpath* yang sudah ditandai titik waktunya beserta bangunannya pada orientasi selatan.



Gambar 4.72 Penentuan titik waktu diagram *sunpath* pada jendela sisi selatan

Titik waktu pembayangan ditandai dengan titik merah (●) pada pertemuan tanggal 22 Desember dan jam 16.00. Orientasi jendela yang mengarah ke utara ditandai dengan garis panah hitam (→) dan orientasi bangunan sejajar dengan letak jendela ditandai dengan garis biru (—). Tanda-tanda ini berguna untuk mengetahui besar SBV ketika menggunakan *shading mask*. *Shading mask* digunakan untuk menentukan besar SBV berdasarkan garis radial yang merupakan garis altitude pada diagram *sunpath*.

Langkah berikutnya adalah menentukah besar SBV menggunakan *shading mask*. Diagram *sunpath* yang telah ditandai dan *shading mask* digabungkan jadi satu pada pertemuan garis orientasi bangunan di diagram *sunpath* dan garis tengah *shading mask* dengan garis SBV mengarah ke titik waktu. Garis SBV diproyeksikan memotong titik waktu sehingga terlihat pertemuan antara garis SBV dan titik waktu berada pada berapa derajat altitude. Proyeksi SBV pada garis altitude menunjukkan besar SBV yang dihasilkan. Berikut ini adalah *shading mask* yang telah ditandai untuk menunjukkan SBV pada orientasi selatan.



Gambar 4.73 Penentuan SBV pada jendela sisi selatan

Berdasarkan proyeksi garis SBV pada penggabungan *shading mask* dan diagram *sunpath* ditemukan SBV sebesar 57°. Hasil SBV tersebut kemudian diproyeksikan pada potongan unit hunian untuk mengetahui garis sinar matahari yang dihasilkan. Garis proyeksi tersebut diletakkan pada ujung *overhang* dan diteruskan sampai ke ujung. Berikut ini adalah proyeksi garis SBV yang dihasilkan pada unit hunian dengan orientasi jendela berada di selatan.

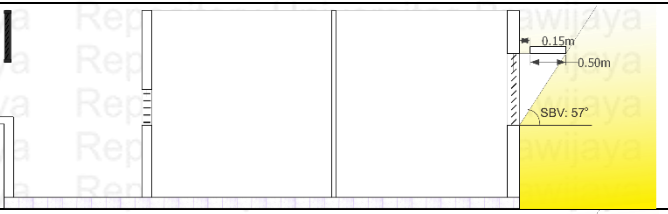


Gambar 4.74 Proyeksi garis SBV pada jendela sisi selatan

Penentuan lebar *overhang* dilakukan dengan melebarkan *overhang* hingga garis SBV berada di ujung bawah jendela, sehingga garis sinar matahari tidak

masuk ke dalam ruangan dan area jendela dapat terbayangi. Lebar *overhang* yang mengikuti SBV ini juga dapat berbeda berdasarkan posisi *overhang* terhadap jendela. Menurut Lechner (2015), posisi *overhang* yang disarankan adalah minimal 0,30 m berada di atas jendela atau minimal 0,15 m berada di samping jendela. Kedua posisi tersebut menjadi alternatif desain *overhang* yang telah ditentukan berdasarkan SBV. Berikut ini adalah alternatif lebar *overhang* berdasarkan SBV dan jaraknya terhadap jendela pada *overhang* sisi selatan.

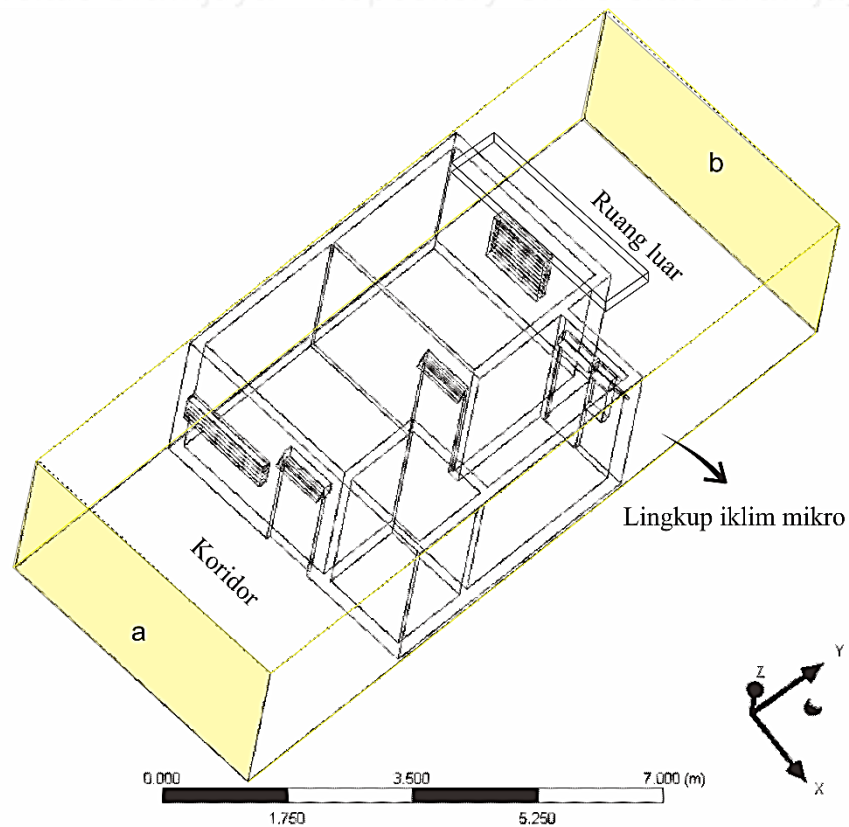
Tabel 4.44 Gambar potongan alternatif modifikasi *overhang* sisi selatan

Alt.	Lebar <i>overhang</i>	Jarak	Gambar potongan
S1	0.50	0.15 m ke samping dari jendela	
S2	0.84	0.30 m ke atas dari jendela	

Kedua alternatif *overhang* tersebut digunakan untuk dilakukan simulasi suhu pada ruang unit hunian. Suhu yang dihasilkan oleh kedua alternatif tersebut kemudian saling dibandingkan. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui suhu terendah yang dihasilkan pada alternatif modifikasi *overhang*. Alternatif *overhang* dengan suhu terpilih lah yang dipilih.

2. Simulasi *overhang* pada jendela orientasi selatan

Simulasi dilakukan pada 3 waktu, yaitu pukul 08.00, 12.00, dan 16.00. Pengaturan model pada simulasi *overhang* utara menggunakan pengaturan orientasi selatan, yaitu vektor utara (0,-1,0) dan vektor timur (-1,0,0). Data kondisi batas yang diinput pada simulasi *overhang* sama dengan data yang diinput pada simulasi orientasi, yaitu data pengukuran pada tanggal 2 September. Berikut ini adalah kondisi batas geometri yang diinput pada simulasi berdasarkan data pengukuran.


Gambar 4.75 Geometri simulasi *overhang*

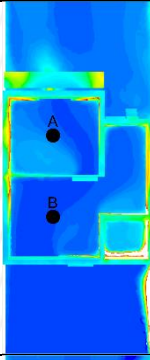
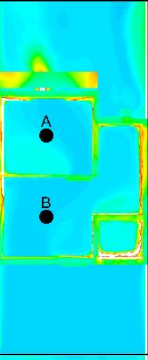
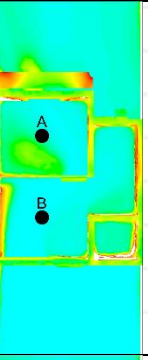
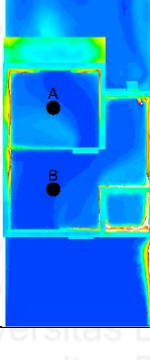
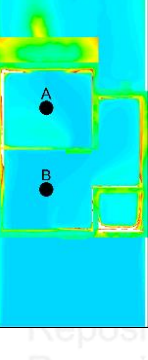
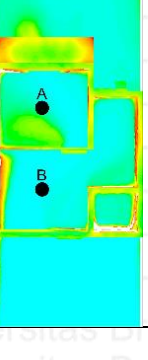
Tabel 4.45 Kondisi Batas Geometri Simulasi *Overhang*

Pukul	Bidang batas	Lokasi	Jenis	Kondisi
08.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 28,3 °C Kecepatan angin = 0,66 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 27,45 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
12.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 30,1 °C Kecepatan angin = 0,74 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 31,21 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-
16.00	Sisi a <i>wind tunnel</i>	Koridor	<i>Inlet</i>	Suhu = 30,9 °C Kecepatan angin = 0,61 m/s
	Sisi b <i>wind tunnel</i>	Ruang luar	<i>Outlet</i>	Suhu = 31,3 °C
	Seluruh bidang ruangan	Unit hunian	Wall	-

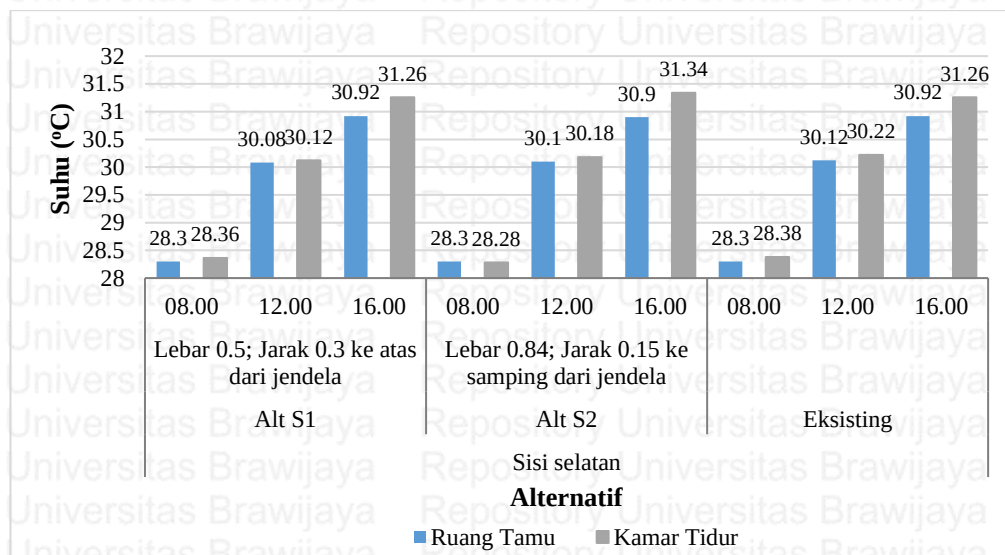
Keseluruhan data untuk simulasi diinput pada masing-masing alternatif *overhang*. Hasil yang ingin dilihat adalah perbedaan suhu terkait alternatif *overhang* pada unit hunian. Hasil suhu masing-masing alternatif tiap waktu dibandingkan untuk mengetahui alternatif *overhang* dengan suhu terendah.

Berikut ini adalah hasil suhu pada simulasi *overhang* yang dilakukan di 3 waktu berbeda pada masing-masing alternatif.

Tabel 4.46 Hasil simulasi modifikasi *overhang* sisi selatan

Alt.	Pukul 08.00		Pukul 12.00		Pukul 16.00	
	Simulasi suhu	Suhu (°C)	Simulasi suhu	Suhu (°C)	Simulasi suhu	Suhu (°C)
S1		Titik A= 28.36		Titik A= 30.12		Titik A= 31.26
		Titik B= 28.30		Titik B= 30.08		Titik B= 30.92
		Rata-rata= 29.48		Rata-rata= 31.16		Rata-rata= 32.07
S2		Titik A= 28.28		Titik A= 30.18		Titik A= 31.34
		Titik B= 28.30		Titik B= 30.10		Titik B= 30.90
		Rata-rata= 29.40		Rata-rata= 31.21		Rata-rata= 32.02

Perbandingan hasil simulasi *overhang* pada sisi selatan menunjukkan bahwa kondisi suhu dalam ruang tamu pada masing-masing alternatif tidak memiliki perbedaan suhu yang signifikan di tiap waktunya. Hal ini menunjukkan bahwa *overhang* pada jendela kamar tidur tidak begitu mempengaruhi kondisi suhu ruang tamu. Padahal ruang tamu sendiri merupakan ruang yang selalu digunakan pada unit hunian dan kondisi suhu pada pukul 08.00, 12.00, dan 16.00 berpengaruh terhadap aktifitas di ruang tamu. Kondisi suhu pada kamar tidur yang dihasilkan oleh simulasi *overhang* juga tidak memiliki perbedaan signifikan pada masing-masing alternatif, meskipun perbedaannya lebih besar dibandingkan suhu pada ruang tamu. Hal ini menunjukkan bahwa *overhang* pada jendela kamar tidur lebih mempengaruhi kondisi suhu kamar tidur dibandingkan ruang tamu. Kamar tidur yang berhubungan langsung dengan *overhang* lebih terkena dampaknya dibandingkan ruang tamu yang tidak berhubungan.



Gambar 4.76 Perbandingan hasil simulasi *overhang* pada orientasi selatan

Hasil simulasi pada pukul 08.00 menunjukkan alternatif yang memiliki suhu paling rendah adalah S2 dengan suhu sebesar 28,30 °C pada ruang tamu dan 28,28 °C pada kamar tidur. Hasil simulasi pada pukul 12.00 menunjukkan alternatif yang memiliki suhu terendah adalah S1 dengan suhu sebesar 30,08 °C pada ruang tamu 30,12 °C pada kamar tidur. Hasil simulasi pada pukul 16.00 menunjukkan bahwa alternatif dengan suhu terendah adalah S1 dengan suhu sebesar 30,92 °C pada ruang tamu dan 31,26 pada kamar tidur. Keseluruhan hasil simulasi pada orientasi selatan menunjukkan bahwa alternatif S1 dengan lebar *overhang* 0,5 m dan jarak ke samping dari jendela 0,15 m memiliki suhu paling rendah pada pukul 12.00 dan 16.00. Kedua alternatif *overhang* berdasarkan SBV juga menghasilkan suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan *overhang* eksisting. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja jendela lebih baik ketika memiliki *overhang* yang sesuai dengan SBV.

Secara keseluruhan hasil suhu pada simulasi kamar tidur dan ruang tamu menunjukkan bahwa *overhang* pada jendela yang sesuai SBV mampu menurunkan suhu, meskipun tidak signifikan. Perhitungan selisih suhu antara alternatif *overhang* berdasarkan SBV (S1-S2) dan *overhang* eksisting dilakukan untuk mengetahui alternatif penambahan *overhang* mana yang mampu menurunkan suhu paling rendah. Berikut ini adalah selisih suhu pada alternatif penambahan *overhang* dengan SBV dan *overhang* eksisting.

Tabel 4.47 Selisih suhu pada alternatif modifikasi *overhang* pada sisi selatan

Alt.	Keterangan	Pukul	Suhu modifikasi (°C)			Selisih dengan <i>overhang</i> eksisting (°C)		
			Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata	Ruang Tamu	Kamar Tidur	Rata-rata
S1	Lebar 0.5; Jarak 0.15 ke samping dari jendela	08.00	28.3	28.36	29.48	0	-0.02	-0.34
		12.00	30.08	30.12	31.16	-0.04	0	-0.46
		16.00	30.92	31.26	32.07	0	0	-0.31
S2	Lebar 0.84; Jarak 0.3 ke atas dari jendela	08.00	28.3	28.28	29.4	0	-0.1	-0.42
		12.00	30.1	30.18	31.21	-0.02	0.06	-0.41
		16.00	30.9	31.34	32.02	-0.02	0.08	-0.36

Keseluruhan simulasi *overhang* menunjukkan bahwa selisih terbesar pada orientasi utara berada pada alternatif S1 dengan lebar *overhang* 0,5 m dan jarak ke samping dari jendela 0,15 m, yaitu pada pukul 12.00 mampu menurunkan suhu sebesar 0,04 °C di ruang tamu. Suhu di kamar tidur berhasil turun pada pukul 08.00 sebesar 0,02 °C. Hal ini menunjukkan bahwa alternatif S1 merupakan alternatif *overhang* yang paling besar dalam penurunan suhu pada unit hunian Rusunawa Grudo orientasi selatan dan mampu menurunkan suhu hingga 0,04 °C.

3. Alternatif *overhang* terpilih pada jendela selatan

Hasil simulasi suhu pada alternatif *overhang* jendela selatan menunjukkan bahwa alternatif yang menghasilkan suhu paling rendah adalah alternatif S1. Alternatif S1 dengan dimensi *overhang* selebar 0,5 m dengan jarak 0,15 m ke samping dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,04 °C dari suhu simulasi eksisting. Berikut ini adalah potongan unit hunian dengan jendela alternatif S1.



Gambar 4.77 Potongan alternatif S1



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Rusunawa Grudo merupakan salah satu rusun yang berada di Kota Surabaya. Rusun pernah diteliti sebelumnya oleh Alfata *et al.* (2015) dimana permasalahan yang ditemukan pada rusun adalah kondisi unit hunian yang memiliki suhu ruang dalam yang lebih tinggi dari ruang luar. Kota Surabaya tempat lokasi Rusunawa Grudo Surabaya memiliki kondisi suhu yang lebih tinggi dibandingkan Kota Jakarta, Semarang, dan Yogyakarta yang merupakan kota besar di daerah pesisir Pulau Jawa. Suhu netral Kota Surabaya yang dihitung berdasarkan data suhu bulanan 5 tahun terakhir menghasilkan rentang suhu sebesar 24-29 °C.

Kondisi fasad bangunan rusunawa pada area unit hunian cenderung tidak terbayangi karena sisi unit hunian yang menghadap arah barat dan timur. Hal ini dapat menjadi salah satu penyebab tingginya suhu dalam bangunan Rusunawa Grudo Surabaya. Kondisi jendela pada unit rusunawa grudo memenuhi prosentase >1% syarat bangunan rusunawa, hanya jendela tipe A dan B yang memenuhi prosentase >20% luas lantai. Posisi jendela seluruhnya berada di ketinggian ± 89 cm yang mana merupakan posisi pada zona aktifitas manusia. Jenis jendela yang dominan digunakan adalah jendela *awning* yang cenderung membelokkan angin ke arah plafon. Hal ini menyebabkan kondisi suhu bangunan eksisting memiliki suhu yang lebih tinggi dari suhu luar dan cenderung berada di luar suhu nyaman Surabaya. Kecepatan angin eksisting dalam bangunan juga terlalu kecil untuk dapat mencapai kenyamanan ventilasi.

Modifikasi jendela kemudian dilakukan untuk mengetahui kinerja jendela dalam upaya penurunan suhu dan pencapaian kenyamanan ventilasi. Dimensi jendela A (*inlet*) dengan ukuran 1,5 m x 0,5 m dan jendela B (*outlet*) 1 m x 1m berhasil menurunkan suhu sebesar 0,06 °C pada ruang tamu dan 0,3 °C pada kamar tidur. Alternatif dimensi 0,5 m, 0,75, dan 1 m ini tidak memberikan penurunan suhu yang signifikan. Posisi jendela A (*inlet*) pada ketinggian +1 m dan jendela B (*outlet*)

pada ketinggian +1 m berhasil menurunkan suhu sebesar 0,06 °C pada ruang tamu dan 0,28 °C pada kamar tidur. Perubahan posisi ketinggian jendela dari lantai sebesar 0,5 m, 0,75 m, dan 1 m tidak memberikan perubahan suhu yang signifikan juga. Jenis jendela A (*inlet*) tipe nako dengan sudut 90° dan jendela B (*outlet*) tipe nako dengan sudut 135° berhasil menurunkan suhu sebesar 0,08 °C pada ruang tamu dan 0,3 °C pada kamar tidur. Kinerja jendela pada Rusunawa Grudo dari segi desainnya (dimensi, posisi, dan jenis) mampu menurunkan suhu hingga 0,3 °C. Desain jendela tersebut adalah jendela dengan *inlet* yang memiliki dimensi 1,5 m x 0,5 m, posisi ketinggian dari lantai +1 m, dan jenis jendela berupa jendela nako dengan sudut 90° dan *outlet* yang memiliki dimensi 1 m x 1 m, posisi ketinggian dari lantai +1 m, dan jenis jendela berupa jendela nako dengan sudut 135°.

Upaya penurunan suhu pada unit hunian Rusunawa Grudo selain melalui jendela juga dilakukan dengan pendekatan orientasi jendela terhadap matahari dan *overhang* pada jendela. Hasil simulasi menunjukkan orientasi jendela dengan kinerja terbesar untuk menurunkan suhu secara berurutan adalah utara, selatan, timur dan barat. Modifikasi orientasi eksisting jendela (barat) menjadi utara mampu menurunkan suhu pada pagi hari sebesar 0,06 °C di ruang tamu dan 0,4 °C di kamar tidur, kemudian pada sore hari mampu menurunkan suhu sebesar 0,04 °C di ruang tamu dan 0,5 °C di kamar tidur. Modifikasi orientasi jendela menjadi selatan mampu menurunkan suhu pada pagi hari sebesar 0,06 °C di ruang tamu dan 0,36 °C di kamar tidur, kemudian pada sore hari mampu menurunkan suhu sebesar 0,04 °C di ruang tamu dan 0,5 °C di kamar tidur, kemudian pada sore hari mampu menurunkan suhu sebesar 0,02 °C di ruang tamu dan 0,28 °C di kamar tidur.

Penggunaan *overhang* sesuai SBV pada jendela kamar tidur juga berhasil menurunkan suhu ruang dalam meskipun tidak signifikan, terutama pada ruang tamu yang tidak berhubungan langsung dengan *overhang*. Modifikasi *overhang* pada jendela utara dengan lebar 1,44 m dengan jarak 0,3 m ke atas dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,12 °C. Modifikasi *overhang* pada jendela utara dengan lebar 0,5 m dengan jarak 0,15 m ke samping dari jendela berhasil menurunkan suhu hingga 0,04 °C.

Keseluruhan modifikasi pada unit hunian dari segi desain jendela, orientasi jendela, dan *overhang* jendela menunjukkan bahwa modifikasi desain jendela yang

telah dilakukan hanya mampu menurunkan suhu hingga 0,3 °C, sedangkan pengubahan orientasi dari barat ke utara mampu menurunkan suhu hingga 0,5 °C dan penggunaan overhang jendela sesuai SBV mampu menurunkan suhu hingga 0,12 °C. Penggunaan orientasi jendela yang tepat dapat menurunkan suhu lebih baik dibandingkan pendekatan pada desain jendela dan *overhang* jendela.

Suhu yang berhasil diturunkan masih belum mampu mencapai kondisi suhu nyaman Surabaya. Hal ini memang sulit dilakukan pada kondisi iklim tropis, terutama pada iklim Kota Surabaya yang panas. Penerapan pendinginan alami yang cocok pada iklim tropis adalah penggunaan ventilasi yang memberikan penyegaran ke dalam bangunan meskipun suhu dalam ruangan masih panas. Kenyamanan ventilasi pada unit hunian Rusunawa Grudo berhasil dicapai melalui modifikasi jendela hingga menghasilkan kecepatan angin ruang dalam sebesar 0,78 m/s. Kecepatan angin ini lah yang dibutuhkan untuk kenyamanan ventilasi pada suhu bangunan sebesar 31,72 °C dan kelembaban sebesar 40%.

5.2 Saran

Hasil penelitian yang telah dilakukan ini memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan. Kekurangan tersebut dapat menjadi saran untuk diperbaiki dan kelebihan tersebut dapat dijadikan saran untuk dapat diterapkan manfaatnya. Berikut ini adalah beberapa saran yang diberikan kepada masing-masing pihak terkait kelebihan dan kekurangan dalam penelitian.

1. Pihak akademisi

Berikut ini adalah saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

- Hasil simulasi yang diberikan menggunakan program simulasi lainnya mungkin dapat berbeda dengan hasil yang diberikan pada penelitian ini. Simulasi untuk menurunkan suhu pada bangunan dapat dilakukan menggunakan simulasi CFD lainnya, seperti TRNSYS.
- Simulasi menggunakan geometri skala satu ruangan tidak dapat mensimulasikan secara tepat pada modifikasi orientasi karena skala *wind tunnel* yang terlalu kecil. Penggunaan geometri skala satu bangunan dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut mengenai modifikasi orientasi.

- Pendekatan pendinginan alami selain melalui jendela juga dapat diterapkan melalui pendekatan material selubung bangunan yang sesuai dengan kondisi iklim setempat.
- Simulasi orientasi jendela dan pembayang jendela dapat lebih akurat apabila dapat disimulasikan menggunakan data suhu terpanas dalam setahun.

2. Pihak pemerintah

Berikut ini adalah saran yang dapat diberikan untuk pihak pemerintah.

- Perancangan rusunawa di Indonesia sebaiknya mulai mempertimbangkan orientasi bangunan sebagai kriteria desain bangunan rusunawa untuk mengurangi penggunaan energi pendinginan pada bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan orientasi yang tepat lebih berpengaruh dibandingkan pendekatan desain jendela dan pembayang.
- Konsep rusunawa hemat energi juga dapat menjadi solusi bagi pemerintah atas masalah peningkatan penggunaan energi pada bangunan dan tingginya suhu di dalam rusunawa yang dibangun setelah tahun 2008.



DAFTAR PUSTAKA

- Alfata, M. N. F., Hirata, N., Kubota, T., Nugroho, A. M., Uno, T., Antaryama, I. G. N., & Ekasiwi, S. N. 2015. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Apartments in Surabaya, Indonesia. *Procedia Engineering*. 121: 459-467.
- Ardiyanto, Antonius & Darmawan, A. M. S. 2008. *Ilmu Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Badan Pusat Statistik Surabaya. 2015. Kota Surabaya dalam Angka 2015. Surabaya: Badan Pusat Statistik Surabaya. <http://surabaya.go.id/berita/20223-informasi-data-pokok-kota-surabaya-tahun-2015>. (diakses 20 April 2017).
- Badan Pusat Statistik Jakarta. 2015. Jakarta dalam Angka 2015. Jakarta: Badan Pusat Statistik Jakarta. https://jakarta.bps.go.id/backend/pdf_publicasi/Jakarta-Dalam-Angka-2015.pdf. (diakses 20 April 2017).
- Badan Pusat Statistik Yogyakarta. 2015. Yogyakarta dalam Angka 2015. Yogyakarta: Badan Pusat Statistik Yogyakarta. https://yogyakarta.bps.go.id/website/pdf_publicasi/Daerah-Istimewa-Yogyakarta-Dalam-Angka-2015.pdf. (diakses 20 April 2017).
- Badan Pusat Statistik Semarang. 2016. Semarang dalam Angka 2016. Semarang: Badan Pusat Statistik Semarang. https://semarangkota.bps.go.id/website/pdf_publicasi/Kota_Semarang_dlm_Angka_2016.pdf. (diakses 20 April 2017).
- Brager, G.S. & de Dear, R. 2000. A standard for natural ventilation. *ASHRAE journal*. 42(10): 21.
- Chen, Q. (2009). Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *Building and environment*. 44(4): 848-858.
- Daryanto, D. & Utama, S. 2012. Jendela Hemat Energi pada Fasade Rumah Susun di Jakarta. *Jurnal ComTech*. 3(01).
- Dinas PU Cipta Karya dan Tata Ruang. 2015. Rencana Kerja Program dan Kegiatan Tahun 2016. Dinas PU Cipta Karya dan Tata Ruang.
- Frick, Heinz & Mulyani, Tri. 2006. *Arsitektur Ekologis: Seri eko-arsitektur 2*. Yogyakarta: Kanisius.
- Indrani, H.C. 2010. Kinerja Ventilasi Pada Hunian Rumah Susun Dupak Bangunrejo Surabaya. *Dimensi Interior*. 6(1): 9.
- Kamal, M.A. 2012. *An overview of passive cooling techniques in buildings: design concepts and architectural interventions*. *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture*. 55(1): 84-97.

Keonil, Nuchnapang, and Nopadon Sahachaisaeree. 2012. *Architectural Design towards Energi Optimization: A Case of Residential Buildings in Bangkok. Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 42: 284-290.

Koenigsberger, Otto H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A., Szokolay, S.V. 1974. *Manual of Tropical Housing and. Building, Part 1 : Climatic Design*. London: Longman Group Limited.

Lechner, Norbert. 2015. *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects*. New Jersey: John wiley & sons.

Lee, J. W., Jung, H. J., Park, J. Y., Lee, J. B., & Yoon, Y. (2013). Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. *Renewable energy*. 50: 522-531.

Lippsmeier, G. 1997. *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga

Mediastika, Christina E. 2002. Desain Jendela Bangunan Domestik untuk Mencapai “Cooling Ventilation”. *Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur*. 30 (1).

Menteri Negara Perumahan Rakyat. 2007. Peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat Nomor: 14/PERMEN/M/2007 tentang Pengelolaan Rumah Susun Sederhana.

Menteri Pekerjaan Umum. 1992. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 60/PRT/1992 tentang Persyaratan Teknis Pembangunan Rumah Susun.

Nugroho, A.M., Ahmad, M.H. and Ossen, D.R. 2007. A preliminary study of thermal comfort in Malaysia' s single storey terraced houses. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 6(1): 175-182.

Padmanabhan Nayar, Priyanka. 2012. *Improving thermal comfort in residential spaces in the wet tropical climate zones of India using passive cooling techniques: A study using computational design methods*. University of Southern California.

Perumnas. <http://www.perumnas.co.id/rusunawa/>. (diakses 20 April 2017)

Prianto, E., & P. Depecker. 2003. *Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach*. *Energi and buildings*. 35(3): 273-280.

Satwiko, Prasato. 2004. *Fisika Bangunan 1*. Yogyakarta: Andi

Soegijanto. 1999. *Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi – Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

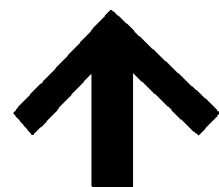
Szokolay, Steven V. 2014, *Introduction to Architectural Science the Basic of Sustainable Design*. Oxford: Routledge.

LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

Gambar Kerja Rusunawa Grudo Surabaya



LEGENDA	
(A)	RUSUNAWA GRUDO
(B)	GEDUNG BNN
(C)	GEDUNG DINAS PEMADAM KEBAKARAN
(D)	POS SATPAM
(E)	PARKIR
(F)	R. PANEL

SITE PLAN

SKALA 1:750



Jurusan Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

SKRIPSI

Laboratorium Sains dan
Teknologi Bangunan

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT, Ph.D

Nama Mahasiswa

Aisyah Adzkia Yuliwarto

NIM

135060500111042

Judul Gambar

Siteplan

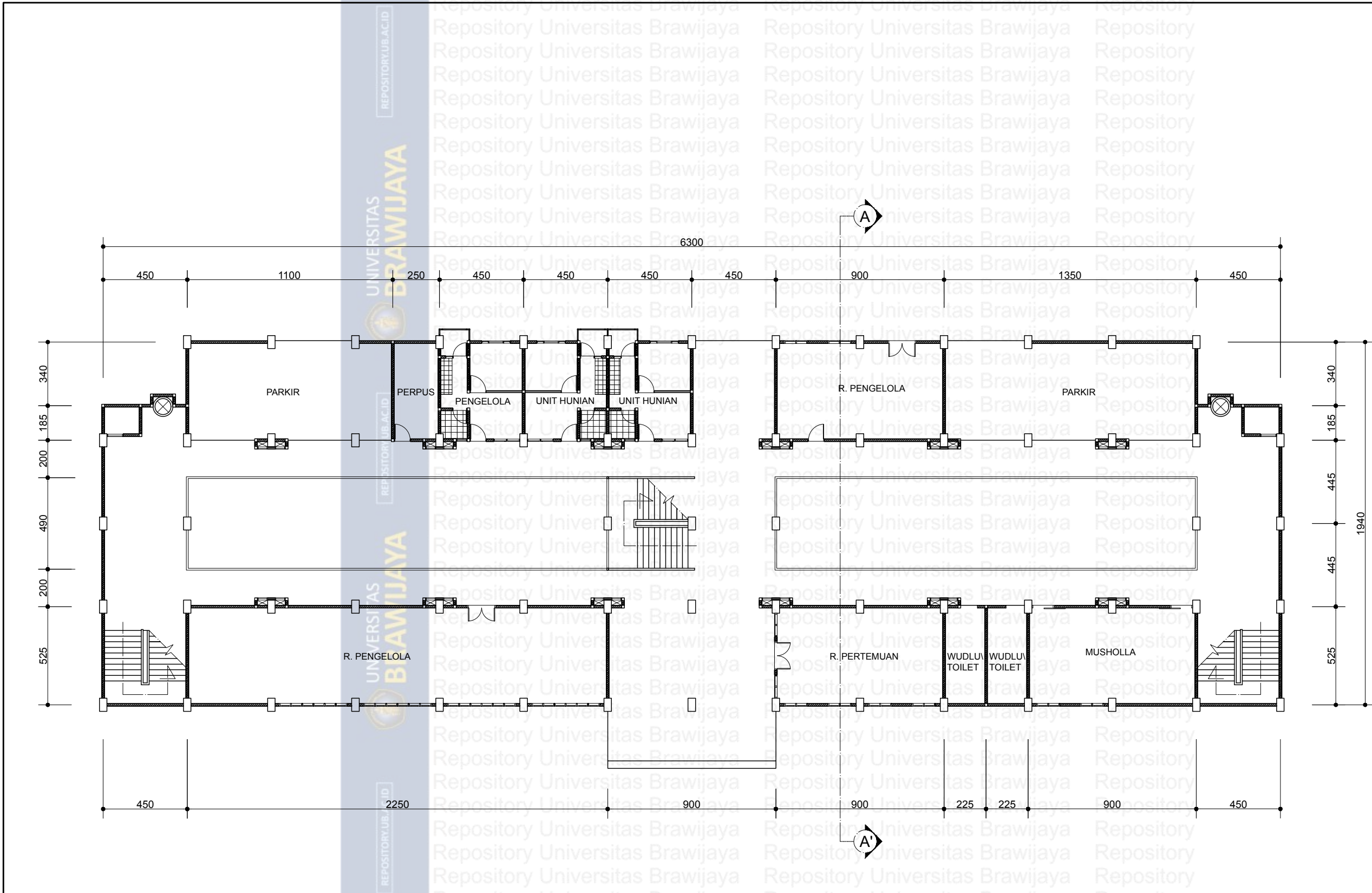
Skala	No. Gambar
1:750	01

Nama Bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya

Lokasi Bangunan

Jalan Grudo V/2, Kec. Tegalsari
Kota Surabaya



DENAH LANTAI 1

SKALA 1:200



Jurusan Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

SKRIPSI

Laboratorium Sains dan
Teknologi Bangunan

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT, Ph.D

Nama Mahasiswa

Aisyah Adzkia Yuliwarto

NIM

135060500111042

Judul Gambar

Denah Lt.1

Skala

No. Gambar

1:200

02

Nama Bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya

Lokasi Bangunan

Jalan Grudo V/2, Kec. Tegalsari
Kota Surabaya



Jurusan Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

SKRIPSI

Laboratorium Sains dan
Teknologi Bangunan

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT, Ph.D

Nama Mahasiswa

Aisyah Adzkia Yuliwanto

NIM

135060500111042

Judul Gambar

Denah Tipikal Lt.2-5

Skala	No. Gambar
-------	------------

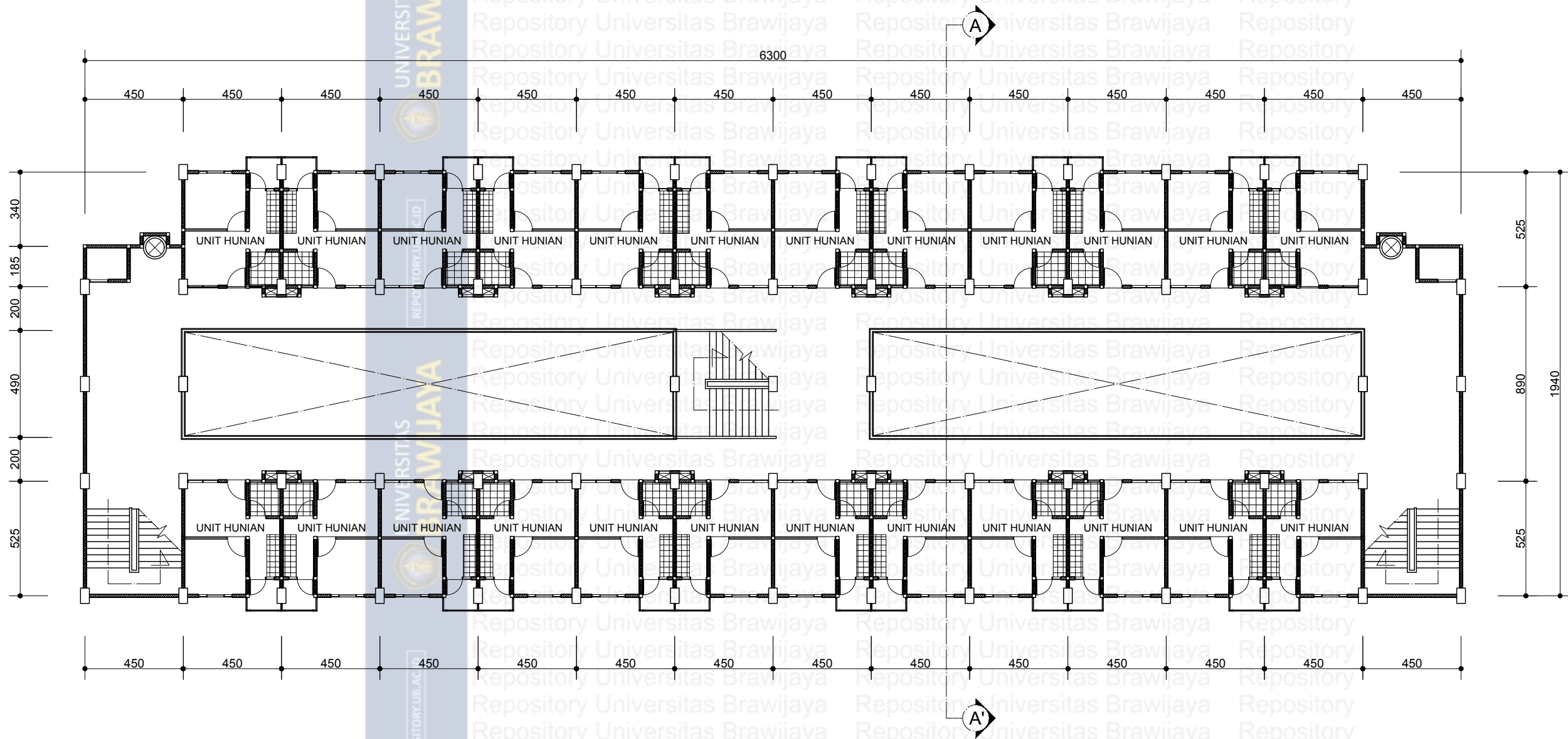
1:200	03
-------	----

Nama Bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya

Lokasi Bangunan

Jalan Grudo V/2, Kec. Tegalsari
Kota Surabaya



DENAH TIPIKAL LANTAI 2-5

SKALA 1:200



Jurusan Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

SKRIPSI

Laboratorium Sains dan
Teknologi Bangunan

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT, Ph.D

Nama Mahasiswa

Aisyah Adzkia Yuliwanto

NIM

135060500111042

Judul Gambar

Potongan A-A

Skala

No. Gambar

1:100

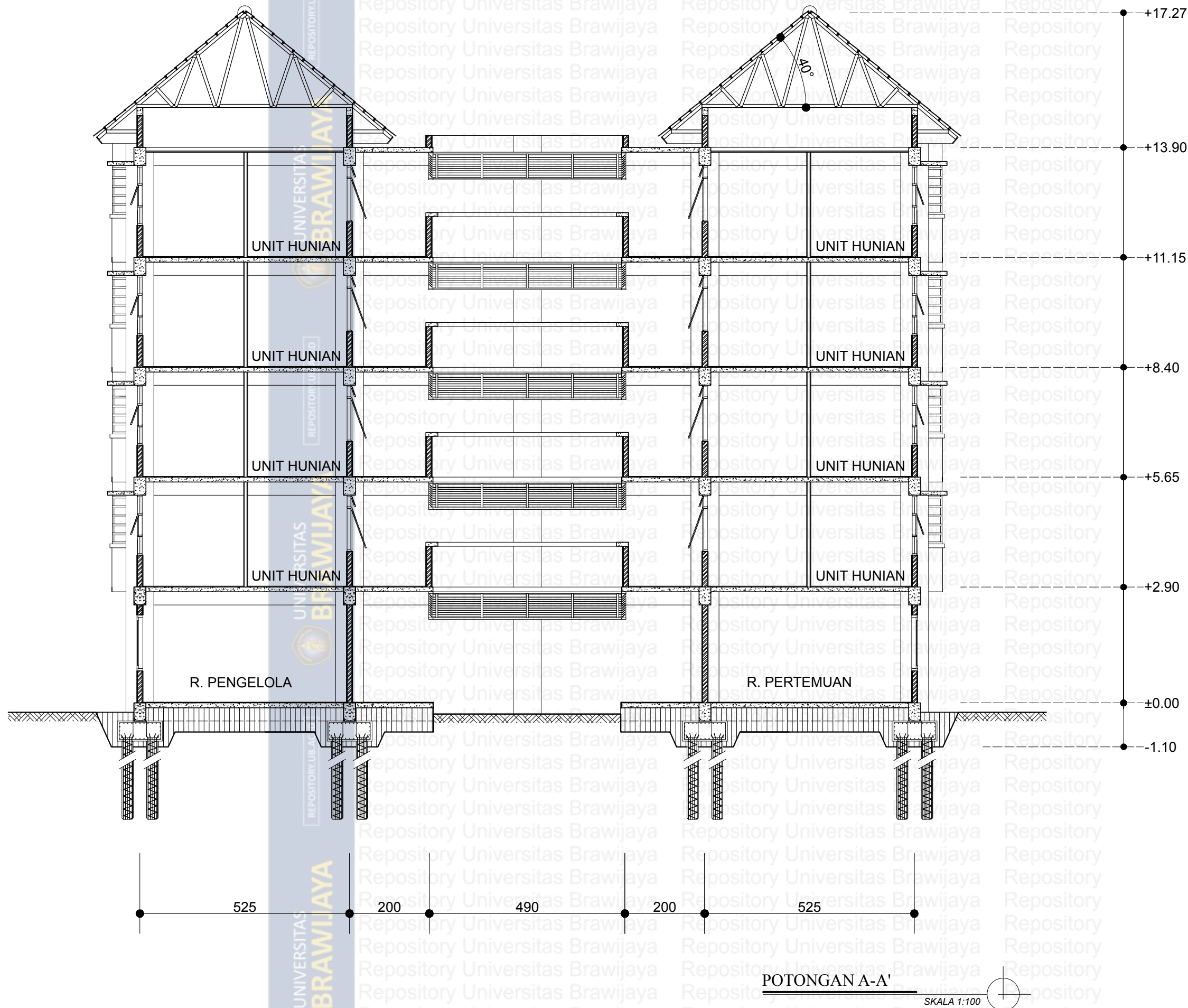
04

Nama Bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya

Lokasi Bangunan

Jalan Grudo V/2, Kec. Tegalsari
Kota Surabaya





TAMPAK BARAT

SKALA 1:200



Jurusan Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

SKRIPSI

Laboratorium Sains dan
Teknologi Bangunan

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT, Ph.D

Nama Mahasiswa

Aisyah Adzkia Yuliwanto

NIM

135060500111042

Judul Gambar

Tampak Barat

Skala

1:200

No. Gambar

05

Nama Bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya

Lokasi Bangunan

Jalan Grudo V/2, Kec. Tegalsari
Kota Surabaya



TAMPAK TIMUR

SKALA 1:200



Jurusan Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

SKRIPSI

Laboratorium Sains dan
Teknologi Bangunan

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT, Ph.D

Nama Mahasiswa

Aisyah Adzkia Yuliwanto

Nama Mahasiswa

135060500111042

Judul Gambar

Tampak Timur

Skala

1:200

No. Gambar

06

Nama Bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya

Lokasi Bangunan

Jalan Grudo V/2, Kec. Tegalsari
Kota Surabaya



Jurusan Arsitektur
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

SKRIPSI

Laboratorium Sains dan
Teknologi Bangunan

Dosen Pembimbing

Agung Murti Nugroho, ST., MT, Ph.D

Nama Mahasiswa

Aisyah Adzkia Yuliwarto

Nama Mahasiswa

135060500111042

Judul Gambar

Tampak Selatan & Utara

Skala	No. Gambar
1:200	02

Nama Bangunan

Rusunawa Grudo Surabaya

Lokasi Bangunan

Jalan Grudo V/2, Kec. Tegalsari
Kota Surabaya



TAMPAK SELATAN

SKALA 1:200



TAMPAK UTARA

SKALA 1:200

