

**KINERJA PENERAPAN MODEL JENDELA ADAPTIF
PADA BANGUNAN RUMAH TINGGAL SEDERHANA
DI MALANG**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
Erdwiansa Rachmad
NIM. 0510650027-65

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN ARSITEKTUR
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

**KINERJA PENERAPAN MODEL JENDELA ADAPTIF
PADA BANGUNAN RUMAH TINGGAL SEDERHANA
DI MALANG**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
Erdwiansa Rachmad
NIM. 0510650027-65

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Agung Murti N., ST. MT., Ph.D
NIP. 19740915 200012 1 002

Dosen Pembimbing II

Tito Haripradianto, ST. MT
NIP. 19761013 200501 1 003

LEMBAR PENGESAHAN
KINERJA PENERAPAN MODEL JENDELA ADAPTIF
PADA BANGUNAN RUMAH TINGGAL SEDERHANA
DI MALANG

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

ERDWIANSYA RACHMAD
NIM. 0510650027-65

Telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 1 Agustus 2013
oleh :

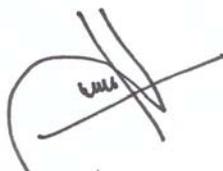
Dosen Penguji I


Beta Suryokusumo, ST., MT
NIP. 19671217 200112 1 001

Dosen Penguji II


Ir. Damayanti Asikin, MT
NIP. 1968 1028 1998 02 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Arsitektur


Agung Murti N., ST., MT., Ph.D
NIP. 19740915 200012 1 002

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya yang tersebut di bawah ini, mahasiswa Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya :

Nama : Erdwiansa Rachmad
NIM : 0510650027
Judul skripsi : **KINERJA PENERAPAN MODEL JENDELA
ADAPTIF PADA BANGUNAN RUMAH TINGGAL
SEDERHANA DI MALANG**

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam hasil karya skripsi saya, baik berupa naskah maupun gambar, tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya skripsi yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, serta 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 terjadi di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dan gelar sarjana teknik yang telah diperoleh dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 September 2013

Erdwiansa Rachmad
NIM. 0510650027-65

Tembusan :

1. Kepala Laboratorium Dokumentasi dan Tugas Akhir
2. Dosen Pembimbing skripsi yang bersangkutan
3. Dosen Penasehat Akademik yang bersangkutan

RINGKASAN

Erdwiansa Rachmad, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, *Kinerja Penerapan Model Jendela Adaptif Pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Di Malang*, Dosen Pembimbing: **Agung Murti Nugroho, ST. MT. Ph.D** dan **Tito Haripradianto, ST. MT.**

Permasalahan yang terjadi pada bangunan rumah tinggal sederhana dengan kondisi tipe jendela yang ada terkadang tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan kenyamanan termal. Adanya studi terdahulu terkait pengembangan jendela perumahan di Kota Malang menghasilkan suatu model bukaan, yaitu Jendela Adaptif. Oleh karena itu sangatlah perlu suatu penelitian untuk mengkaji kinerja penerapan Jendela Adaptif pada bangunan rumah tinggal sederhana. Hal ini terkait kondisi dan perbandingan termal pada rumah yang memakai Jendela Adaptif dengan yang tidak memakai Jendela Adaptif (Jendela Non-Adaptif) dan rekomendasi yang dapat diberikan terkait dari hasil penelitian terdahulu.

Obyek bangunan yang diambil adalah rumah tipe 40 di Perumahan Griya Saxofone, Malang, yang merupakan tipikal model rumah sehat dengan lahan terbatas. Penelitian dilakukan pada rumah Griya Saxofone 40 dan Griya Saxofone 42. Mengingat rumah ini merupakan rumah yang tipikal, jadi pengukuran perbandingan dapat dilakukan. Pengukuran dilakukan pada masing-masing ruang kamar tidur yang terhubung langsung dengan area *outdoor*. Data-data penelitian yang telah terkumpul tersebut, kemudian dianalisa dengan menggunakan metode perbandingan antara Jendela Non-Adaptif dengan Jendela Adaptif yang dilakukan dengan cara manual. Hal ini dilakukan guna mendapatkan hasil untuk memecahkan permasalahan. Sedangkan data sekunder menjadi dasar analisa dan pendukung penelitian.

Dari hasil yang ditunjukkan secara keseluruhan, kinerja Jendela Adaptif bisa dikatakan dapat mendekati kenyamanan termal, khususnya pada musim kemarau. Secara keseluruhan dapat menurunkan kelembaban dan suhu. Selain itu, kinerja Jendela Adaptif juga dapat mempertahankan kelembaban dan suhu dari pergerakan perubahan kelembaban dan suhu yang ekstrim.

Kata kunci : Kinerja Penerapan, Kenyamanan Termal, Jendela Adaptif

SUMMARY

Erdwiansa Rachmad, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Brawijaya of University, *Application Performance of Adaptive Window Model In Simple House Building In Malang*, Faculty Mentors : **Agung Murti Nugroho, ST. MT. Ph.D** and **Tito Haripriyanto, ST. MT.**

Problems that occur in residential simple house buildings with existing window type is often not sufficient of thermal comfort. The existence of previous research related development of residential windows in Malang to produce a window model, namely Adaptive Window. Therefore, it is need a necessary study to assess performance of the application of adaptive window in residential simple house. It is related the thermal comfort and comparisons on taking house with Adaptive Window with do not use Adaptive Window (Non-Adaptive Window) and related recommendations can be given of the results to previous research.

Object is type 40 of house building in Griya Saxofone, Malang, which is typical model of healthy house with limited space. The research was conducted at the Griya Saxofone Griya Saxofone 40 and 42. The comparison measurement can be performed because this house is a typical house. Measurements were taken at each of the bedroom that is connected directly to the outdoor area. Research data that has been collected, and then analyzed by using manually comparison of method between Non-Adaptive Window to Adaptive Window. The order to get the results to solve the problem. While the secondary data analysis and research support.

The results, the performance of Adaptive Window can approach of thermal comfort, especially in dry season. Can reduce the overall humidity and temperature. The performance of Adaptive Window also maintain humidity and temperature from extremes movement in humidity and temperature.

Keywords : Application Performance, Thermal Comfort, Adaptive Window

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayat-Nya serta Ridho-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Kinerja Penerapan Model Jendela Adaptif Pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Di Malang”.

Dalam penyelesaian skripsi ini tentunya tidak akan memberikan hasil baik apabila tidak ada bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Saya tidak lupa menyampaikan rasa hormat dan mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama,
2. Tito Haripradianto, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Pendamping,
3. Beta Suryokusumo, ST., MT selaku Dosen Penguji dan Dosen Penasehat Akademik,
4. Ir. Damayanti Asikin, MT selaku Dosen Penguji,
5. Ir. Rinawati P. H, MT selaku Kepala Lab. Dokumentasi & Tugas Akhir,
6. Bpk. Luminto Pitono selaku pengelola Lab. Dokumentasi & Tugas Akhir,

Dengan segala keterbatasan sebagai Manusia, saya menyadari banyaknya kekurangan ataupun kesalahan. Oleh karena itu saya sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan untuk selanjutnya.

Harapannya dengan penulisan ini akan mampu memberikan guna bagi yang membacanya.

Terimakasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb

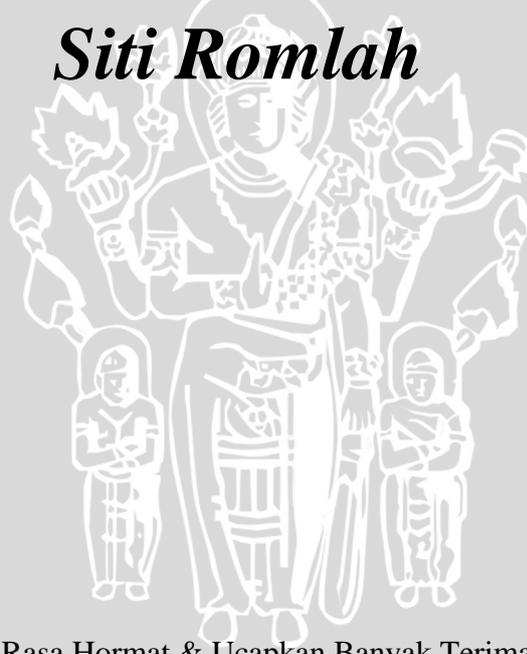
Malang, September 2013

Erdwiansa Rachmad

*Puja & Puji Syukur Pada :
Allah SWT, Rosulullah SAW, Khalifah, Malaikat dan Umat-Nya*

Skripsi Ini Saya Persembahkan Kepada :

Siti Romlah



Saya Sampaikan Rasa Hormat & Ucapan Banyak Terima kasih Pada :

Agung Murti Nugroho, ST, MT, Ph.D | Tito Haripradianto, ST, MT

Beta Suryokusumo, ST, MT | Ir. Damayanti Asikin, MT | Ir. Rinawati P. H, MT

Bpk. Luminto Pitono | Keluarga Besar Arsitektur UB

Ir. Bambang Yatnawijaya S | Ir. Chairil Budiarto Amiuza, MSA | Ir. Agus Budiman | Prof. Dr. Eka
Afnan Truna, SE | Ir. As'ad Munawir, MT | Ir. Ussy Andawayanti, MS | Kwardiniya
Andawaningtyas, S.Si, M.Si | Ahmad Farid Nazarudin, ST., MT. | dr. Erianto Fanani | Ekromi
Fraida Stalasa | *Bin Yasin & Bin Rofi'e* | Keluarga Besar Erdwiansa "MEMED" Rachmad
Arsitektur UB 2005' | HomeBand Brawijaya | Simple_Prod | Graha Eksotika_Prod

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Persetujuan	ii
Lembar Pengesahan	iii
Surat Pernyataan Orisinalitas Skripsi	iv
Ringkasan	v
Summary	vi
Kata Pengantar	vii
Lembar Persembahan	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah dan Batasan Masalah	3
1.2.1 Identifikasi Masalah	3
1.2.2 Batasan Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	5
1.5 Kebaharuan Penelitian	5
1.6 Sistematika Penelitian	5
1.7 Kerangka Pemikiran	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Iklim Tropis Lembab	8
2.1.1 Suhu dan Kelembaban	8
2.1.2 Tinjauan Iklim Kota Malang	8
2.1.3 Suhu Kota Malang	9

2.2 Tinjauan Kenyamanan Thermal	14
2.2.1 Kenyamanan Thermal di Indonesia	15
2.2.2 Tinjauan Mengenai Iklim Tropis Lembab Indonesia	15
2.3 Penghawaan Alami	16
2.3.1 Single Sided Ventilation	18
2.3.2 Cross Ventilation	18
2.3.3 Faktor Pendukung Penghawaan Alami	19
2.4 Tinjauan Perumahan Sederhana	22
2.4.1 Klasifikasi Perumahan Sederhana	22
2.4.2 Kenyamanan Thermal Rumah Sederhana	23
2.5 Studi Terdahulu	23
2.6 Kontribusi Penelitian	26
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Fokus Penelitian	27
3.2 Obyek Penelitian	27
3.2.1 Obyek Bangunan	27
3.2.2 Jendela Non-Adaptif	30
3.2.3 Jendela Adaptif	31
3.3 Tahapan Penelitian	33
3.3.1 Pengumpulan Data	33
3.3.2 Analisa Data	34
3.4 Metode Penelitian	34
3.4.1 Pengukuran Lapangan	34
3.4.2 Simulasi Model	37
3.4.3 Analisa Simulasi Model	38
3.5 Pengukur Alat Thermal	40
3.6 Kerangka Metode Penelitian	42
3.7 Kerangka Pemikiran	43

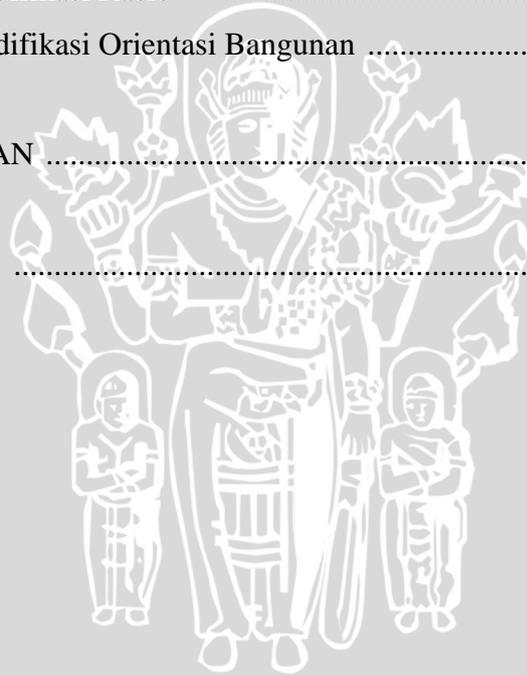
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Umum lokasi Penelitian	44
4.1.1 Kota Malang	44
4.1.2 Obyek Bangunan	46
4.1.3 Obyek Penelitian	47
4.2 Kondisi Thermal Musim Kemarau	49
4.2.1 Pengukuran Lapangan Outdoor	50
4.2.2 Pengukuran Lapangan Jendela Non-Adaptif	54
4.2.3 Pengukuran Lapangan Jendela Adaptif	56
4.3 Perbandingan	58
4.4 Simulasi Analisa Komputer	61
4.4.1 Modifikasi Rasio	65
4.4.2 Modifikasi Orientasi Bangunan	72

BAB V KESIMPULAN	82
-------------------------------	----

DAFTAR PUSTAKA	84
-----------------------------	----

LAMPIRAN	
-----------------	--



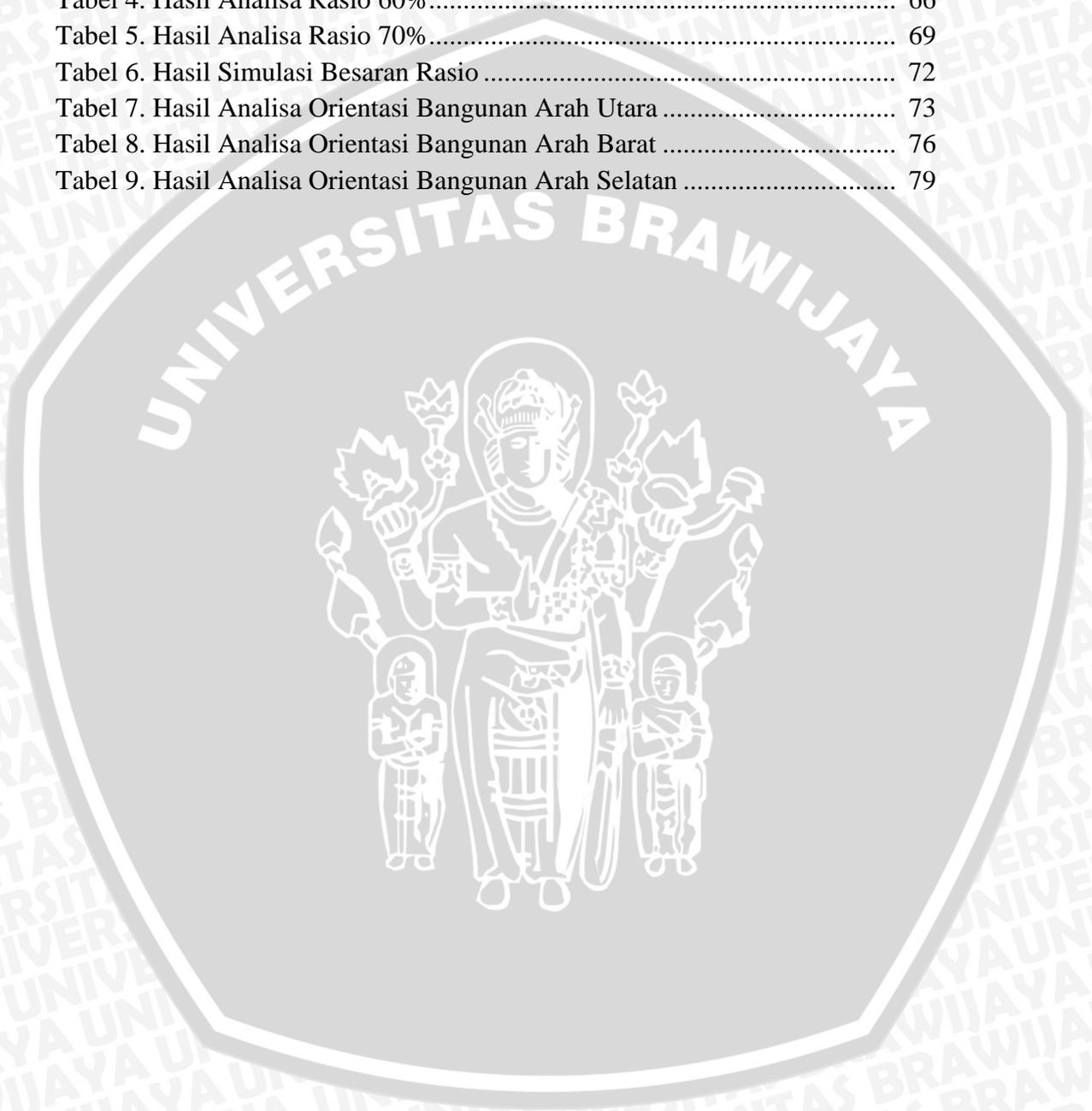
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Garis Edar Matahari Di Malang, Indonesia 2009 (Valid Sampai Dengan 2013)	9
Gambar 2. Suhu Netral Sesuai Data Iklim Malang Tahun 2004-2009	13
Gambar 3. Sistem Single-Sided Ventilation	18
Gambar 4. Sistem Cross Ventilation	19
Gambar 5. Lubang Outlet Yang Sejajar Dengan Lubang Inlet Dan Berada Di Bagian Atas	20
Gambar 6. Pola Aliran Udara Dengan Menggunakan Louvre Pada Sudut 30 ⁰	21
Gambar 7. Lay Out Perumahan Griya Saxofone	27
Gambar 8. Lay Out Perumahan Griya Saxofone 42, Jendela Non-Adaptif ...	28
Gambar 9. Denah Rumah Griya Saxofone 40, Jendela Adaptif	29
Gambar 10. Perbandingan Denah Rumah Griya Saxofone 40 Dengan Rumah Griya Saxofone 42	29
Gambar 11. Jendela Non-Adaptif Dengan Posisi Daun Jendela Terbuka	30
Gambar 12. Rasio Jendela Non-Adaptif Sebesar 22,5%	31
Gambar 13. Jendela Adaptif Dengan Posisi Kisi Terbuka 45 ⁰	32
Gambar 14. Rasio Jendela Adaptif Sebesar 50%	32
Gambar 15. Titik Pengukuran Thermal Griya Saxofone No 42, Jendela Non-Adaptif	35
Gambar 16. Titik Pengukuran Thermal Griya Saxofone No 40, Jendela Adaptif	35
Gambar 17. Proses Pengolahan Data Pada Piranti Lunak Microsoft Excel	36
Gambar 18. Tampilan Ecotect Analysis 2011	37
Gambar 19. Proses <i>Input</i> Hasil Pengukuran Lapangan	39
Gambar 20. Alat Pengukur; Hobo U10-003 Temp, & Rh Usb Logger	40
Gambar 21. Spesifikasi Hobo U10-003 Temp, & Rh Usb Logger	41
Gambar 22. Peta Kota Malang	44
Gambar 23. Perbandingan Awal Musim Kemarau 2013 Terhadap Rata-rata Zona Musim Jawa Timur	45
Gambar 24. Site Lokasi Obyek Bangunan Penelitian	46
Gambar 25. Lay Out Perumahan Griya Saxofone	47
Gambar 26. Obyek Jendela Adaptif	47
Gambar 27. Titik Pengukuran Jendela Adaptif	48
Gambar 28. Titik Pengukuran Jendela Non-Adaptif	48
Gambar 29. Griya Saxofone No 42	49
Gambar 30. Foto Titik Pengukuran Thermal Outdoor	51
Gambar 31. Titik Pengukuran Thermal Outdoor Griya Saxofone No 42	51
Gambar 32. Kelembaban Udara Outdoor Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	52

Gambar 33. Suhu Udara Outdoor Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	53
Gambar 34. Kelembaban Udara Jendela Non-Adaptif Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	54
Gambar 35. Suhu Udara Jendela Non-Adaptif Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	55
Gambar 36. Kelembaban Udara Jendela Adaptif Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	56
Gambar 37. Suhu Udara Jendela Adaptif Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	57
Gambar 38. Perbandingan Kelembaban Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	58
Gambar 39. Perbandingan Suhu Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013	59
Gambar 40. Pemodelan Rumah Dalam Ecotect Analysis 2011	61
Gambar 41. Proses <i>Input</i> Hasil Pengukuran Lapangan	62
Gambar 42. Hasil Analisa Simulasi Ecotect Analysis 2011	63
Gambar 43. Pemodelan Rumah Rasio 60%	63
Gambar 44. Pemodelan Rumah Rasio 70%	64
Gambar 45. Gambar Jendela Adaptif Dengan Rasio Menjadi 60%	67
Gambar 46. Perbandingan Jendela Adaptif Rasio 50% Dengan Rasio 60% ..	67
Gambar 47. Gambar Jendela Adaptif Dengan Rasio Menjadi 70%	70
Gambar 48. Perbandingan Jendela Adaptif Rasio 50% Dengan Rasio 70% ..	70
Gambar 49. Perbandingan Jendela Adaptif Rasio 50% Dengan Rasioa 60% dan Dengan Rasio 70%	72
Gambar 50. Pemodelan Orientasai Utara	74
Gambar 51. Perbandingan Orientasai Timur Dengan Utara	74
Gambar 52. Pemodelan Orientasai Barat	77
Gambar 53. Perbandingan Orientasai Timur Dengan Barat	77
Gambar 54. Pemodelan Orientasai Selatan	80
Gambar 55. Perbandingan Orientasai Timur Dengan Selatan	80
Gambar 56. Perbandingan Orientasai Semua Arah	81

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kontribusi Penelitian	26
Tabel 2. Hasil Pengukuran Kelembaban	60
Tabel 3. Hasil Pengukuran Suhu	60
Tabel 4. Hasil Analisa Rasio 60%.....	66
Tabel 5. Hasil Analisa Rasio 70%.....	69
Tabel 6. Hasil Simulasi Besaran Rasio	72
Tabel 7. Hasil Analisa Orientasi Bangunan Arah Utara	73
Tabel 8. Hasil Analisa Orientasi Bangunan Arah Barat	76
Tabel 9. Hasil Analisa Orientasi Bangunan Arah Selatan	79



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan di iklim panas dan lembab seperti di Indonesia adalah suhu yang tinggi dan rendahnya kecepatan angin. Pemecahan yang mudah dan efektif adalah dengan menggunakan penghawaan buatan. Hal ini tentunya akan menyebabkan pemborosan energi. Bangunan rumah tinggal satu lantai merupakan salah satu contoh bangunan yang memerlukan pendinginan alami. Elemen bukaan jendela merupakan pilihan utama dalam menunjang kenyamanan termal bangunan (Bansal, 1994). Bukaan jendela berperan dalam proses pendinginan alami dengan membuang panas dalam bangunan melalui udara yang bergerak. Pada iklim panas dan lembab, desain bangunan seharusnya memaksimalkan penghawaan alami dan meminimalkan panas matahari yang masuk dalam bangunan untuk mengurangi energi pendinginan buatan (Khedari, 1997). Pergerakan udara yang mengenai tubuh manusia akan memberi sensasi sejuk apabila kecepatan angin lebih dari 0.25 m/detik (Khedari, 2000). Desain bangunan pada kawasan perkotaan yang padat dengan bukaan jendela konvensional tidak mampu memberi strategi penghawaan alami yang baik. Kondisi tipe jendela kadang tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan kecepatan angin dalam ruang dengan ventilasi silang. Sehingga diperlukan strategi penghawaan alami yang mampu meningkatkan kecepatan angin dalam ruang melalui penerapan jendela adaptif.

Kenyamanan termal manusia dalam ruang dipengaruhi oleh faktor aspek manusia (kapasitas pengguna), aspek fisik (ruang dan jendela) dan aspek lingkungan (aliran udara). Semakin besar kapasitas pengguna maka semakin banyak panas yang terkumpul. Hal ini mempengaruhi kenyamanan termal secara keseluruhan dalam ruang. Aspek ruang dan jendela mencakup dimensi ruang, posisi serta ukuran jendela bangunan. Pada dimensi ruang yang lebih besar maka kenyamanan termal akan lebih mudah diatasi (efektifitas pembuangan panas tubuh akan lebih mudah dilakukan pada ruang yang lebih besar dengan kapasitas yang sama). Pada posisi dan lebar jendela yang sesuai dengan ketinggian area aktifitas pengguna maka aliran udara yang masuk dalam ruang tepat mengenai tubuh

manusia. Pada kondisi ini pembuangan panas terutama efek sensasi sejuk akan lebih efektif dibanding posisi jendela yang tidak sejajar. Aspek lingkungan terutama aspek variasi kecepatan aliran udara mempengaruhi perilaku perpindahan panas. Aliran udara yang merata dan berpola lurus akan lebih efektif dalam pembuangan panas tubuh. Pertambahan kecepatan aliran udara mengakibatkan pembuangan panas yang semakin cepat. Hal yang perlu diperhatikan adalah variasi kecepatan yang menerpa tubuh manusia. Pada kondisi dimana kecepatan aliran udara secara tetap menerpa tubuh manusia dapat mengakibatkan efek yang tidak nyaman bagi kesehatan tubuh manusia (Nugroho, 2002).

Kajian tentang pengembangan prinsip desain jendela dilakukan dengan melakukan pengukuran lapangan pada obyek rumah nyata. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan dengan tipe jendela yang di rancang berdasar prinsip penghawaan alami menghasilkan kondisi nyaman dalam bangunan. Indikasi utama adalah suhu dalam bangunan sama dengan suhu di luar bangunan. Namun demikian kondisi ini tidak menjamin kenyamanan termal dalam bangunan sepanjang hari. Sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk tipe jendela yang mampu menurunkan suhu dalam bangunan di siang hari.

Pemahaman menyeluruh tentang perilaku aliran udara dalam ruang diperlukan dalam rangka mengoptimalkan peran aliran udara. Peran aliran udara adalah menjaga kesegaran, penghematan energi serta menunjang kenyamanan termal dalam bangunan. Salah satu elemen arsitektur yang berpengaruh terhadap perilaku aliran udara dalam ruang adalah elemen jendela bangunan. Perencanaan jendela bangunan umumnya kurang memperhatikan faktor perilaku aliran udara (pola aliran dan kecepatan) yang sesuai dengan kenyamanan ventilasi. Ringkasan aspek yang mempengaruhi meliputi: posisi dan dimensi ruang, besar jendela *inlet* dan *outlet* tunggal, ketinggian jendela *inlet* dan *outlet* tunggal, tipe jendela bertumpuk serta tipe sirip. Aspek tersebut didasarkan pada uji simulasi aliran udara dengan CFD terhadap variasi yang mungkin dari dimensi model bukaan 0.25, 0.5 dan 1 meter serta model ruang 3x6, 3x9 dan 3x12 m pada arah potongan. Berdasarkan analisa hasil dapat disusun grafik kecenderungan yang dapat digunakan sebagai alat prediksi perilaku aliran udara pada ukuran bukaan dan

ruang yang berbeda. Alat prediksi yang dibuat berbentuk matrik pembuatan model pengembangan. Matrik model mencakup variasi dimensi potongan ruang dan bukaan serta beberapa tipe jendela dan sirip. Penerapan matrik pembuatan model jendela diharapkan mampu menjadi pertimbangan serta memberi kemudahan dalam perancangan desain bangunan pada umumnya serta aspek jendela pada khususnya (Nugroho, 2002).

Kajian kinerja tipe jendela di Malang telah dilakukan oleh Nugroho tahun 2002 sampai 2009 menemukan kombinasi jendela dan peneduh dapat memaksimalkan kecepatan angin serta kenyamanan termal dalam ruang. Kajian elemen jendela tanggap iklim di Kota Malang dilakukan dengan mengambil contoh bangunan kolonial. Hasil kajian dengan metode pengamatan visual menunjukkan bahwa penggunaan peneduh serta ukuran jendela merupakan elemen jendela yang paling tanggap iklim (Nugroho, 2008). Berdasarkan studi pendahuluan ini maka diperlukan kajian lanjutan yang lebih spesifik terutama untuk mengukur kinerja termal hasil penerapan jendela pintar.

Jendela Adaptif adalah penghawaan alami dengan desain menangkap angin. Jendela ini merupakan hasil penelitian Nugroho (2009) yang menggunakan prinsip aerodinamika. Aspek aerodinamika ini juga digunakan oleh peneliti di bidang ventilasi (Bansal, 1994; Alfonso, 2000). Dasar acuan rancang bangun Jendela Adaptif mengacu pada kinerja terbaik dalam memaksimalkan kecepatan angin dan meminimalkan suhu dalam ruang untuk mencapai kenyamanan termal di Indonesia.

1.2 Identifikasi dan Batasan Masalah

1.2.1 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang terjadi pada bangunan rumah tinggal sederhana dengan kondisi tipe jendela yang ada terkadang tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan kenyamanan termal. Dengan adanya studi pendahuluan terkait pengembangan jendela perumahan di Kota Malang menghasilkan suatu model bukaan, yaitu Jendela Adaptif. Oleh karena itu sangatlah perlu suatu penelitian untuk mengkaji kinerja penerapan Jendela Adaptif pada bangunan rumah tinggal sederhana.

Untuk mencapai hal tersebut terdapat permasalahan yang harus dikaji secara detil, yaitu :

Kinerja penerapan model Jendela Adaptif pada bangunan rumah tinggal sederhana.

1.2.2 Batasan Masalah

Tahap kinerja penerapan hasil penelitian sebelumnya, terutama tentang Jendela Adaptif oleh Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D. Pembahasan ini fokus pada pengukuran lapangan kinerja termal pada kasus rumah tinggal sederhana yang telah memakai Jendela Adaptif dengan rumah tinggal sederhana yang tidak memakai Jendela Adaptif (Jendela Non-Adaptif). Penelitian dilakukan secara observasi dan pengukuran langsung, dan rekomendasi desain dilakukan secara eksperimen dalam waktu terpanas musim kemarau, yaitu bulan Februari hingga April pada tahun 2013.

Hasil rekomendasi desain tidak lepas dari keterbatasan yang dimiliki oleh perangkat simulasi desain.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun upaya-upaya permasalahan yang harus dipecahkan adalah:

- a. Bagaimana kondisi termal pada rumah yang memakai Jendela Adaptif ?
- b. Bagaimana perbandingan kinerja termal rumah yang memakai Jendela Adaptif dengan yang tidak memakai Jendela Adaptif (Jendela Non-Adaptif) ?
- c. Adakah rekomendasi yang dapat diberikan terkait dari hasil penelitian ?

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Hasil penelitian kinerja termal pada rumah yang memakai Jendela Adaptif dengan rumah yang tidak memakai Jendela Adaptif (Jendela Non-Adaptif) merupakan dalam upaya meningkatkan kenyamanan suhu dan penghematan energi. Sedangkan teknologi Jendela Adaptif pada pengembangan selanjutnya dapat diterapkan pada bangunan lain guna menurunkan suhu udara di dalam ruang. Sehingga dapat menurunkan beban pendinginan bangunan baik pada bangunan yang menggunakan atau tidak menggunakan penghawaan buatan.

1.5 Kebaharuan Penelitian

Kebaharuan penelitian ini adalah menghasilkan penilaian penerapan Jendela Adaptif yang dapat dikembangkan bagi masyarakat pada rumah tinggalnya untuk memperoleh kenyamanan suhu yang nyaman dan sehat (bebas polusi) secara mudah (biaya operasional rendah dan teknologi penerapan sederhana). Desain Jendela Adaptif nantinya akan terus disempurnakan sesuai dengan hasil evaluasi purna huni.

Bagi ilmu arsitektur, penelitian ini akan memperkaya ilmu sains bangunan tropis lembab karena juga didekati dengan konsep-konsep arsitektur yang benar (proporsi, estetik). Sistem Jendela Adaptif ini dikembangkan untuk bekerja sepenuhnya dari energi alam (matahari). Maka, hal ini akan ikut menghemat energi serta melestarikan lingkungan hidup.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan laporan skripsi dalam Kinerja Penerapan Model Jendela Adaptif Pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Di Malang yaitu:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, identifikasi dan batasan masalah, rumusan masalah, tujuan dan kegunaan penulisan yang hendak dicapai serta sistematika penulisannya.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan terhadap hal-hal yang berkaitan dengan proses penelitian Kinerja Penerapan Model Jendela Adaptif Pada

Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Di Malang.

BAB III : METODE KAJIAN

Bab ini berisi tentang metode yang akan digunakan dalam memecahkan suatu permasalahan dan merupakan cara kerja mulai dari awal penelitian sampai hasil akhir yang akan dicapai dalam Kinerja Penerapan Model Jendela Adaptif Pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Di Malang.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

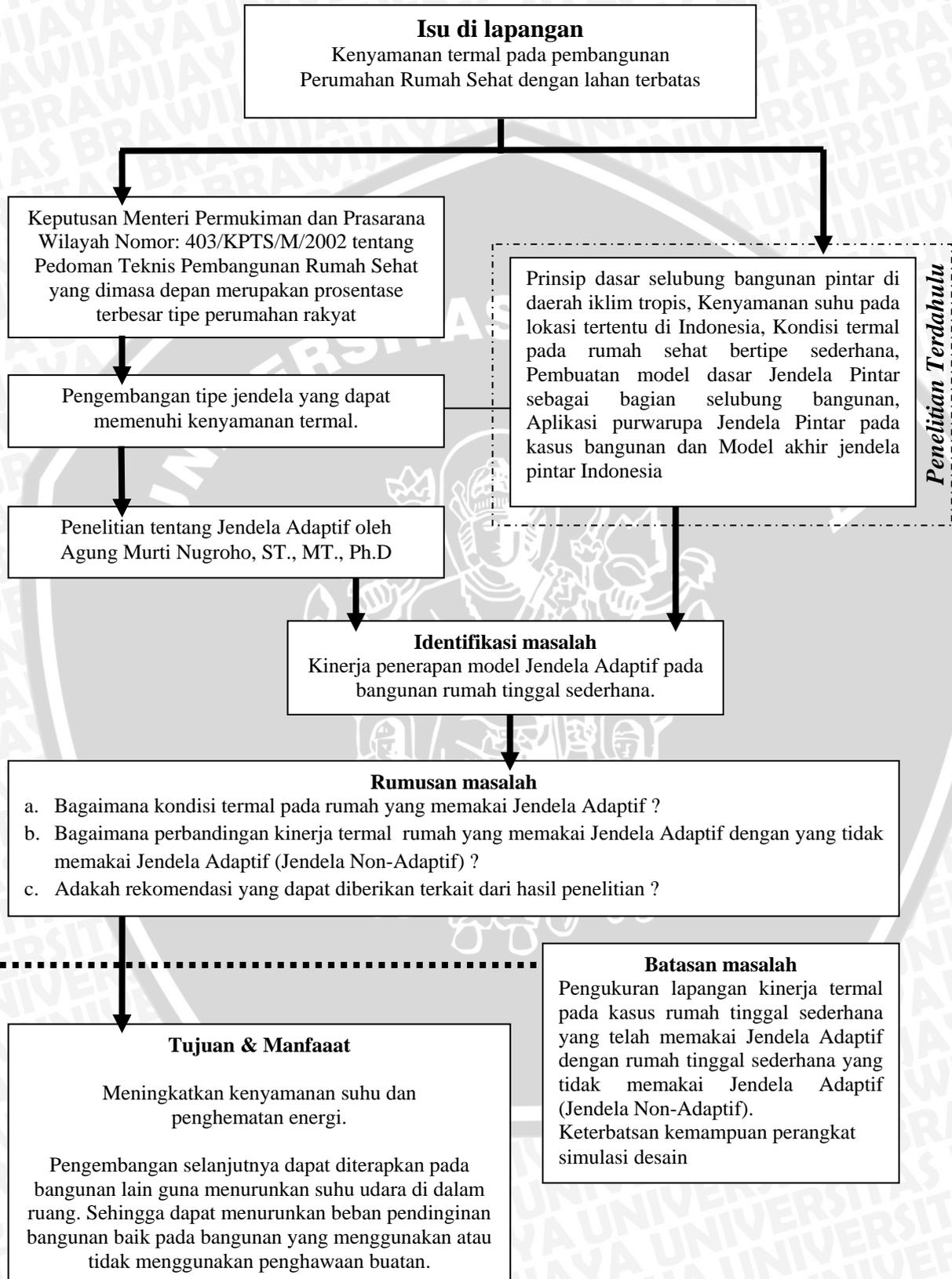
Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan dan memecahkan permasalahan-permasalahan Kinerja Penerapan Model Jendela Adaptif Pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Di Malang.

BAB V : KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari Kinerja Penerapan Model Jendela Adaptif Pada Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Di Malang.



1.7 Kerangka Penelitian



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Iklim Tropis Lembab

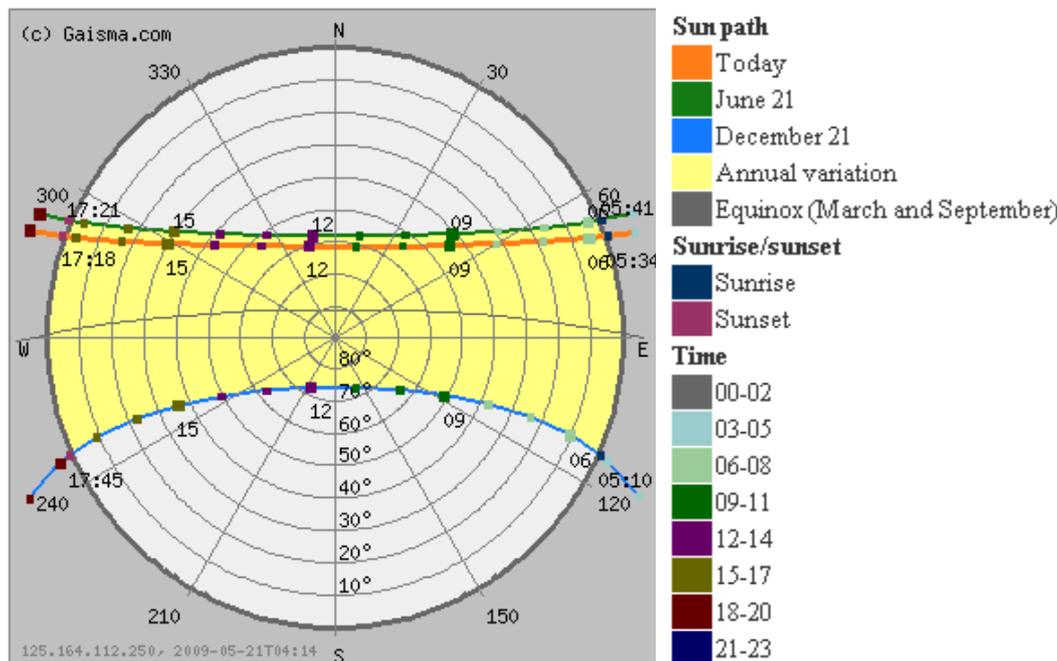
2.1.1 Suhu dan Kelembaban

Kelembaban adalah konsentrasi uap air di udara. Angka konsentrasi ini dapat diekspresikan dalam kelembaban absolut, kelembaban spesifik atau kelembaban relatif. Perubahan tekanan sebagian uap air di udara berhubungan dengan perubahan suhu. Konsentrasi air di udara pada tingkat permukaan laut dapat mencapai 3 % pada 30 °C, dan tidak melebihi 0.5 % pada 0 °C. Bradshaw, (1993) menyatakan bahwa suhu merupakan ukuran terhadap derajat intensitas panas. Di daerah khatulistiwa, rentang suhu tahunan sangat kecil dan berkisar antara 2⁰C–3⁰C. Suhu harian memiliki rentang 5⁰C–8⁰C di daerah pantai dan 8⁰C–12⁰C di daratan (Dewi, 2008),.

Kelembaban udara penting, karena mempengaruhi kecepatan kehilangan panas dari tubuh. Kelembaban dapat menjadi kontrol dari evaporasi kehilangan panas melalui kulit dan saluran pernafasan. Pada saat kelembaban tinggi, evaporasi terjadi secara lambat, kehilangan panas terbatas dan dengan demikian mempengaruhi keseimbangan termal manusia.

2.1.2 Tinjauan Iklim Kota Malang

Kota Malang terletak pada 07°46'48" - 08°46'42" LS dan 112°31'42" - 112°48'48" BT dengan ketinggian 440-667 meter dpl. Curah hujan rata-rata tiap tahun 1.833 mm, dan kelembaban udara rata-rata 72%. kondisi lingkungan yang panas berlangsung di siang hari, mulai di atas pukul 09.00 sampai pukul 16.00. Karakteristik utama site Kota Malang dari segi pencahayaan adalah site terletak di daerah tropis yang selalu mendapatkan sinar matahari dalam setahun, kecuali pada musim penghujan.



Gambar 1. Diagram garis edar matahari di Malang, Indonesia 2009 (Valid Sampai Dengan 2013)

(Sumber: <http://www.gaisma.com/en/location/malang.html>)

Diperlukan pemakaian shading pada bukaan-bukaan untuk mereduksi radiasi matahari langsung. Bangunan pada sisi timur-barat mendapat penyinaran yang lebih bervariasi daripada bangunan di sisi utara-selatan yang mendapat kondisi penyinaran sama setiap hari. Adanya sudut datang matahari yang bervariasi disesuaikan dengan pergerakan matahari.

2.1.3 Suhu Kota Malang

Nicol dalam Nugroho (2009) mengemukakan bahwa kenyamanan Suhu bergantung pada suhu udara ruang luarnya, serta hubungan antara suhu nyaman (T_c) dan suhu udara ruang luar (T_o) adalah sangat stabil. Berikut beberapa pengertian tentang kenyamanan suhu.

2.1.3.1 Suhu Nyaman

Suhu udara nyaman di dalam ruang telah dideskripsikan oleh Standar Internasional (ISO) 7730 (ISO 7730, 1994) dan ASHRAE 55-1992 yang tidak memperhitungkan variasi iklim dan perilaku adaptif manusia. Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa analisis pada penelitian di lapangan mengenai kenyamanan termal menunjukkan bahwa suhu udara nyaman dalam ruang bergantung pada suhu udara rata-rata ruang luar (Nugroho, 2009). Humphreys (1978) dalam Nugroho (2009) menemukan bahwa suhu udara nyaman dapat diperoleh dari nilai tengah suhu udara ruang luar dengan persamaan berikut,

$$T_c = 0,534 T_o + 11,9$$

dengan:

T_c = suhu udara nyaman

T_o = suhu udara ruang luar

Auliciems (1981, 1983) dalam Nugroho (2009) memperbaiki persamaan Humphreys dengan menghapus beberapa elemen penelitian tersebut di atas dan menambah lebih banyak informasi dari penelitian lain. Perbaikan ini menambah data menjadi 53 penelitian di lapangan dalam zona iklim yang beragam, mewakili banyak negara dan lebih banyak jenis iklim. Setelah mengkombinasikan data untuk bangunan dengan ventilasi alami dan bangunan dengan pengkondisian udara, hasil analisis mengarah pada persamaan yang menggunakan suhu udara luar (T_o) dan suhu udara dalam (T_i), yang menghasilkan persamaan :

$$T_c = 0,48 T_i + 0,14 T_o + 9,22$$

dengan :

T_c = suhu udara nyaman

T_i = suhu udara ruang dalam

T_o = suhu udara ruang luar

Auliciems (1986) dalam Nugroho (2009) juga mengajukan sebuah rekomendasi untuk semua bangunan yang menyelubungi fasadnya dengan

ventisai alami serta bangunan dengan pengkondisian udara. Hubungan tersebut ditunjukkan dengan persamaan :

$$T_c = 0,3 T_o + 17,6$$

dengan :

T_c = suhu udara nyaman

T_o = suhu udara ruang luar

Nicol (1996) dalam Nugroho (2009) melakukan beberapa penelitian dalam kondisi iklim yang berbeda. Pada penelitian yang pertama di Pakistan, ia membuat sebuah hubungan antara suhu udara nyaman dan suhu udara luar yang ditunjukkan oleh persamaan :

$$T_c = 0,38 T_o + 18,5$$

dengan :

T_c = suhu udara nyaman

T_o = suhu udara ruang luar

Hubungan tersebut menunjukkan dengan jelas bahwa suhu udara nyaman berhubungan dengan dan dengan iklim tentunya. Perbedaan antara hubungan-hubungan tersebut menunjukkan bahwa tidak ada suhu udara nyaman yang universal. Setiap komunitas harus mempunyai persepsi sendiri-sendiri terhadap kenyamanan termal sesuai dengan iklim, kebiasaan lokal dan jenis bangunannya.

2.1.3.2 Suhu Udara Netral

Nikolopououa (2005) dalam Nugroho (2009) menuliskan cara lain yang menarik untuk menguji sensasi termal melalui penggunaan suhu udara netral. Yaitu kondisi termal netral dimana manusia tidak merasa panas maupun dingin. Pernyataan ini diungkapkan pertama kali oleh Humphreys (1975) dalam Nugroho (2009), saat ia menunjukkan bahwa variasi dari suhu udara netral terkait dengan variasi dari suhu udara rata-rata. Nicol dan Humphreys (1973) dalam Nugroho (2009) menunjukkan hasil dari penelitian di lapangan yang dilakukan di UK

(Inggris Raya), India, Irak dan Singapura. Hasilnya memperlihatkan bahwa kenyamanan rata-rata yang dirasakan pada suhu 24,9°C. Catatan bahwa suhu udara di atas 30°C sangatlah tidak nyaman dalam beberapa kasus. Penelitian Humphreys (1975) dalam Nugroho (2009) yang selanjutnya menunjukkan bahwa suhu udara yang dirasa nyaman oleh manusia adalah sangat berhubungan dengan suhu udara rata-rata yang dirasakannya. Dengan kata lain manusia menemukan cara untuk membuat diri mereka merasa nyaman pada kondisi yang sudah biasa mereka alami. Penelitian terbaru yang dilakukan oleh Humphreys dan Nicol (2000) dalam Nugroho (2009) dengan menggunakan data yang dikumpulkan oleh de Dear dan Brager (1998) dalam Nugroho (2009) menunjukkan bahwa pengambilan data yang berbeda-beda dalam menghitung suhu udara nyaman, sangatlah sesuai dengan penemuan yang terbaru. ini. Hubungan tersebut memungkinkan bangunan untuk dapat memprediksi suhu udara yang akan menciptakan kenyamanan dengan menghitung suhu udara luar rata-rata setiap bulannya yang diberikan oleh badan meteorologi.

2.1.3.3 Suhu Netral Untuk Indonesia

Terdapat empat faktor yang dapat dikombinasikan secara bersamaan untuk menghasilkan suhu udara netral yang beragam bagi individu yaitu, lingkungan termal, tingkat aktifitas, insulasi, termal dari cara berpakaian dan keadaan psikologis dari individu (Cahyani, 2010).

Cahyani (2010) mengatakan bahwa range suhu udara netral dewasanya berkisar antara 17°C hingga 30°C derajat. Namun perlu disimpulkan bahwa penyesuaian diri juga memiliki dampak terhadap suhu udara yang dibutuhkan untuk netralitas termal. Szokolay (1979) merekomendasikan penggunaan dari *Annual Mean Temperature* (AMT) atau suhu udara, rata-rata tiap bulan untuk digunakan pada persamaan :

$$T_n = 17,6 + 0,31 \times T_{amt}$$

dengan:

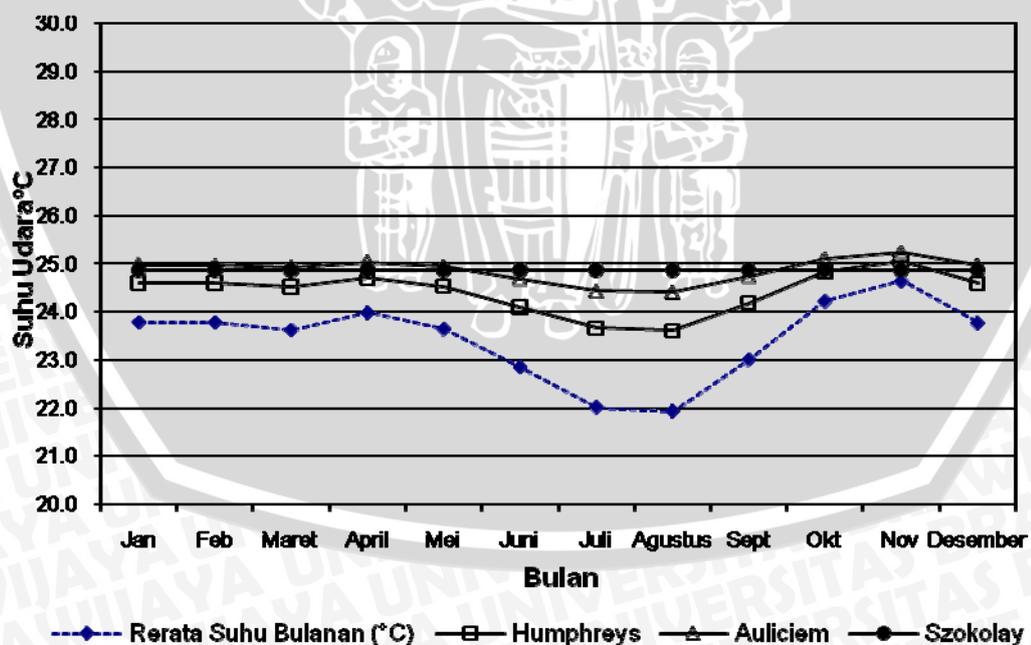
$$T_n = \text{jarak suhu udara netral dengan } \pm 2^{\circ}\text{K}$$

T_{amt} = suhu udara rata-rata tiap bulan

Perbandingan zona kenyamanan di atas dilakukan dengan menggunakan data iklim Indonesia. Ini akan memberikan sebuah gambaran umum mengenai range zona kenyamanan di Indonesia. Menurut Szokolay (1977) dalam Nugroho (2009), dengan range zona kenyamanan sebesar 5°C , suhu udara kenyamanan termal dapat berkisar sebesar $2,5^{\circ}\text{C}$ di atas dan di bawah suhu udara .

2.1.3.4 Suhu Netral Untuk Kota Malang

Nugroho (2009) menggunakan persamaan di atas dan rerata suhu udara tahunan perbulan dari data iklim untuk data cuaca BMKG Malang. Dengan range zona kenyamanan sebesar 5°C , suhu untuk kenyamanan termal dapat meluas sekitar $2,5^{\circ}\text{C}$ di atas dan di bawah suhu netral. Dengan mengambil $24,9^{\circ}\text{C}$ sebagai suhu netral pada bangunan, didapatkan $26,4^{\circ}\text{C}$ sebagai batas atas zona nyaman.



Gambar 2. Suhu Netral Sesuai Data Iklim Malang Tahun 2004-2009
(sumber : Nugroho, 2009)

2.2 Tinjauan Kenyamanan Termal

Menurut Peter Hoppe (2002) terdapat tiga pemaknaan kenyamanan termal, yaitu pendekatan *thermophysiological*, pendekatan *heat balance*, dan pendekatan psikologis. Kenyamanan termal sebagai proses *thermophysiological* menganggap bahwa nyaman dan tidaknya lingkungan termal akan tergantung pada menyala dan matinya signal syarat reseptor termal yang terdapat di kulit dan otak. Pada pendekatan *heat balance* (keseimbangan panas) nyaman termal dicapai bila aliran panas ke dan dari badan manusia seimbang dan temperatur kulit serta tingkat berkeringat badan ada dalam range nyaman. Pada pendekatan psikologis kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya.

Berdasarkan tiga pemaknaan tersebut, kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai kondisi pikir manusia yang merespon kondisi kenyamanan termal lingkungan, dengan menggunakan elemen penginderaan dapat dirasakan terkait nyaman atau tidaknya lingkungan termal tersebut. Kenyamanan termal bagi setiap orang memiliki persepsi yang berbeda-beda, tergantung dari kondisi suhu tubuh dan lingkungan dimana seseorang berada.

Standar kenyamanan suhu dari *International Standart* (Amin, 2004) menyatakan bahwa sensasi manusia terhadap suhu merupakan pengaruh dari empat faktor iklim yaitu : temperatur udara, kelembaban udara, radiasi, dan kecepatan udara. Serta dua faktor individu/personal yaitu tingkat kegiatan yang dilakukan berkaitan dengan metabolisme tubuh dan pakaian yang dikenakan.

Standar Amerika dan Standar Internasional yang hampir seluruhnya diilhami oleh pemikiran Fanger dengan teori keseimbangan panas (*the heat balance model*) atau model statis (*static model*). Teori Fanger menyimpulkan bahwa:

- a) Tidak ada perbedaan penting dalam persepsi kenyamanan seseorang dalam kaitan dengan letak geografis atau musim (termasuk daerah tropis),
- b) Tidak ada perbedaan penting dalam kaitan dengan umur seseorang (misalnya, seseorang yang lebih tua mempunyai tingkat metabolisme yang lebih rendah berkenaan tingkat penetralan pengeluaran keringat),

- c) Tidak ada perbedaan penting dalam kaitan dengan jenis kelamin,
- d) Tidak ada perbedaan penting dalam kaitan dengan olah tubuh,
- e) Tidak ada perbedaan penting dalam kaitan dengan asal kesukuan.

2.2.1 Kenyamanan Termal di Indonesia

Beberapa penelitian kenyamanan termal yang pernah dilakukan di Indonesia di antaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Mom dan Wiesebron antara tahun 1936 hingga 1940 di Bandung, tepatnya di Technische Hoogeschool (sekarang Institut Teknologi Bandung, ITB). Penelitian tersebut melibatkan tiga kelompok etnis sebagai responden: Etnis Eropa, Tionghoa, dan Indonesia Asli (pribumi). Dari penelitian ini diperoleh rentang suhu nyaman untuk responden Indonesia adalah antara 24°C hingga 28°C suhu udara dengan kelembaban sekitar 70%.

Beberapa penelitian lain juga dilakukan di Yogyakarta oleh Henry Feriadi dari Teknik Arsitektur Universitas Duta Wacana dan Sugini dari Teknik Arsitektur UII terhadap sejumlah responden di kawasan pemukiman di kota tersebut. Penelitian kenyamanan termal lain dilakukan oleh Tri Harso Karyono pada tahun 1993 di Jakarta melibatkan 596 responden karyawan dan karyawan yang bekerja di tujuh bangunan kantor menghasilkan suhu nyaman responden, yakni $26,4^{\circ}\text{C}$ suhu udara dengan deviasi sekitar 2°C .

Penelitian kenyamanan termal di Bandung tahun 2005 memperlihatkan bahwa responden merasa nyaman pada suhu udara yang tidak jauh berbeda dengan suhu udara luar rata-rata bulanan. Temuan ini mengindikasikan bahwa dengan perancangan arsitektur yang tepat sesuai iklim setempat, secara umum bangunan di Bandung tidak memerlukan bantuan mesin pengkondisian udara mekanis (AC) untuk memberikan kenyamanan termal kepada penggunanya.

2.2.1 Tinjauan Mengenai Iklim Tropis Lembab Indonesia

Indonesia terletak pada daerah khatulistiwa dengan garis 6°LS - 11°LU dan 95°BT - 141°BT dan sebagian besar dikelilingi oleh laut sehingga menyebabkan memiliki iklim tropis lembab. Ciri-ciri iklim tropis lembab adalah :

- a) Suhu udara rata-rata tinggi, karena matahari selalu vertikal. Umumnya suhu udara antara 25-35°C menyebabkan kelembaban tinggi,
- b) Amplitudo suhu rata-rata tahunan kecil. Di khatulistiwa antara 1-5° sedangkan amplitudo harian besar ,
- c) Tekanan udara rendah dan perubahan secara perlahan dan beraturan menyebabkan pertukaran panas kecil,
- d) Hujan banyak dan lebih banyak dari daerah lain di dunia dengan curah hujan tahunan diatas 2000mm dan maksimum 5000mm,
- e) Radiasi matahari sedang sampai kuat,
- f) Permukaan tanah didominasi oleh lansekap hijau dan tanah coklat, tanah sebagian besar lembab dan muka air tanah tinggi,
- g) Vegetasi sangat beragam jenisnya, merupakan semak belukar yang tidak dapat ditembus dengan pohon-pohon tinggi (rimba, hutan bahau),
- h) Perbedaan musim kecil. Bulan terpanas, panas dan lembab sampai basah. Bulan terdingin, panas sedang dan lembab sampai basah. Belahan utara, terdingin adalah bulan desember-januari sedangkan terpanas mei-agustus. Belahan selatan, terdingin april-juli sedangkan terpanas oktober-februari,
- i) Kondisi berawan dan berkabut sepanjang hari. Lapisan awan 60-90%.

Karakteristik tersebut menyebabkan masalah umum dan pada bangunan. Hal-hal yang dihadapi adalah panas yang tidak menyenangkan dan penguapan sedikit karena gerakan udara lambat maka perlu perlindungan terhadap radiasi matahari, hujan, serangga. Di lain pihak, perlindungan terhadap angin keras diperlukan di sekitar lautan.

Menurut Lipsmeier (1994), secara umum hal-hal yang perlu diperhatikan terhadap bangunan adalah bangunan sebaiknya terbuka dengan jarak yang cukup antara masing-masing bangunan. Orientasi utara-selatan, untuk mencegah pemanasan fasade yang lebih lebar. Lebar bangunan untuk mendapatkan ventilasi silang. Ruang sekitar bangunan diberi peneduh tanpa mengganggu sirkulasi udara.

2.3 Penghawaan Alami

Penghawaan alami merupakan salah satu faktor dalam menghasilkan kenyamanan termal bangunan. Adanya pergerakan aliran udara di dalam ruangan

bangunan dapat membantu tercapainya kondisi kenyamanan suhu yang ideal bagi manusia. Salah satu elemen penghawaan alami adalah ventilasi/jendela. Jendela memegang peranan dalam mengatur perbedaan tekanan udara di dalam dan di luar bangunan akibat adanya aliran angin.

Ventilasi alami dapat terjadi apabila infiltrasi dan/atau memungkinkan angin untuk berhembus ke dalam dan ke luar melalui jendela dan pintu yang terbuka. Pergerakan udara dapat disebabkan oleh alam atau pengkondisian bangunan karena angin menyebabkan perbedaan tekanan dan *stack effect* (efek menumpuk) yang disebabkan perbedaan gradien temperatur dalam dan luar bangunan.

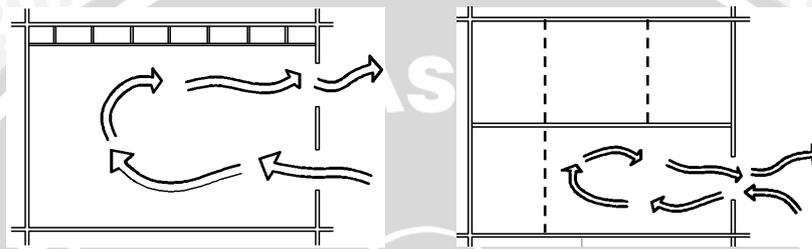
Rancangan ventilasi perlu diperhatikan dalam hubungannya dengan pola aliran angin di lingkungan sekitar. Ventilasi harus terlindung dari sinar matahari secara langsung, karena aliran udara yang masuk ke dalam bangunan melalui ventilasi akan menjadi panas oleh radiasi matahari.

Prinsip dasar dari ventilasi silang adalah posisi dan ukuran ventilasi. Aliran kecepatan udara yang mengalir ke dalam ruangan menjadi maksimal, maka lubang *outlet* dibuat lebih besar daripada lubang *inlet*. Untuk mengoptimalkan ventilasi silang, maka posisi ventilasi diletakkan berseberangan sisi dengan yang lain. Adanya perabot dan partisi ruangan juga berpengaruh terhadap gerakan angin. Sebaiknya tinggi partisi tidak mencapai langit-langit sehingga aliran angin dapat bergerak bebas dan berlanjut serta mencegah berhentinya aliran angin di dalam ruangan.

Pada daerah beriklim tropis lembab diperlukan sirkulasi udara yang berkelanjutan dan terus-menerus, karena matahari bersinar sepanjang hari dan berpotensi memanaskan aliran udara yang berhembus masuk ke dalam bangunan. Kondisi kenyamanan termal juga dipengaruhi kecepatan aliran udara/angin. Semakin besar kecepatan udara, maka semakin besar panas yang hilang. Tetapi hal tersebut masih bergantung pada kondisi temperatur udara yang lebih rendah daripada temperatur kulit. Menurut SNI 03-6572-2001, besar nilai kecepatan bisa lebih besar dari 0,25 m/s, karena hal ini sangat tergantung dari suhu agar tingkat kenyamanan tetap terpelihara.

2.3.1 *Single Sided Ventilation*

Pada sistem ventilasi ini hanya ada satu bukaan yang dioperasikan pada satu sisi bangunan. Pada sistem *single sided*, aliran udara yang masuk ke dalam bangunan di panaskan terlebih dahulu oleh suhu ruangan, dan udara panas mengalir keluar melalui bukaan yang sama ketika aliran udara masuk ke dalam bangunan.

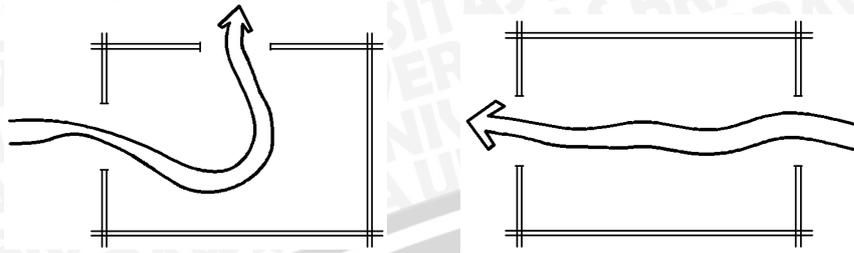


Gambar 3. Sistem *Single-Sided Ventilation*
(sumber : Kurnianda, 2009)

Sistem *single sided* dirasa kurang efektif, karena tidak terjadi pertukaran udara secara sehat. Udara hanya mengalir dan berputar pada satu sisi bagian bukaan saja, tidak terjadi aliran udara yang terus-menerus atau berkelanjutan karena udara masuk dan keluar akan melalui bukaan yang sama. Penggunaan sistem ventilasi *single side* hanya efektif pada bentang yang mencapai sekitar 2 hingga 2,5 kali tinggi plafon.

2.3.2 *Cross Ventilation*

Ventilasi silang atau penghawaan silang merupakan penghawaan berdasar angin untuk memasukkan udara dingin melalui lubang *inlet* pada dinding eksterior bangunan dan mengeluarkan udara hangat melalui lubang *outlet* pada dinding eksterior bangunan pula. *Cross ventilation* terjadi dengan adanya arus aliran masuk dan keluar yang tidak terhalang, dan dapat melewati daerah hunian (Nugroho,2007).



Gambar 4. Sistem *Cross Ventilation*
(sumber : Kurnianda, 2009)

Bentang ruang efektif untuk penggunaan sistem ventilasi silang adalah tidak lebih dari 12 meter. Bukaannya pada bangunan diletakkan pada sisi yang berhadapan dengan arah angin/*windward* dan bukaan yang lain diletakkan pada sisi lainnya/*leeward*. Sistem ventilasi silang memungkinkan terjadinya perbedaan tekanan udara yang menyebabkan timbulnya pergerakan aliran udara dari *inlet* ke *outlet*.

Menurut Nugroho, 2007, beberapa hal yang mempengaruhi penggunaan ventilasi silang adalah ukuran bukaan, peletakan/posisi bukaan, porositas, denah bangunan, dan bentang ruang.

2.3.3 Faktor Pendukung Kenyamanan Termal dengan Penghawaan Alami

Dalam mewujudkan kenyamanan termal diperlukan perancangan ventilasi yang mampu menghasilkan penghawaan alami secara optimal. Beberapa faktor yang mempengaruhi penghawaan alami dalam kenyamanan ventilasi antara lain:

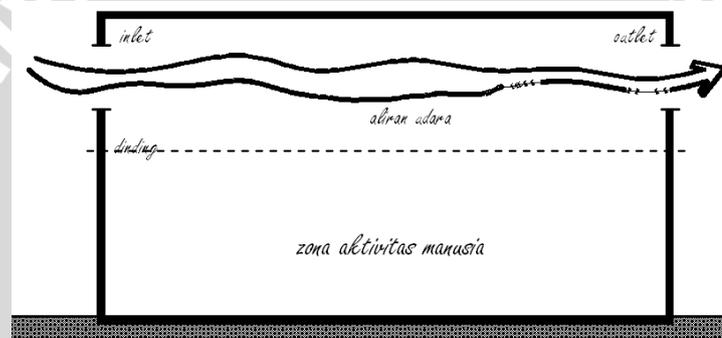
a) Ventilasi silang (*Cross Ventilation*)

Pola aliran udara/pergerakan udara di dalam ruangan akan memberikan penyegaran udara di dalam ruangan, sehingga akan terjadi proses penguapan yang menyebabkan temperatur kulit menjadi menurun. Hal tersebut mampu menghasilkan suhu netral di dalam bangunan, sehingga kenyamanan termal dapat dirasakan oleh penghuni bangunan. Sistem ventilasi silang mendukung terjadinya penyegaran udara ruangan. Pada sistem ventilasi silang, udara dingin dari luar bangunan masuk melalui lubang *inlet* dan udara hangat keluar melalui *outlet* pada dinding eksterior bangunan, sehingga terjadi pertukaran

udara sehat dari dalam ke luar bangunan. Selain itu, angin bebas bergerak melewati ruang hunian tanpa terhalang apapun.

b) Posisi bukaan ventilasi

Posisi ventilasi perlu diperhitungkan peletakkannya. Penempatan ventilasi pada dinding memberikan pengaruh kepada alur aliran udara di dalam ruangan. Apabila lubang *inlet* ventilasi diletakkan lebih tinggi dari lubang *outlet*, maka udara akan bergerak bebas di dalam ruangan tepat di bawah langit-langit/plafon. Hal ini sangat menguntungkan kondisi ruangan, karena aliran udara/hembusan angin hanya bergerak di atas daerah aktivitas manusia, sehingga pada area aktivitas manusia terjadi penyegaran udara.



Gambar 5. Lubang Outlet Yang Sejajar Dengan Lubang *Inlet* Dan Berada Di Bagian Atas
(sumber : Kurnianda, 2009)

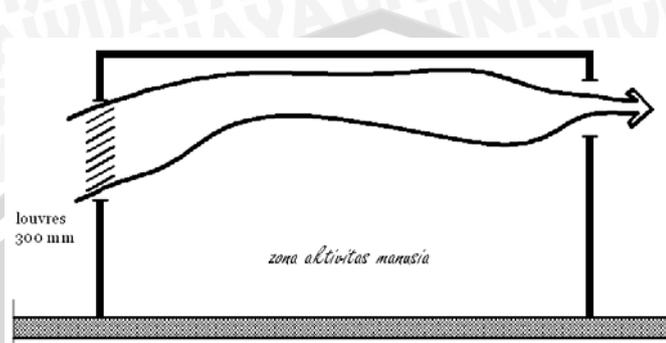
c) Ukuran bukaan ventilasi

Ukuran ventilasi memberikan pengaruh terhadap kecepatan aliran udara. Adanya ukuran lubang *outlet* ventilasi yang lebih besar daripada lubang *inlet* akan menyebabkan kecepatan aliran udara yang lebih besar.

d) Kontrol bukaan ventilasi

Pola aliran udara dapat dikontrol dengan menggunakan daun jendela. Daun jendela dapat mengalirkan udara ke atas sehingga area aktivitas manusia tidak terkena hembusan angin. Kontrol terhadap kecepatan angin juga dapat dilakukan dengan menggunakan kanopi yang diletakkan tepat di atas jendela. Tekanan udara di atas jendela menjadi terpecah dengan adanya kanopi, sehingga tekanan udara di bawah jendela akan naik ke bagian atas ruangan. Pemakaian *louvre*/kisi-kisi dengan pengaturan sudut naik mampu mengurangi

efek tekanan udara yang masuk ke dalam ruangan. Posisi kisi-kisi yang baik adalah dengan sudut naik lebih dari 30° , sehingga aliran udara bergerak naik ke bagian atas ruangan mendekati langit-langit dan tidak akan melewati area aktivitas manusia.



Gambar 6. Pola Aliran Udara Dengan Menggunakan Louvre Pada Sudut 30°
(sumber : Kurnianda, 2009)

Untuk mewujudkan penghawaan alami pada bangunan, tipe jendela juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pola aliran udara. Beberapa tipe jendela yang digunakan pada bangunan antara lain:

a) Jendela gantung

Jendela gantung memiliki arah buka ke luar maupun ke dalam bangunan. Jendela gantung terbagi atas jendela gantung atas dan jendela gantung bawah.

b) Jendela dorong

Jendela dorong dapat dibuka ke arah luar maupun ke dalam bangunan. Pemakaian jendela dorong memberikan efek penyegaran udara lebih besar karena daun jendela terbuka lebar.

c) Jendela putar

Jendela putar memiliki poros di tengah-tengah, dapat dibuka secara vertikal maupun horisontal.

d) Jendela geser

Jendela geser memiliki setengah bagian saja yang dapat terbuka, sehingga volume udara yang masuk lebih kecil apabila dibandingkan jendela putar maupun jendela dorong. Jenis jendela geser ada dua, yaitu geser vertikal dan horisontal.

e) Jalusi

Jalusi adalah jenis jendela yang memiliki daun jendela dalam jumlah banyak, dan memiliki arah buka horisontal.

f) Lubang ventilasi

Lubang ventilasi yang diletakkan pada dinding bagian atas dan dekat plafon, mampu membuang udara panas ke luar ruangan. Lubang ventilasi yang diletakkan pada dinding bagian bawah, mampu membuang udara lembab. Penggunaan lubang ventilasi secara tepat akan menghasilkan kenyamanan temperatur di dalam ruangan.

2.4 Tinjauan Perumahan Sederhana

Menurut Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor 217/KPTS/M/2002, pengertian rumah adalah salah satu kebutuhan dasar manusia disamping sandang, pangan, pendidikan dan kesehatan. Selain berfungsi sebagai pelindung terhadap gangguan cuaca dan makhluk lainnya, rumah juga memiliki peran sosial budaya dan nilai kehidupan, penyiapan generasi muda dan sebagai manifestasi jati diri. Menurut Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor 403/KPTS/M/2002, rumah sederhana adalah tempat kediaman yang layak huni dan harganya terjangkau oleh masyarakat berpenghasilan rendah dan sedang.

2.4.1 Klasifikasi Perumahan Sederhana

Menurut Peraturan Pemerintah yang dikutip dari skripsi berjudul Pondasi Rakit pada Rumah Tinggal Sederhana di Tanah berdaya Dukung Rendah, rumah sederhana terbagi dua, yaitu:

a) Keputusan Menteri Perumahan Rakyat No. 04/KPTS/BKP4N/1995, menyatakan:

Rumah sederhana adalah rumah yang tidak bersusun dengan luas lantai bangunan tidak lebih dari 70 m², yang dibangun di atas tanah dengan luas kaveling 54 m² sampai 200 m², dan biaya pembangunan per-m² tidak melebihi harga satuan per-m² tertinggi untuk pembangunan rumah dinas Cipta Karya tipe C yang berlaku. Tipe rumah sederhana meliputi rumah sederhana tipe

besar dan rumah sederhana tipe kecil. Rumah sederhana tipe besar adalah rumah dengan luas lantai bangunan 36 m^2 sampai 70 m^2 , rumah sederhana tipe kecil adalah rumah dengan luas bangunan 21 m^2 sampai dengan 36 m^2 dan sekurang-kurangnya memiliki kamar mandi dengan WC dan ruang serbaguna.

- b) Peraturan Pemerintah RI No. 36 tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan gedung, menyatakan:

Fungsi hunian sebagaimana dimaksud mempunyai fungsi utama sebagai tempat tinggal manusia yang meliputi rumah tinggal tunggal, rumah tinggal deret, rumah tinggal susun, dan rumah tinggal sementara.

Rumah tinggal ditinjau dari jenis perumahan, antara lain: rumah sederhana, rumah sangat sederhana, rumah sederhana sehat, kapling siap bangun, rumah menengah, rumah mewah, rumah susun dan apartemen.

2.4.2 Kenyamanan Termal Rumah Sederhana

Terdapat dua elemen utama bangunan yang mempengaruhi kenyamanan termal rumah sederhana, yaitu atap dan ventilasi. Atap lebih baik diletakkan pada posisi tengah daripada posisi bawah maupun atas. Ventilasi pada rumah sederhana memberikan pengaruh buruk pada malam hari. Hal itu, telah diujicobakan pada rumah sederhana tipe 45. Ventilasi memberikan efek yang baik hanya pada siang hari. Elemen desain pada rumah sederhana yang cukup berpengaruh terhadap kenyamanan termal bangunan salah satunya adalah ventilasi.

2.5 Studi Terdahulu

Penelitian ini menggunkan dasar dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nugroho pada tahun 2009 yang meneliti tentang Jendela Pintar. Model Jendela Pintar telah diujicobakan. Model terpilih ditentukan oleh besarnya pengurangan suhu dalam ruangan. Hasil yang didapatkan adalah terdapat 2 tipe model dasar pemodelan Jendela Pintar. Tipe pertama, dengan bukaan 45° menunjukkan *passive cooling* maksimum pada siang hari dan tipe kedua dengan bukaan tertutup menunjukkan *passive cooling* maksimum pada malam hari. Dari dua tipe ini dapat digunakan untuk menentukan konfigurasi Jendela Pintar yang

sesuai pada awal tahap desain. Konfigurasi model ini menjadi operasi dasar untuk model Jendela Pintar.

Terdapat 3 tipe Jendela Pintar. Yaitu Jendela Pintar Tipe Tanggap Iklim atau Manual, Jendela Pintar Tipe Optimasi atau Motorik dan Jendela Pintar Tipe Sensorik atau Otomatis.

Secara ringkas beberapa simpulan dari penelitian ini terbagi atas enam bagian utama, yaitu prinsip dasar selubung bangunan pintar di daerah tropis, kenyamanan suhu pada lokasi tertentu di Indonesia, kondisi termal pada contoh rumah sehat sederhana tipe 36, pembuatan model dasar Jendela Pintar sebagai bagian selubung bangunan, aplikasi purwarupa Jendela Pintar pada kasus bangunan dan model akhir Jendela Pintar Indonesia.

Prinsip dasar selubung bangunan pintar di daerah tropis dapat dibagi dalam tiga tahapan, yaitu kecerdasan dasar, kecerdasan menengah dan kecerdasan lanjut. Kecerdasan dasar adalah seberapa jauh selubung bangunan mampu tanggap terhadap iklim. Kecerdasan menengah adalah seberapa jauh selubung bangunan dapat mengakomodasi kebutuhan pengguna. Kecerdasan lanjut adalah seberapa jauh komponen otomatisasi selubung dapat diterapkan dalam menghadapi perubahan iklim yang dinamis.

Kenyamanan suhu di daerah tropis menurut penelitian terdahulu sangat sesuai menggunakan rumus suhu netral. Berdasarkan perhitungan suhu netral pada kasus Kota Malang maka dapat diketahui suhu nyaman adalah $24,9^{\circ}\text{C}$. Hasil perhitungan ini didasarkan pada suhu rerata kondisi iklim selama lima tahun terakhir. Batas nyaman suhu menurut Szokolay dapat ditambah pada $2,5^{\circ}\text{C}$ di atas dan bawah suhu netral sehingga batas kenyamanan suhu di Kota Malang adalah $22,4^{\circ}\text{C}$ hingga $27,4^{\circ}\text{C}$.

Kondisi termal pada contoh rumah sehat sederhana tipe 36 di perumahan joyogrand di Kota Malang didasarkan pada pengukuran perjam selama dua bulan. Hasil pengukuran menunjukkan pada siang hari suhu di dalam rumah lebih tinggi dari suhu netral diperlukan modifikasi selubung bangunan.

Pembuatan model dasar Jendela Pintar sebagai bagian utama selubung bangunan mencakup modifikasi ukuran, material dan tipe jendela. Pada tahap ini dilakukan dengan simulasi komputer yang telah divalidasi dengan pengukuran

lapangan. Beberapa hasil penting adalah rasio besar bukaan yang ideal dalam penurunan suhu adalah 50%-60% dari luasan dinding dan lantai. Material jendela yang baik digunakan adalah tipe mika. Sedangkan tipe jendela optimal adalah perpaduan kisi vertikal dan horisontal.

Hasil model dasar bangunan pintar kemudian dibuat dalam bentuk ukuran sebenarnya dan ditetapkan pada kasus bangunan. Berdasarkan pengukuran lapangan didapatkan bahwa kinerja purwarupa Jendela Pintar terbuka 45° mampu menurunkan suhu maksimal sebesar 4°C . Sedangkan purwarupa Jendela Pintar tertutup dapat manghangatkan ruang di malam hari yang masih sesuai dengan kenyamanan suhu. Hasil dari kinerja purwarupa Jendela Pintar masih dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan purwarupa Jendela Pintar dengan selubung dinding dan atap. Hasil integrasi menunjukkan adanya penurunan suhu hingga 2°C dan peningkatan kecepatan angin dalam ruang. Sehingga penelitian lanjutan di arahkan pada selubung dinding dan atap bangunan.



2.6 Kontribusi Penelitian

Tabel 1. Kontribusi Penelitian

Kontribusi	Penelitian Nugroho (2009)	Penelitian Ini
Tujuan Penelitian	Jendela Pintar sebagai sistem ventilasi alami untuk kenyamanan termal rumah tinggal di daerah tropis	Uji kinerja lapangan terhadap Jendela Pintar tipe Tanggap Iklim atau Manual di daerah tropis
Metoda	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikasi Pengaruh Selubung bangunan • Eksplorasi konfigurasi geometri • Eksplorasi perpaduan strategi ventilasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Uji kinerja Jendela Pintar • Perbandingan kinerja • Rekomendasi yang dapat diberikan
Hubungan Dengan Penelitian Selubung Pintar	Perpaduan Jendela Pintar dengan Cerobong Surya	Pengujian Jendela Pintar pada Rumah Sederhana
Waktu Penelitian	Simulasi data Iklim Kota Malang Sepanjang tahun 2004-2009	Pengukuran lapangan sepanjang Musim Kemarau 2013
Perangkat Pengujian dan Analisa	Perangkat Lunak (Ecotect 5.2)	Pengukur Kelembaban dan Suhu Udara (HOBO U10-003 Temp, RH USB Logger) dan Perangkat Lunak (Ecotect Analysis 2011)
Pengukuran	Pengukuran Simulasi : <ul style="list-style-type: none"> • Jendela Tertutup • Jendela Terbuka 45° • Jendela Terbuka 90° • Arah hadap semua arah mata angin • Modifikasi bukaan 	Pengukuran Lapangan : <ul style="list-style-type: none"> • Jendela Terbuka 45° • Arah hadap barat Pengukuran Simulasi : <ul style="list-style-type: none"> • Perbesaran Rasio • Arah hadap semua arah mata angin
Analisa	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran suhu ruang penelitian • Pengaruh rasio bukaan jendela terhadap lantai • Pengaruh material jendela • pengaruh ukuran kisi jendela • <i>Prototype</i> ang diusulkan 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran Lapangan Jendela Non-Pintar • Pungukuran Lapangan Jendela Pintar • Perbandingan Jendela Non-Pintar dengan Jendela Pintar • Simulasi bermetodekan eksperimen
Hasil	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Prototype</i> Jendela Pintar 	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja Jendela Pintar • Rekomendasi

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Fokus Penelitian

Bahan penelitian sebagai fokus dan variabel utama dalam penelitian ini adalah aplikasi Jendela Adaptif. Perilaku suhu dan kelembaban di dalam bangunan menjadi penting dalam menunjang kenyamanan suhu, yaitu untuk menurunkan panas dan kelembaban yang tinggi. Perilaku suhu udara di dalam ruang sangat terkait keterpaduan bukaan bangunan.

3.2 Obyek Penelitian

3.2.1 Obyek Bangunan

Obyek bangunan adalah tipikal rumah sehat sesuai Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor: 403/KPTS/M/2002 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Rumah Sehat yang dimasa depan merupakan prosentase terbesar tipe perumahan rakyat.

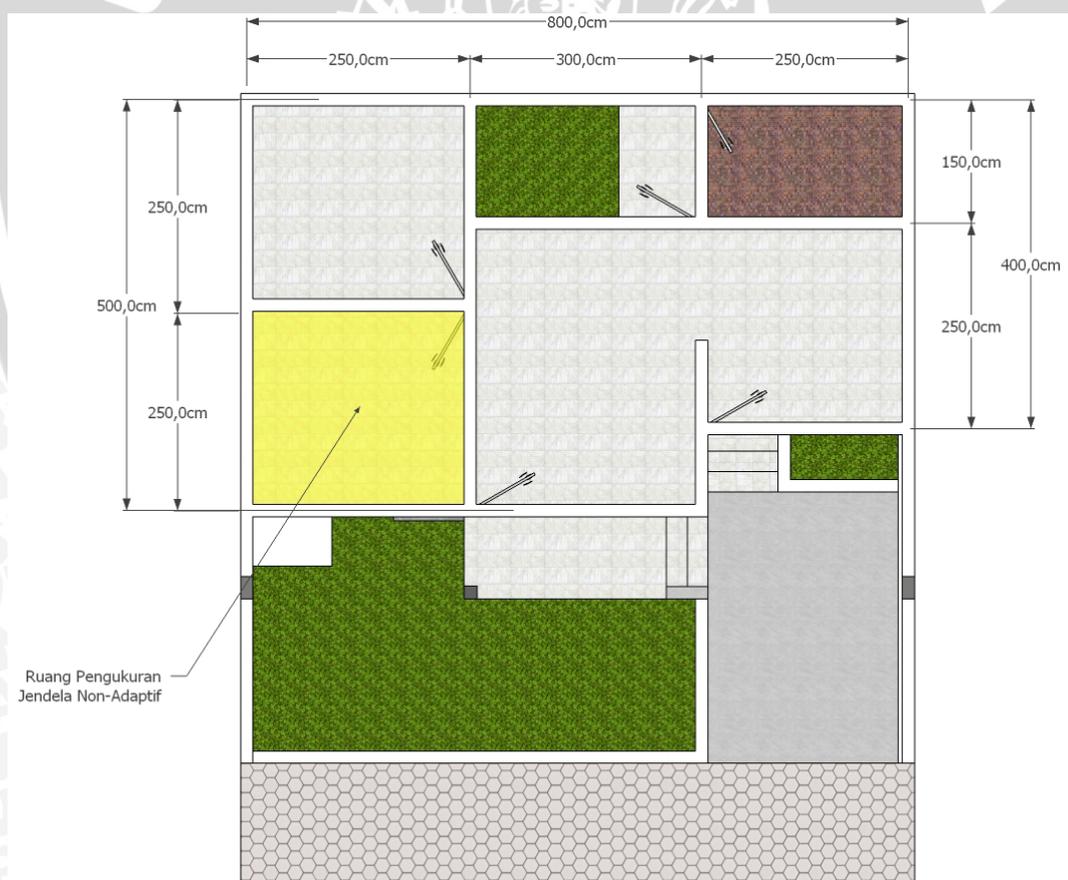
Obyek bangunan yang diambil adalah rumah tipe 40 di Perumahan Griya Saxofone, Malang yang merupakan tipikal model rumah sehat dengan lahan terbatas.



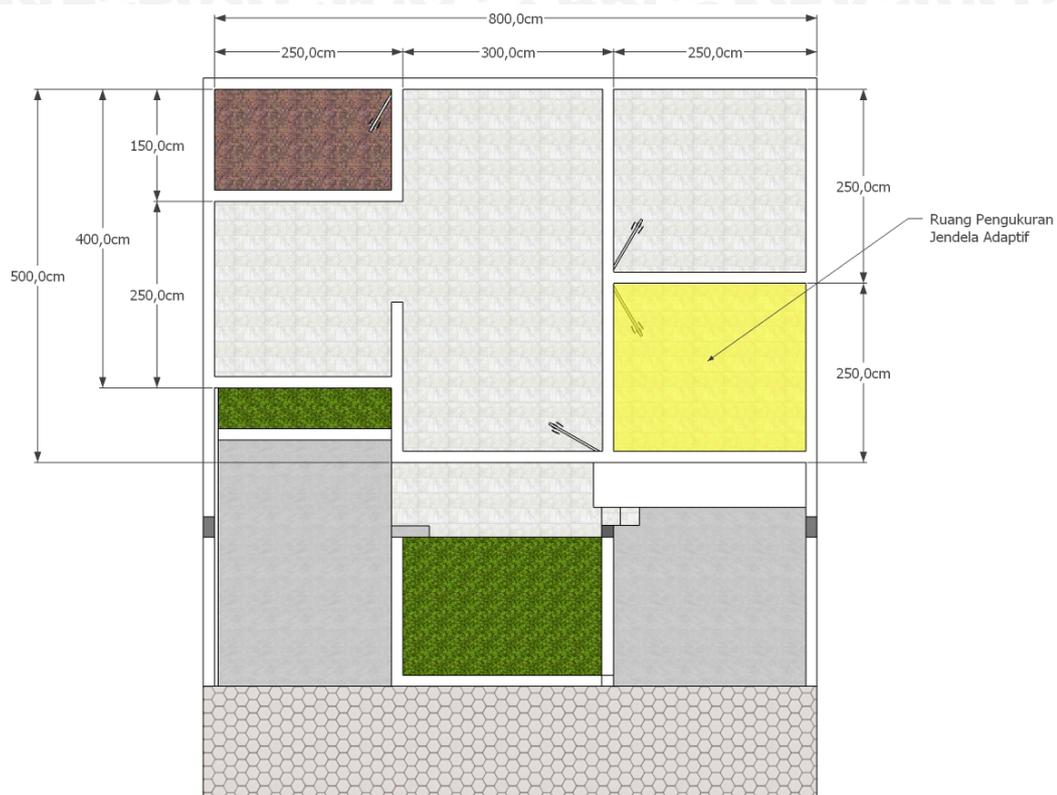
Gambar 7. Lay Out Perumahan Griya Saxofone

Penelitian dilakukan pada rumah Griya Saxofone 40 dan Griya Saxofone 42. Mengingat rumah ini merupakan rumah yang tipikal, jadi pengukuran perbandingan dapat dilakukan. Pengukuran dilakukan pada masing-masing ruang kamar tidur yang terhubung langsung dengan area *outdoor*. Pada Griya Saxofone 40 menggunakan Jendela Adaptif dan Griya Saxofone 42 menggunakan Jendela Non-Adaptif.

Dikarenakan adanya perbedaan aktifitas dan kebutuhan dari masing-masing pemilik rumah, maka terdapat perbedaan bentuk denah. Pada Griya Saxofone 42 yang menggunakan Jendela Non-Adaptif bentuk denah masih menggunakan bentuk tipikal perumahan Griya Saxofone. Sedangkan pada Griya Saxofone 40 yang menggunakan Jendela Adaptif terdapat perubahan denah. Tetapi perubahan ini tidak berpengaruh pada besaran dan letak kamar tidur yang akan dijadikan obyek penelitian.



Gambar 8. Lay Out Perumahan Griya Saxofone 42, Jendela Non-Adaptif



Gambar 9. Denah Rumah Griya Saxofone 40, Jendela Adaptif

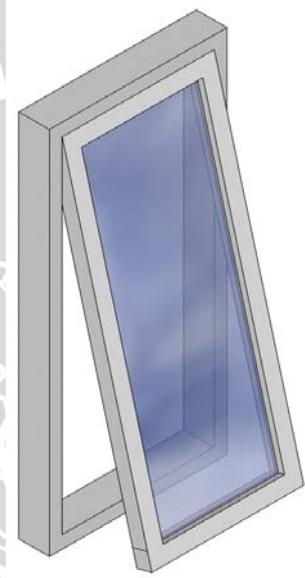


Gambar 10. Perbandingan Denah Rumah Griya Saxofone 40 dengan Rumah Griya Saxofone 42

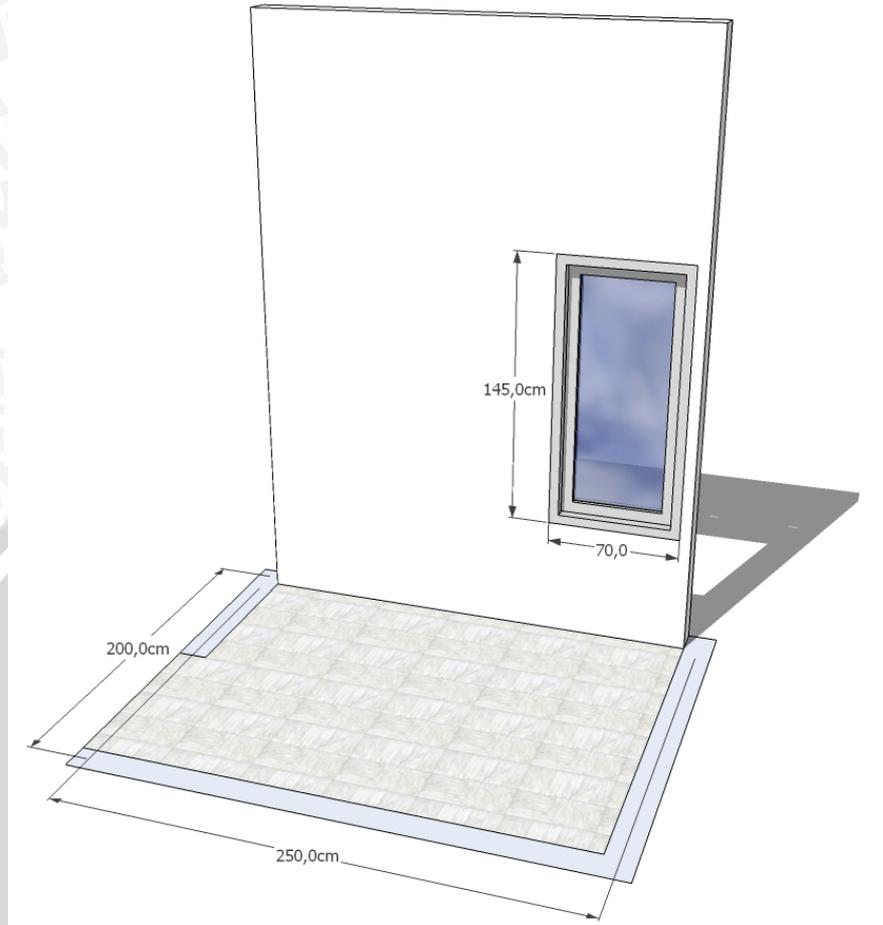
3.2.2 Jendela Non-Adaptif

Jendela Non-Adaptif merupakan bukaan dinding rumah yang digunakan dalam penelitian. Desain model ini menggunakan desain jendela jungkit atas. Ukuran jendela disesuaikan dengan rata-rata penggunaan jendela pada rumah perumahan sederhana di kota Malang. Jendela ini memiliki rasio 22,5%.

Material jendela menggunakan kayu sebagai rangka dan kaca untuk pencahayaan dan finising cat. Tipe bukaan berada di bawah bidang jendela.



Gambar 11. Jendela Non-Adaptif Dengan Posisi Daun Jendela Terbuka

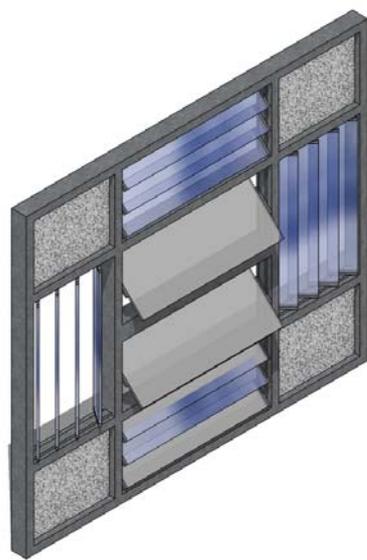


Gambar 12. Rasio Jendela Non-Adaptif Sebesar 22,5%

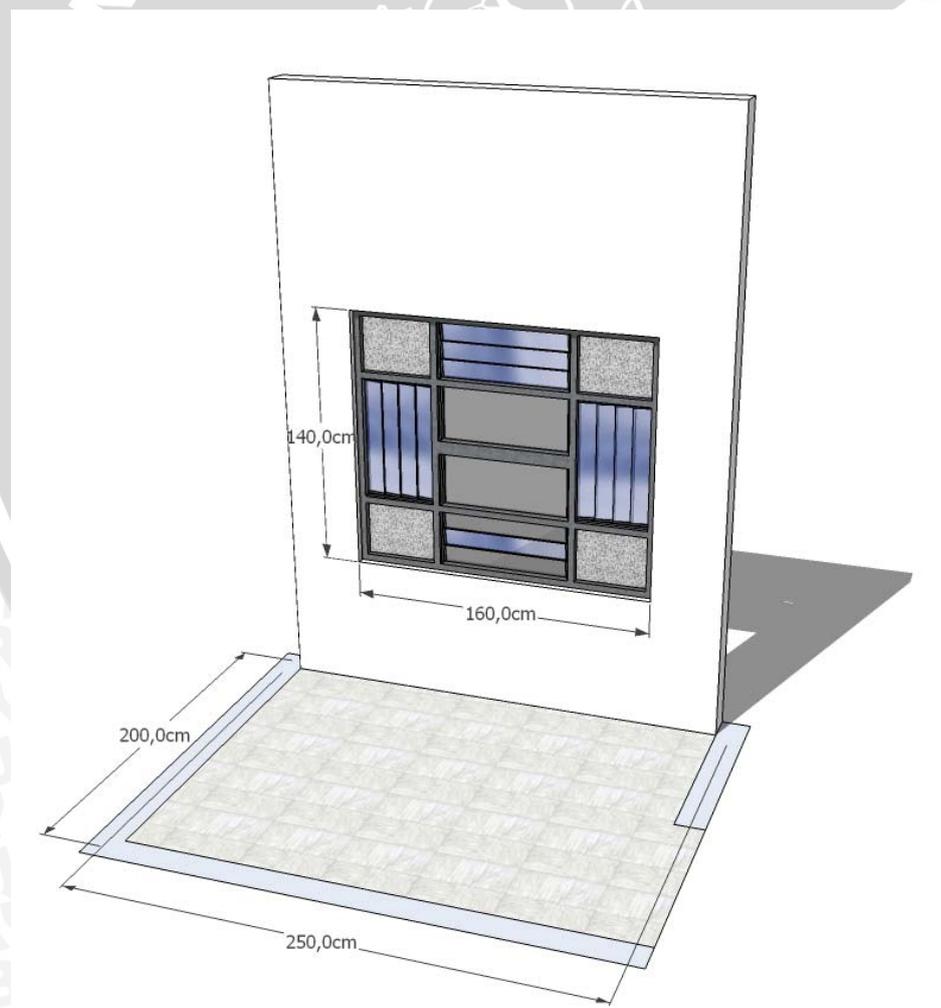
3.2.3 Jendela Adaptif

Jendela Adaptif adalah jendela tanggap iklim dengan kemampuan dasar. Kemampuan dasar yang dimiliki adalah jendela tanggap terhadap komponen iklim, yaitu suhu dan kelembaban. Desain model kemampuan dasar dapat dilihat dari ukuran, material dan tipe yang dimiliki. Rasio ukuran jendela sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Nugroho, 2009) 50% dari luasan lantai dan dinding yaitu memiliki panjang 1,6m dan lebar 1,4m.

Material jendela adalah kaca untuk pencahayaan dan mika untuk kisi bukaan. Tipe bukaan adalah kisi dengan arah bukaan atas sebesar 45° ke atas. Pada masing-masing sisi bukaan arah kisi akan membuka sebesar 45° pada arah yang berlawanan. Kedua fungsi diatas sangat berguna dalam menangkap angin. Jendela ini digerakan secara manual.



Gambar 13. Jendela Adaptif Dengan Posisi Kisi Terbuka 45°



Gambar 14. Rasio Jendela Adaptif Sebesar 50%

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Pengumpulan Data

Pada tahapan ini merupakan tahapan pengumpulan data-data obyek penelitian, yaitu tentang identifikasi karakteristik termal.

Pengumpulan data dalam bidang kajian ini meliputi pengumpulan data primer dan data sekunder. Adapun kebutuhan-kebutuhan yang digunakan untuk setiap jenis data tersebut adalah sebagai berikut :

1. Data primer

Data primer berperan sebagai data langsung yang diperoleh dari sumber data. Langkah-langkah dalam mengumpulkan data primer sebagai berikut :

A. Pengukuran

Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi suhu termal pada rumah yang memakai Jendela Non-Adaptif, Jendela Adaptif dan kondisi suhu udara *outdoor*.

B. Dokumentasi

Metode ini mencakup proses pendokumentasian hal-hal yang dianggap penting.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber pustaka atau bacaan. Menggunakan data sekunder yang sumbernya bersifat pribadi dan umum. Adapun perolehan data-data sekunder tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

A. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh teori-teori yang berkaitan dengan proses analisis yang mencakup analisis kinerja termal dan analisis data iklim untuk menetapkan suhu netral.

B. Internet

Data-data dari internet yang digunakan sebagai pendukung informasi.

3.3.2 Analisa data

Data-data yang telah dikumpulkan tersebut, kemudian dianalisa dengan menggunakan metode perbandingan antara Jendela Non-Adaptif dengan Jendela Adaptif yang dilakukan dengan cara manual. Hal ini dilakukan guna mendapatkan hasil untuk memecahkan permasalahan. Sedangkan data sekunder menjadi dasar analisa dan pendukung penelitian.

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Pengukuran Lapangan

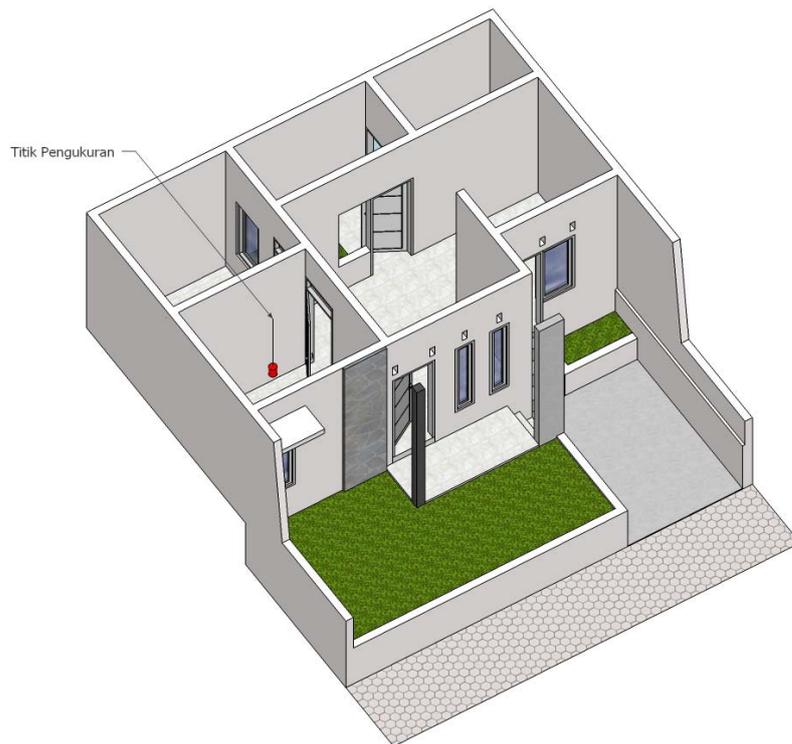
Pengukuran suhu dilakukan di dalam bangunan, dan di luar bangunan pada ketinggian 1.1m sesuai penelitian Nugroho (2009), yaitu pada rata-rata suhu terpanas disemester pertama yang terjadi pada bulan April tahun 2013. Sebagai pembandingan, pengukuran juga dilakukan waktu sama

Komparasi kinerja Jendela Adaptif dengan kinerja Jendela Non-Adaptif dapat terlihat perbandingan kinerja termal antara rumah yang memakai (Jendela Adaptif) dan tidak memakai Jendela Adaptif (Jendela Non-Adaptif). Ini akan memberikan sebuah gambaran umum mengenai variabel perbedaan suhu.

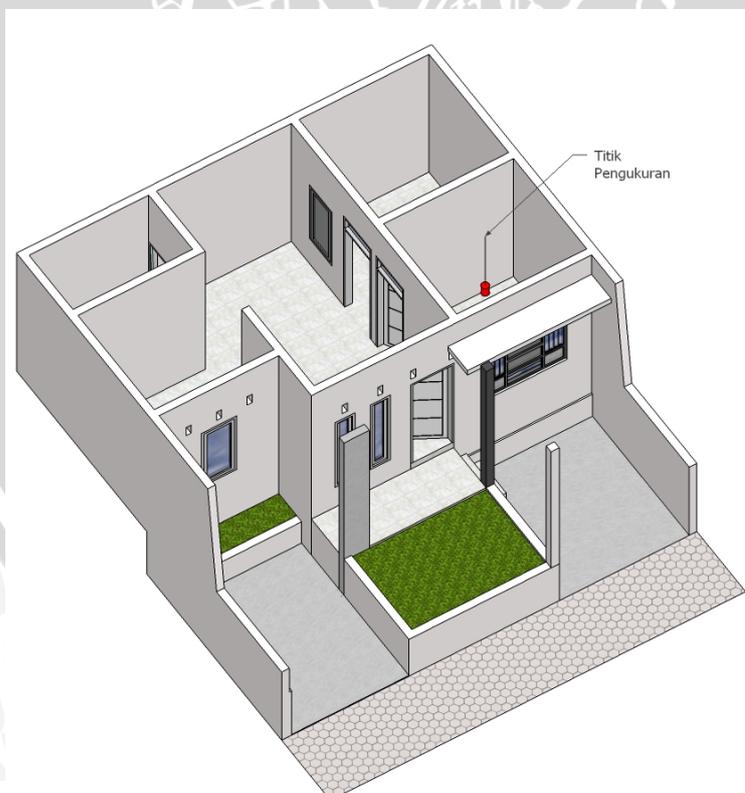
Metode analisis yang digunakan mencakup analisis kinerja termal untuk hasil kinerja dan analisis data iklim untuk menetapkan termal netral.

Analisa kinerja termal merupakan analisis kuantitatif yang akan mengevaluasi perbedaan atau penurunan suhu yang dalam hal ini dibatasi pada perbandingan kelembaban dan suhu dalam dan luar ruang yang diidentifikasi dengan waktu dimana terjadi penurunan suhu paling besar dengan fokus terhadap maksimalisasi penurunan suhu dalam ruang.

Metode analisis untuk mengetahui zona nyaman suhu ditinjau dengan menggunakan suhu udara netral. Suhu netral adalah suhu udara dimana responden merasa “netral” atau “nyaman”. Ini adalah nilai tengah zona nyaman suhu, sebagai suatu nilai rata-rata untuk banyak subyek eksperimen. Kenyamanan suhu udara atau suhu udara netral dapat diprediksi dari persamaan linier untuk bangunan-bangunan dengan ventilasi alami (nugroho, 2007).



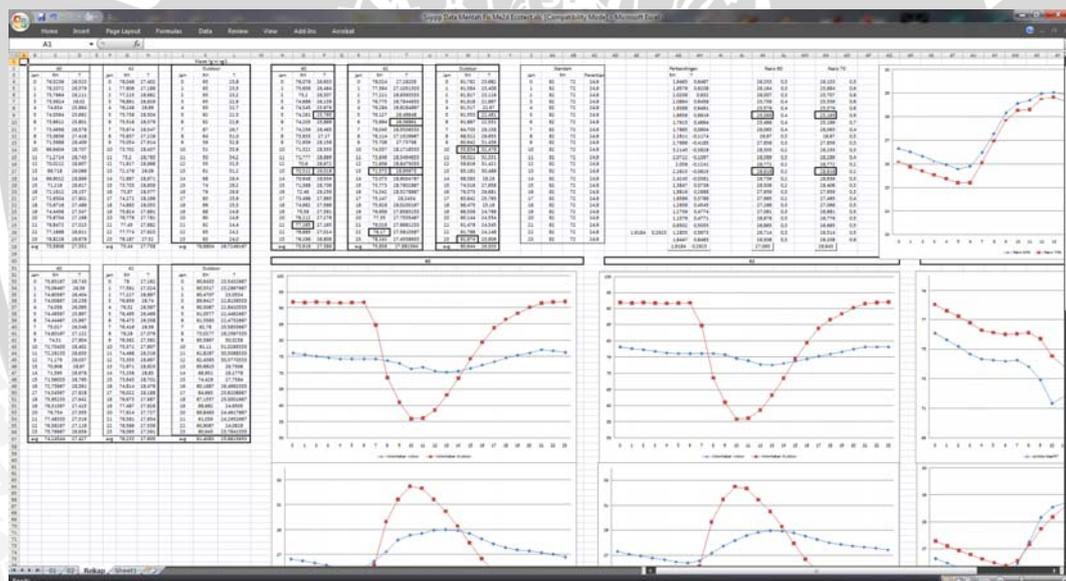
Gambar 15. Titik Pengukuran Termal Griya Saxofone no 42, Jendela Non-Adaptif



Gambar 16. Titik Pengukuran Termal Griya Saxofone no 40, Jendela Adaptif

Pada tahap awal dilakukan identifikasi karakteristik termal, yaitu kelembaban dan suhu pada bangunan terpilih dengan menggunakan metode observasi dan pengukuran langsung ke lapangan. Pengambilan data-data berupa suhu dan kelembaban di dalam dan di luar bangunan.

Pengukuran termal menggunakan alat pengukur termometer dan kelembaban digital, HOBO U10-003 Temp, & RH USB Logger. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode observasi dan pengukuran langsung ke lapangan. Pengukuran termal direkam tiap jam pada bulan yang telah ditentukan. Sehingga perilaku suhu dan kelembaban pada masing-masing titik yang telah ditentukan dapat diketahui. Hasil dari pengukuran dengan menggunakan alat ini dapat dilihat menggunakan piranti lunak Hoboware Pro. Pengolahan data untuk proses kinerja diolah dengan piranti lunak Microsoft Excel. Sehingga hasil kinerja dan perbandingan kinerja dapat diketahui.

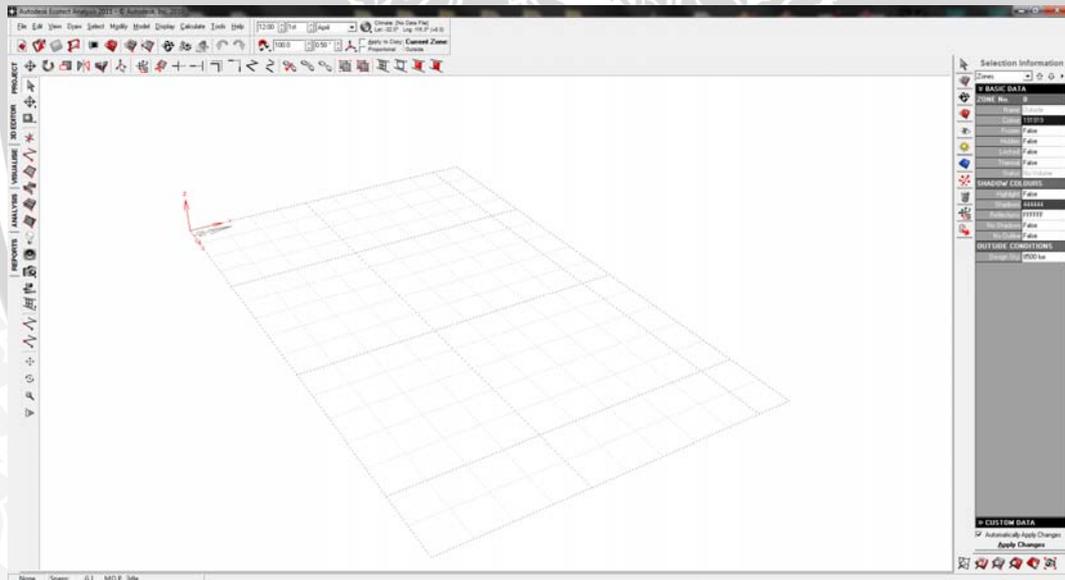


Gambar 17. Proses Pengolahan Data Pada Piranti Lunak Microsoft Excel

3.4.2 Simulasi Model

Pada tahapan analisa model dasar ini digunakan simulasi data menggunakan perangkat lunak Ecotect Analysis 2011 yang merupakan salah satu piranti lunak yang dapat menyediakan fasilitas untuk mengolah data iklim, akustik, pencahayaan, dan energi. Piranti lunak ini dapat secara detail menentukan perhitungan dan animasi grafis secara langsung, sehingga dapat dilihat saat pengerjaan secara langsung. Piranti lunak ini sudah digunakan secara komersil untuk membantu evaluasi ataupun perencanaan bangunan ataupun kawasan. Pengembangnya adalah Dr. Adrew J. Mars.

Dasar pemikiran dalam Ecotect Analysis 2011 adalah bahwa pertimbangan terhadap prinsip-prinsip desain lingkungan akan sangat efektif bila dilakukan saat tahap konseptual. Geometri, material, perletakan merupakan aspek penting bagi kinerja bangunan, yang diramu dalam tahapan konseptual. Oleh karena itu tahapan ini merupakan tahapan penting bagi proses desain.



Gambar 18. Tampilan Antarmuka Ecotect Analysis 2011

Tampilan pada perangkat lunak Ecotect Analysis 2011 terdiri dari berbagai komponen dengan fungsinya masing-masing. Komponen-komponen tersebut terdiri atas: *main menu*, *main toolbar*, *additional toolbars*, *modelling toolbar*, *status bar*, *view toolbar*, *control panel*, *date-timed/cursor toolbar*, *option toolbar* dan *drawing canvas*.

Sistem pemodelan pada Ecotect Analysis 2011 ini menggunakan metode tiga dimensi (3D). Koordinat x, y, dan z digunakan untuk menentukan panjang, lebar, dan tinggi obyek. Obyek-obyek dapat dibuat sendiri dengan bantuan grid ataupun dengan *import* dari file-file gambar yang didukung oleh perangkat lunak Ecotect Analysis 2011.

Penggunaan simulasi model dasar ini dimaksudkan sebagai pemodelan bangunan dengan kondisi telah terukur di lapangan untuk dijadikan dalam rekomendasi desain. Hasil pengukuran outdoor pada proses pengukuran lapangan dijadikan *input* data iklim. Sehingga penggunaan Ecotect Analysis 2011 dapat dijadikan simulasi model untuk memperoleh rekomendasi desain.

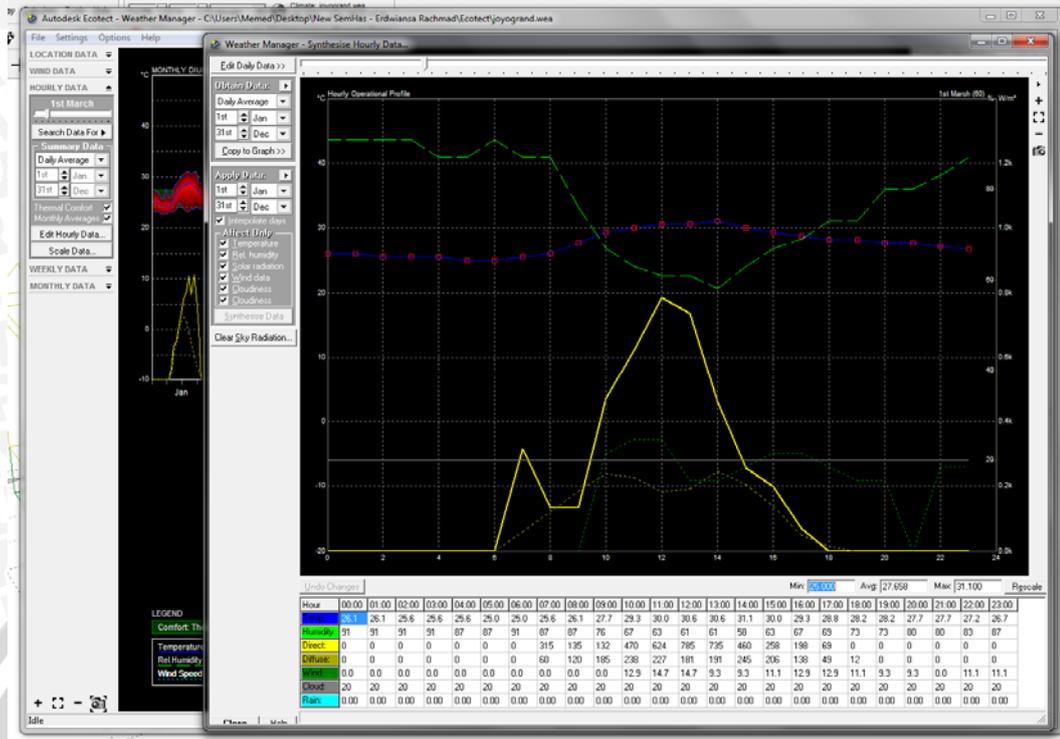
3.4.3 Analisa Simulasi Desain

Pada proses simulasi termal, metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan tahapan awal adalah membuat zona bentuk eksisting bangunan termasuk bukaan pintu dan jendela dengan simulasi tiga dimensi sesuai dengan keadaan lapangan.

Kemudian melakukan *input* data iklim yang telah terukur di lapangan sebelumnya. *Input* data iklim ini diharapkan agar meminimalisir perbedaan hasil pengukuran lapangan dengan pengukuran simulasi perangkat lunak.

Penggunaan perangkat lunak dibuat sederhana, namun tetap menyerupai eksisting dan dilakukan perzona ruang. Dengan asumsi ruang interior kosong namun memperhatikan batas-batas ruang di sekitarnya.

Dari hasil tersebut dilakukan beberapa modifikasi pada bukaan dengan harapan mendapatkan rekomendasi desain dengan adanya pertimbangan analisa kinerja. Proses ini dilakukan dengan adanya rekomendasi-rekomendasi untuk mendapatkan hasil analisa terbaik.



Gambar 19. Proses *Input* Hasil Pengukuran lapangan

Dalam kaitannya dengan analisis termal, setiap obyek dibuat dibuat sederhana. Setiap obyek tiga dimensi yang dibuat dianggap sebagai sebuah zone yang memiliki properti material yang nantinya digunakan sebagai dasar analisis termal.

Khusus untuk data iklim, Ecotect memiliki perangkat lunak tambahan (*The Weather Tool*) yang bisa digunakan sebagai *input* data-data iklim seperti temperatur, radiasi langsung, radiasi difus, kelembaban, kecepatan angin, curah hujan, dan rasio awan.

Dalam proses analisa simulasi dibatasi dalam pengolahan hasil pengukuran untuk menemukan rekomendasi. Hasil rekomendasi tidak lepas dari keterbatasan yang dimiliki oleh perangkat simulasi desain.

3.5 Pengukur Alat Termal



Gambar 20. Alat Pengukur; HOBO U10-003 Temp, & RH USB Logger

Pengukur termal digital HOBO U10-003 Temp & RH USB Logger merupakan alat pengukur termometer dan kelembaban digital dengan merekam sebanyak 52.000 sampel pengukuran. Dapat merekam hasil termometer dan kelembaban disetiap detik. *Output* data dapat diperoleh dari perangkat antarmuka USB untuk diproses di Hoboware Pro Software. Alat ini telah melalui uji kualitas termal lapangan dan telah diuji dilaboratorium kalibrasi dengan sertifikasi NIST (*Nasional Institute of Standart and Technology*).

HOBO[®] U10-003 Temp/RH Logger

Small economical and reliable loggers for recording temperatures and RH

- **Large 52K Memory**
- **10-bit Measurements**
- **USB Interface**

Specifications:

Temperature Measurement Range: -20°C to +70°C
 Accuracy: ± 0.4°C at 25°C
 Resolution: 0.1°C at 25°C
 RH Range: 25% to 95% RH (5°C to 55°C)
 Accuracy: ±3.5% from 25 – 85% (15°C to 45°C)
 ±5% from 25 – 95% (5°C to 55°C)

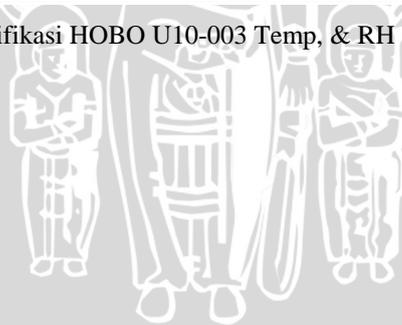
Time Accuracy: 61 seconds/month at 25°C

- Memory Capacity: 52K 10-bit measurements
- Operating Range: -20°C to +70°C, 0% to 95% RH non-condensing
- Response time in airflow of 1 m/s: 10 mins (to 90%)
- User-selectable sampling intervals: 1 sec to 12 hrs
- Programmable start time/date or pushbutton start
- Battery level indication at launch
- Battery level recorded as a separate channel
- Numerous event types (button push/release, host PC connection, low battery) stored to data file asynchronously during logging
- Hinged case for easy battery replacement
- Large memory for long-term deployments
- User replaceable CR2032 battery (typically 1 yr)
- Non-volatile memory retains data if battery fails
- Size: 58 x 74 x 22 mm Weight: 28 gms

Easy launch and readout via HOBOWare software.

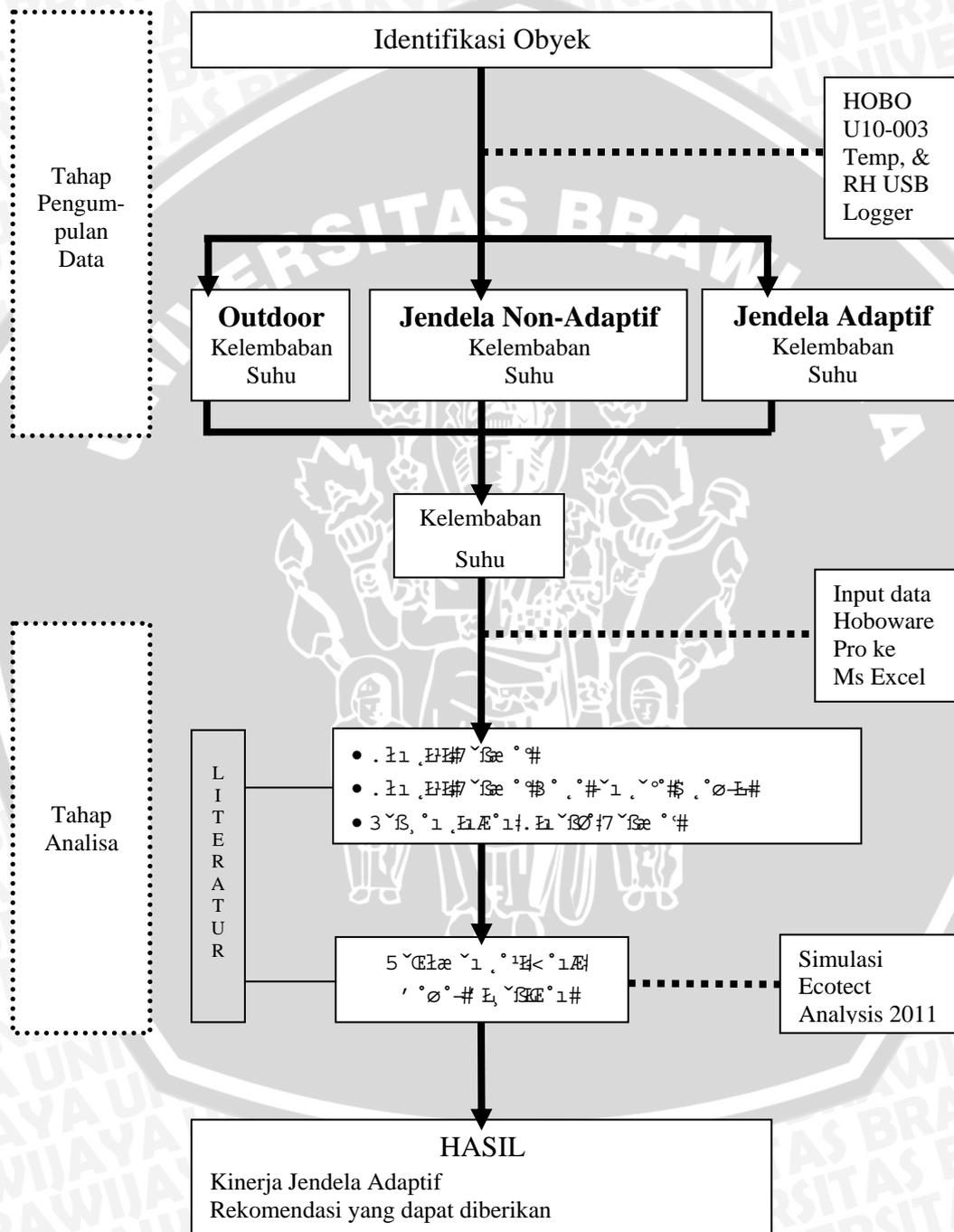
Order Information	Part No.
HOBO U10 Temp/RH	U10-003
HOBOWare PRO Software for Windows/MAC	BHW-PRO-CD
HOBOWare LITE Software for Windows/MAC	BHW-LITE-CD

Gambar 21. Spesifikasi HOBO U10-003 Temp, & RH USB Logger



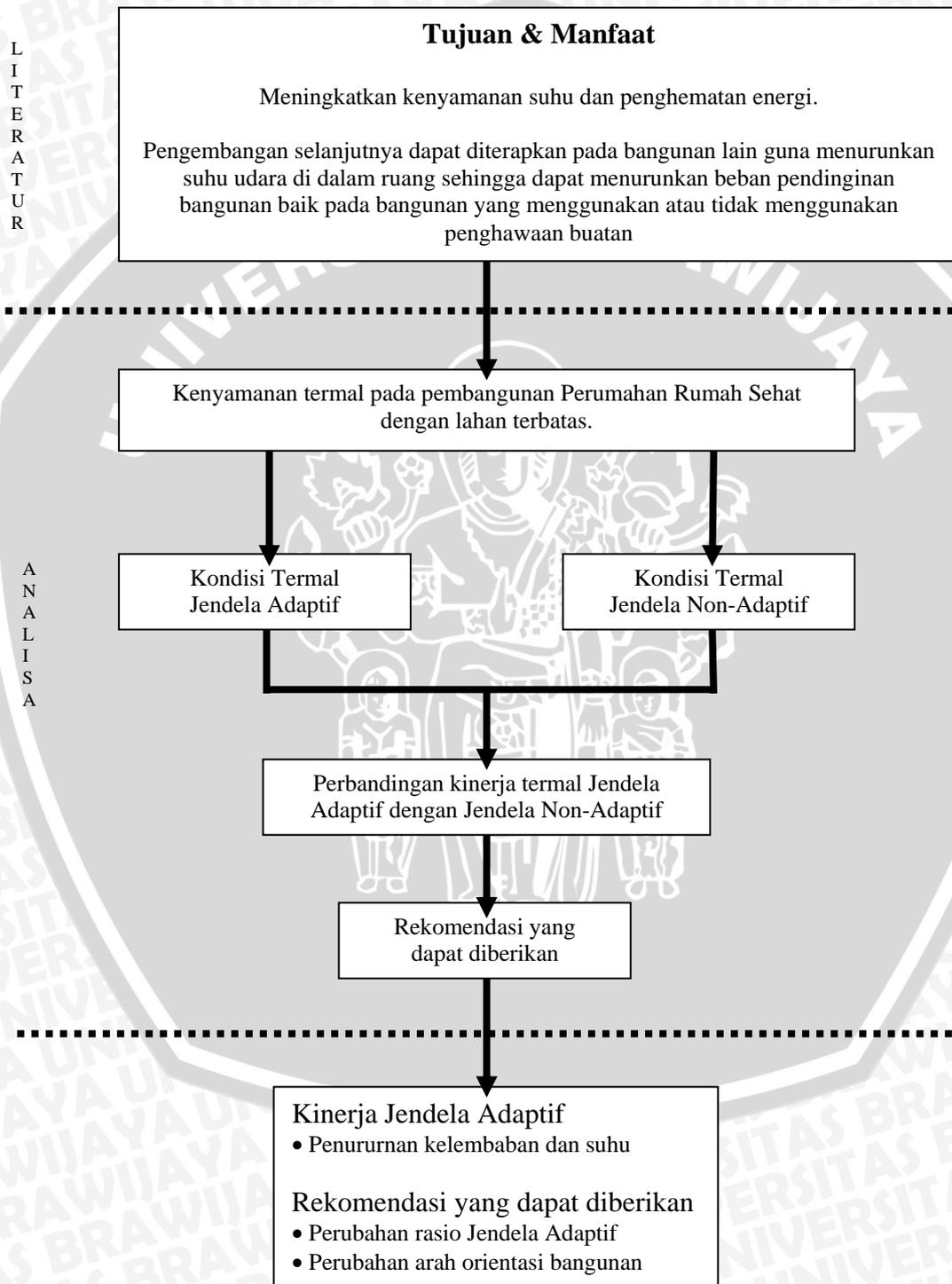
3.6 Kerangka Metode Penelitian

Adapun kerangka metode yang digunakan sebagai media untuk mengetahui tahapan metode penelitian. Akan dijelaskan pada bagan sebagai berikut :



3.7 Kerangka Pemikiran

Adapun kerangka pemikiran yang digunakan sebagai media untuk mengetahui penyimpulan hasil kajian. Akan dijelaskan pada bagan sebagai berikut:



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Umum Lokasi Penelitian

4.1.1 Kota Malang

Kota Malang merupakan salah satu kawasan di Jawa Timur, terletak pada $07^{\circ}46'45''$ - $08^{\circ}46'42''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}31'42''$ - $112^{\circ}48'48''$ Bujur Timur dengan kondisi bentang alam yang berupa dataran tinggi dengan ketinggian 440 - 467m dpl (Pemkot Malang, 2011). Selain berada di dataran tinggi, Kota Malang juga dikelilingi oleh gunung-gunung, antara lain :

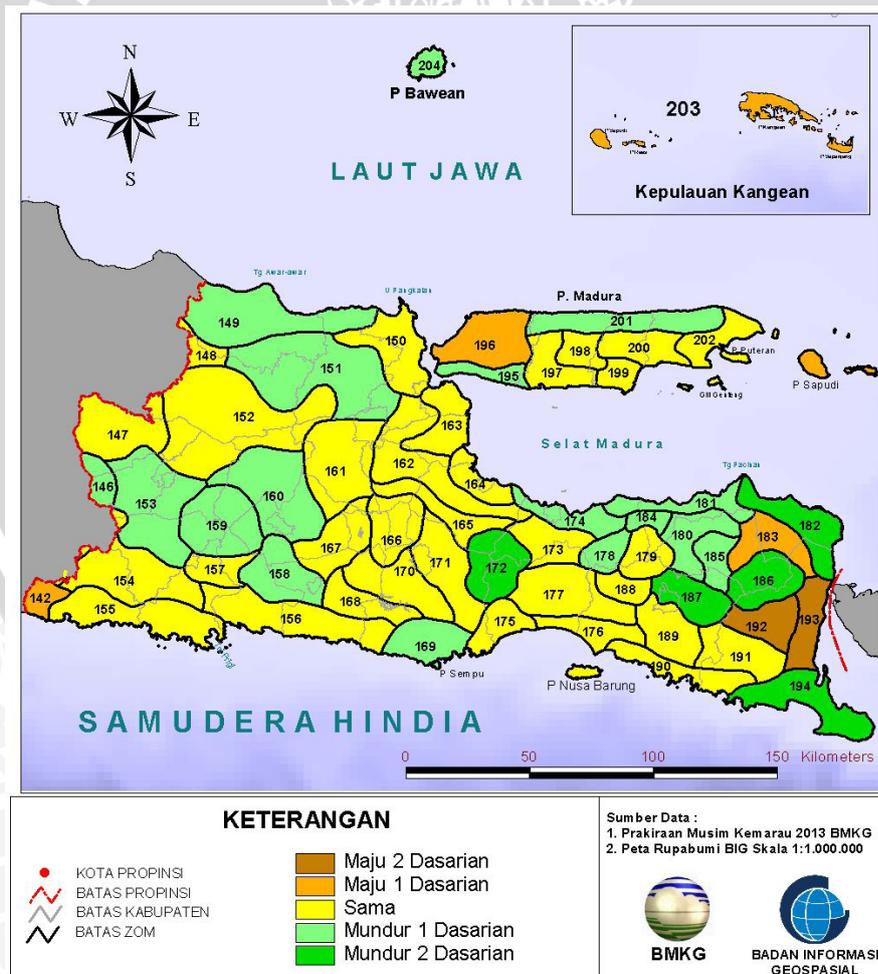
- Gunung Arjuno di sebelah Utara,
- Gunung Tengger di sebelah Timur,
- Gunung Kawi di sebelah Barat,
- Gunung Kelud di sebelah Selatan.



Gambar 22. Peta Kota Malang
(sumber : Pemkot Malang, 2007)

Kondisi iklim Kota Malang tercatat rata-rata suhu udara berkisar antara 22,7°C - 25,1°C. Sedangkan suhu maksimum mencapai 32,7°C dan suhu minimum 18,4°C. Rata-rata kelembaban udara berkisar 72% - 86%. Dengan kelembaban maksimum 99% dan minimum mencapai 40% (Pemkot Malang, 2011). Seperti umumnya daerah lain di Indonesia, Kota Malang mengikuti perubahan perputaran 2 iklim, yaitu Musim Hujan, dan Musim Kemarau.

Berdasar pada Prakiraan Musim Kemarau 2013 (BMKG, 2013) yang memuat informasi prakiraan awal musim kemarau 2013 tentang perbandingan antara prakiraan musim kemarau 2013 terhadap rata-rata atau normalnya selama 30 tahun (1981-2010), bahwa lokasi site penelitian tidak mengalami perubahan iklim yang signifikan. Sehingga data musim kemarau pada tahun-tahun sebelumnya dapat dipergunakan dalam penelitian ini.



Gambar 23. Perbandingan Awal Musim Kemarau 2013 Terhadap Rata-rata Zona Musim Jawa Timur (sumber : BMKG, 2013)

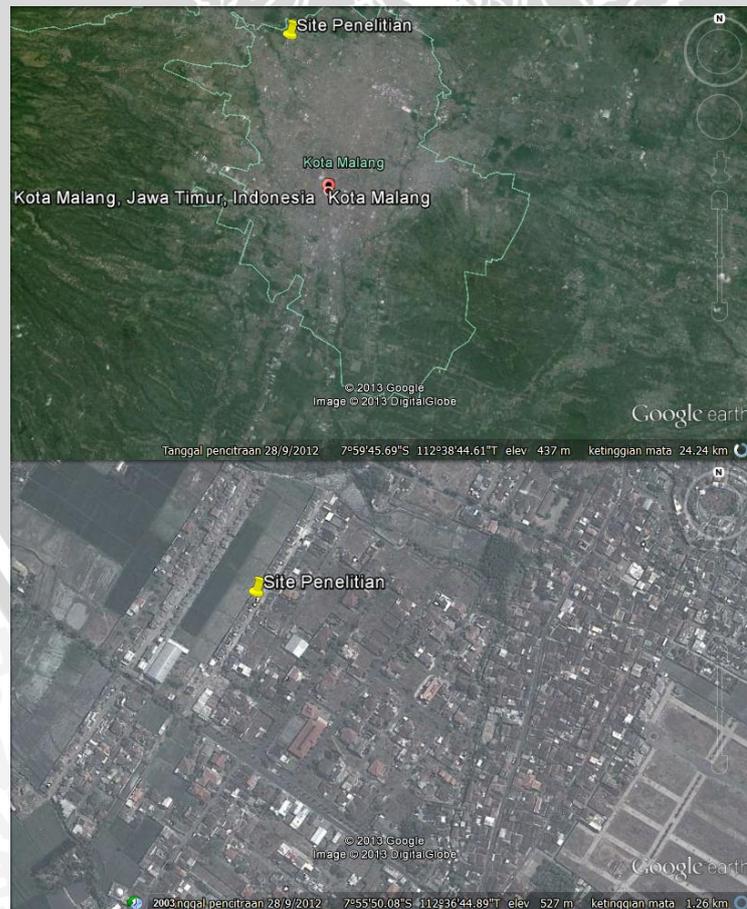
4.1.2 Obyek Bangunan

Lokasi penelitian berada di Kota Malang, Kecamatan Lowokwaru, Kelurahan Tunggulwulung. Kecamatan Lowokwaru merupakan satu dari lima kecamatan kota Malang dengan batas wilayah yaitu :

- Utara : Kecamatan Karangploso,
- Timur : Kecamatan Blimbing,
- Barat : Kecamatan Dau,
- Selatan : Kecamatan Klojen.

Kecamatan Lowokwaru memiliki suhu minimum 20°C dan maksimum 28°C dengan curah hujan rata-rata 2,71 mm (Pemkot Malang, 2011).

Obyek bangunan adalah tipikal rumah sehat sesuai Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor: 403/KPTS/M/2002 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Rumah Sehat. Obyek rumah bertipe 40 di Perumahan Griya Saxofone.

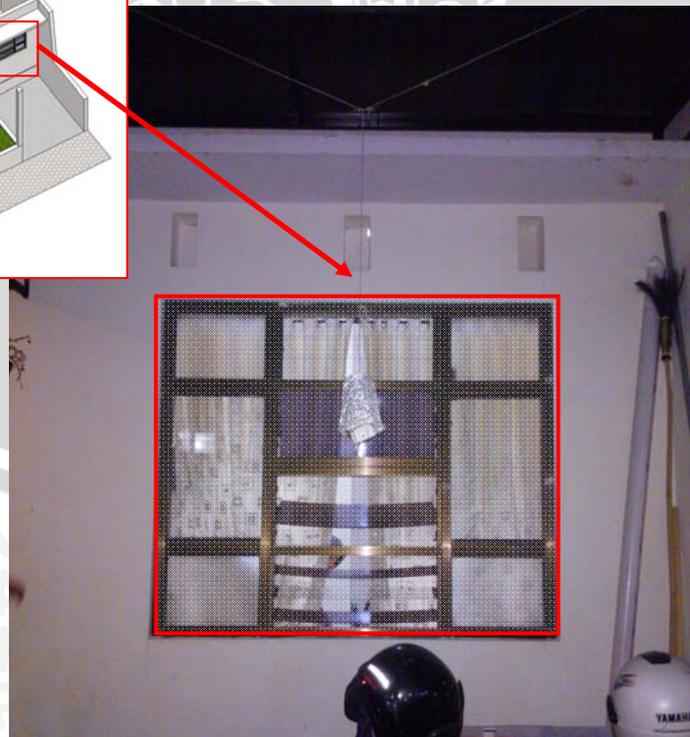
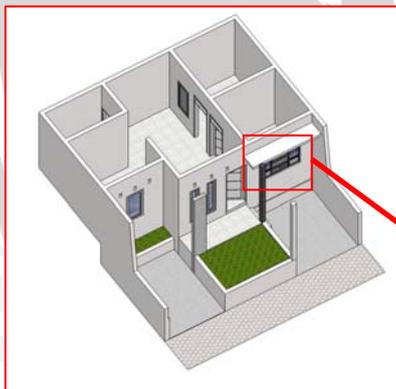


Gambar 24. Site Lokasi Obyek Bangunan Penelitian
(sumber : Google Earth, 2013)



Gambar 25. Lay Out Perumahan Griya Saxofone
(sumber : Google Earth, 2013)

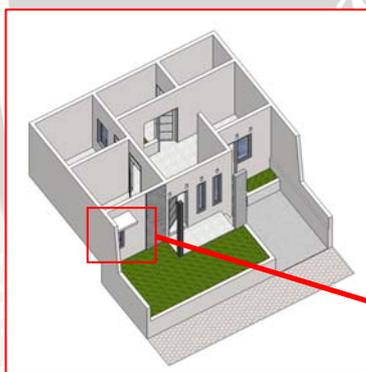
4.1.3 Obyek Penelitian



Gambar 26. Obyek Jendela Adaptif



Gambar 27. Titik Pengukuran Jendela Adaptif



Gambar 28. Titik Pengukuran Jendela Non-Adaptif



Gambar 29. Griya Saxofone no 42

4.2 Kondisi Termal

Ada faktor-faktor yang sangat berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan termal, yaitu meliputi:

Faktor Lingkungan

- Suhu udara, (*Temperature*), °c
- Kelembaban udara, (*Relative Humidity*), %

Faktor manusia

- Aktivitas dan Psikologi manusia, (*Metabolism*), *met*
- Pakaian, (*Clothing*), *clo*.

Untuk mengetahui apakah suatu kondisi nyaman secara termal, perlu diketahui zona nyamannya. Zona nyaman adalah menunjukkan kondisi komposisi udara yang nyaman secara termal. Kenyamanan termal tidak dapat diwakili oleh faktor tunggal karena kenyamanan merupakan perpaduan dari faktor-faktor tersebut.

Menggunakan penelitian sebelumnya, rerata suhu udara tahunan perbulan dari data iklim untuk data cuaca BMKG Malang, dengan mengambil $24,9^{\circ}\text{C}$ sebagai suhu netral bangunan, didapatkan $26,4^{\circ}\text{C}$ sebagai batas atas zona nyaman.

Telah ditentukan beberapa pengukuran dengan metode analisis yang digunakan mencakup analisis kinerja termal untuk hasil kinerja. Beberapa variabel yang digunakan adalah :

- a. Kelembaban dan Suhu Outdoor,
- b. Kelembaban dan Suhu Jendela Non-Adaptif, dan
- c. Kelembaban dan Suhu Jendela Adaptif.

Variabel diatas berdasar hasil evaluasi terhadap kenyamanan termal dari faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal. Hasil pengukuran ini sesuai dengan dengan tingkat kenyamanan termal yang dapat dikendalikan perubahanya, yaitu Kelembaban dan Suhu.

Pola kelembaban dan suhu udara *outdoor* di daerah tropis memberikan gambaran strategi apa yang harus dilakukan perencana bangunan agar suhu di dalam tetap nyaman.

4.2.1 Pengukuran Lapangan *Outdoor*

Pengukuran lapangan *Outdoor* ini diambil di area luar rumah yang menggunakan Jendela Non-Adaptif. Hal ini disebabkan karena tidak adanya aktifitas yang dapat mengganggu penelitian dan lebih mudah dalam pelaksanaan. Rumah yang menggunakan Jendela Non-Adaptif merupakan rumah kosong atau tidak berpenghuni. Oleh pemilik, rumah ini akan digunakan untuk usaha properti tetapi belum terlaksana.



Gambar 30. Foto Titik Pengukuran Termal Outdoor



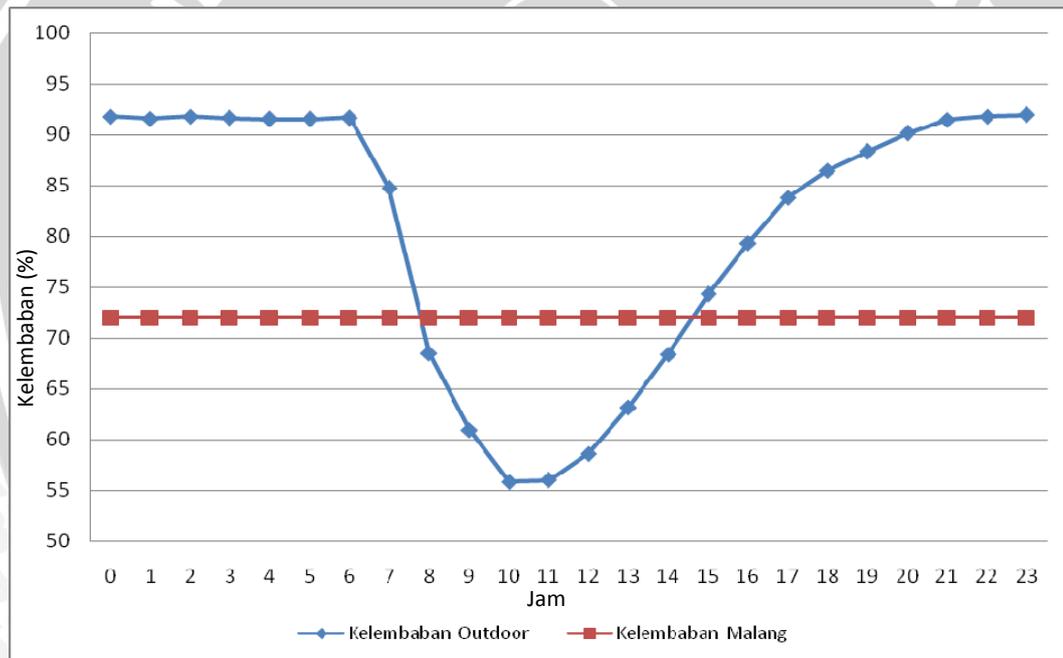
Gambar 31. Titik Pengukuran Termal Outdoor Griya Saxofone no 42

Kondisi kelembaban udara *Outdoor* selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 32.

Berdasarkan data tersebut, kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 11 malam sebesar 91,97% dan terendah terjadi pada pukul 10 pagi sebesar 55,83%. Sedangkan kelembaban rerata harian musim kemarau 2013 adalah 80,64%.

Bila dilihat dari hasil pengukuran, maka kelembaban netral terjadi pada pukul 7-8 pagi dan 2-3 sore.

Berdasar kelembaban rata-rata Kota Malang (Pemkot, 2011), dimana kelembaban udara berkisar 72% - 86% dan kelembaban maksimum 99% dan minimum mencapai 40%, maka area *Outdoor* ini berada dalam zona rata-rata kota Malang.



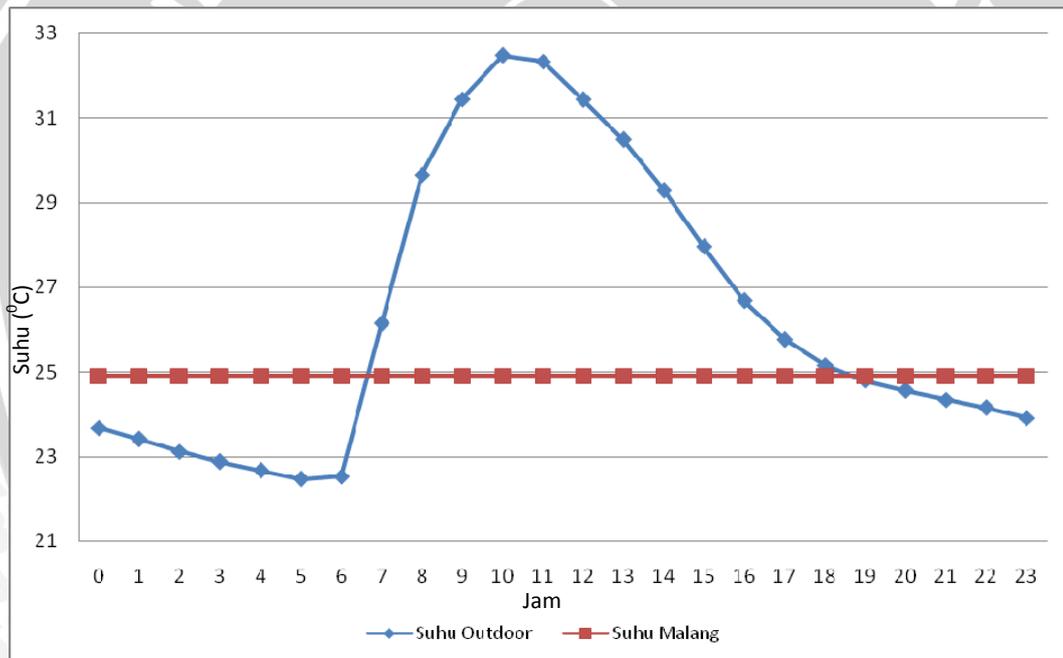
Gambar 32. Kelembaban Udara *Outdoor* Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

Kondisi suhu udara *Outdoor* selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 33.

Berdasarkan data tersebut, suhu terendah terjadi pada pukul 5 pagi sebesar $22,46^{\circ}\text{C}$ dan tertinggi terjadi pada pukul 10 pagi sebesar $32,47^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu rerata harian musim kemarau 2013 adalah $26,30^{\circ}\text{C}$.

Bila dilihat dari hasil pengukuran, maka suhu netral terjadi pada pukul 6-7 pagi dan 6-7 sore.

Berdasar suhu rata-rata Kota Malang (Pemkot, 2011), dimana suhu udara berkisar antara $22,7^{\circ}\text{C}$ - $25,1^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu maksimum mencapai $32,7^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimum $18,4^{\circ}\text{C}$, maka area *Outdoor* ini memiliki suhu yang tinggi dengan selisih $1,2^{\circ}\text{C}$ (diambil dari rata-rata tertinggi Kota Malang).



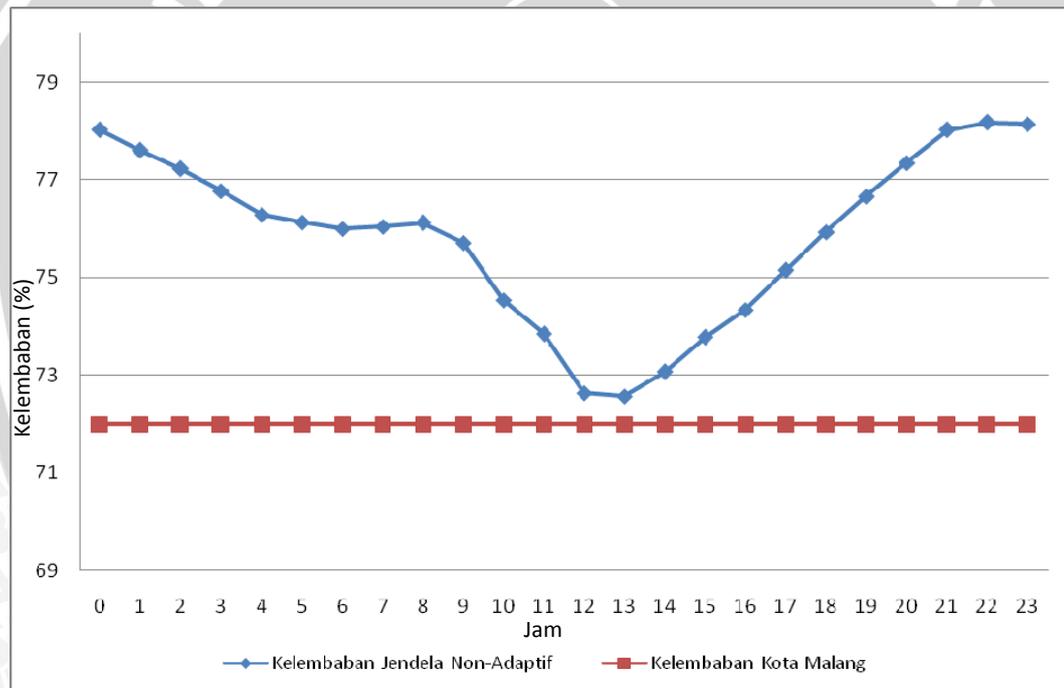
Gambar 33. Suhu Udara *Outdoor* Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

4.2.2 Pengukuran Lapangan Jendela Non-Adaptif

Kondisi kelembaban udara Jendela Non-Adaptif (di dalam ruang) selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 34.

Berdasarkan data tersebut, kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 10 malam sebesar 78,17% dan terendah terjadi pada pukul 1 siang sebesar 72,57%. Sedangkan kelembaban rerata harian musim kemarau 2013 adalah 75,83%.

Berdasar kelembaban rata-rata Kota Malang (Pemkot, 2011), dimana kelembaban udara berkisar 72% - 86% dan kelembaban maksimum 99% dan minimum mencapai 40%, maka kelembaban Jendela Non-Adaptif ini berada dalam zona rata-rata kota Malang. Memiliki selisih rata-rata dengan Kota Malang sebesar 3,83%.



Gambar 34. Kelembaban Udara Jendela Non-Adaptif Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

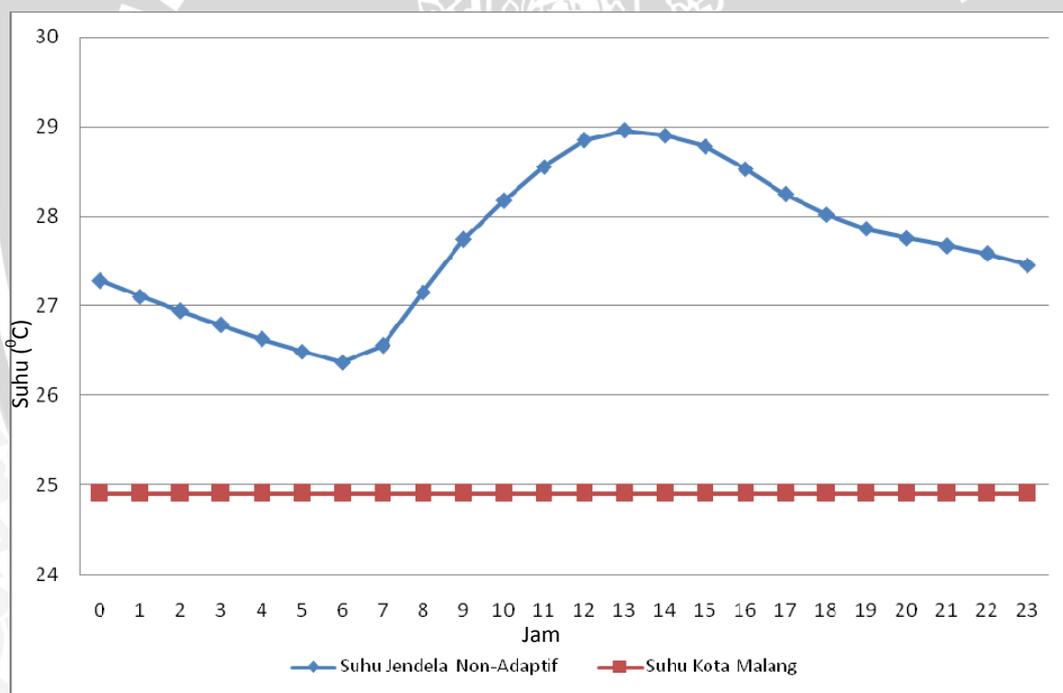
Kondisi suhu udara Jendela Non-Adaptif (di dalam ruang) selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 35.

Berdasarkan data tersebut, suhu terendah terjadi pada pukul 6 pagi sebesar $26,36^{\circ}\text{C}$ dan tertinggi terjadi pada pukul 1 siang sebesar $28,95^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu rerata harian musim kemarau 2013 adalah $27,68^{\circ}\text{C}$.

Bila dilihat dari hasil pengukuran, maka keadaan mendekati suhu netral terjadi pada pukul 6 pagi.

Berdasar suhu nyaman (Nugroho, 2007), daerah ini memiliki suhu yang cukup tinggi dengan perbedaan $2,78^{\circ}\text{C}$.

Dengan jangkauan zona nyaman sebesar 5°C , dapat meluas $2,5^{\circ}\text{C}$ keatas dan kebawah (Szokolay, 1997), maka suhu Jendela Non-Adaptif berada diatas batas suhu nyaman.



Gambar 35. Suhu Udara Jendela Netral Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

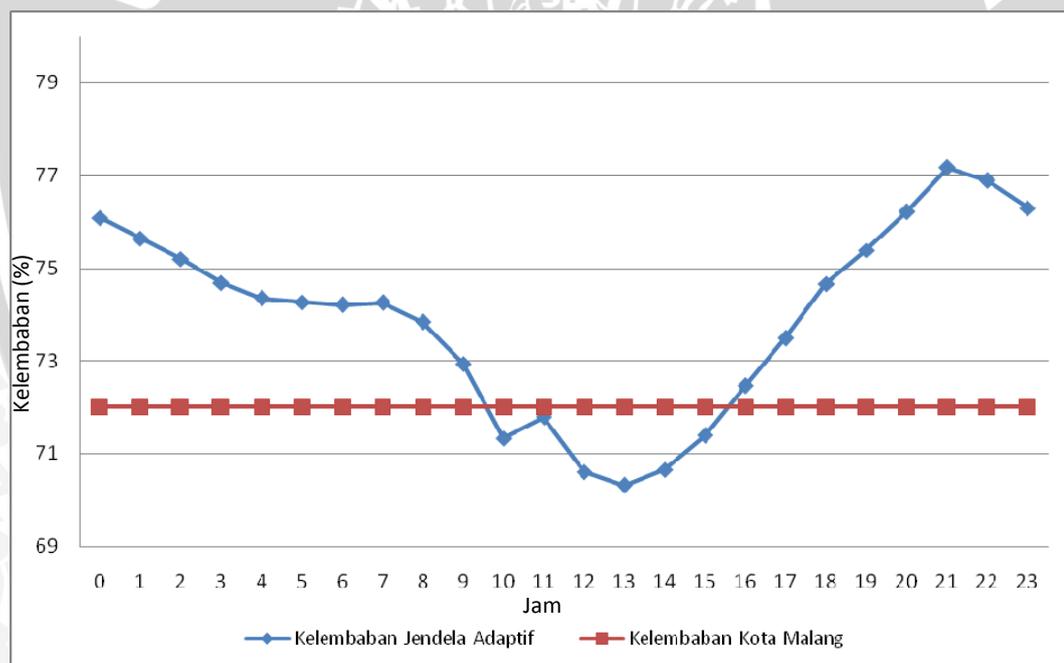
4.2.3 Pengukuran Lapangan Jendela Adaptif

Kondisi kelembaban udara Jendela Adaptif (di dalam ruang) selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 36.

Berdasarkan data tersebut, kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 9 malam sebesar 77,16% dan terendah terjadi pada pukul 1 Siang sebesar 70,31%. Sedangkan kelembaban rerata harian musim kemarau 2013 adalah 73,91%.

Bila dilihat dari hasil pengukuran, maka kelembaban netral terjadi pada pukul 9-10 pagi dan 3-4 sore.

Berdasar kelembaban rata-rata Kota Malang (Pemkot, 2011), dimana kelembaban udara berkisar 72% - 86% dan kelembaban maksimum 99% dan minimum mencapai 40%, maka kelembaban Jendela Adaptif ini berada dalam zona rata-rata kota Malang. Memiliki selisih rata-rata dengan Kota Malang sebesar 1,91%.



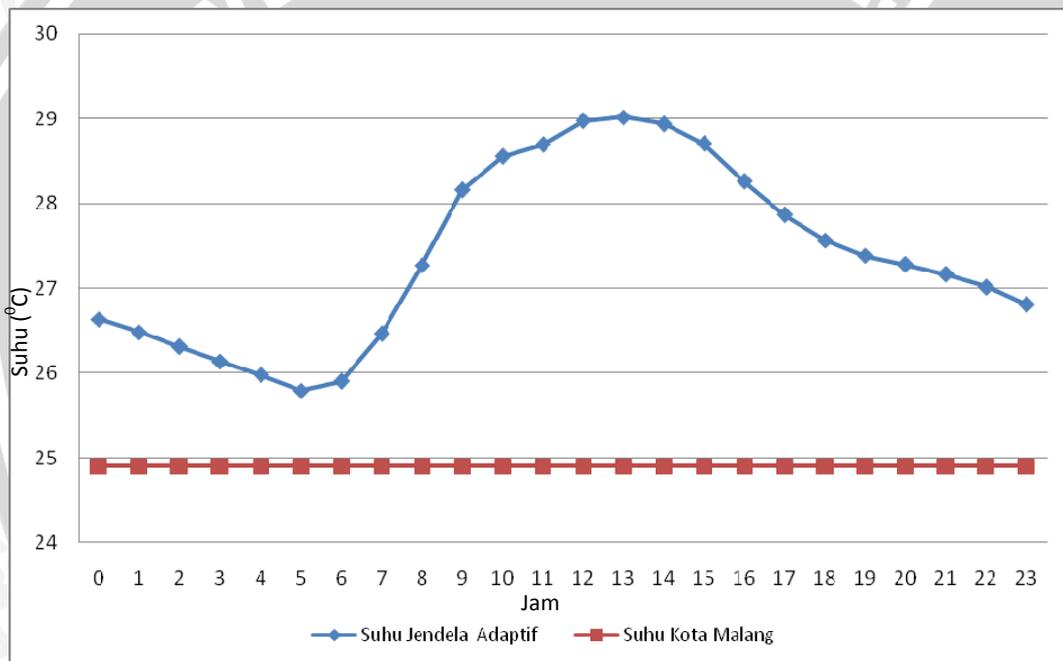
Gambar 36. Kelembaban Udara Jendela Adaptif Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

Kondisi suhu udara Jendela Adaptif (di dalam ruang) selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 37.

Berdasarkan data tersebut, suhu terendah terjadi pada pukul 5 pagi sebesar $25,79^{\circ}\text{C}$ dan tertinggi terjadi pada pukul 1 siang sebesar $29,01^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu rerata harian musim kemarau 2013 adalah $27,38^{\circ}\text{C}$.

Berdasar suhu nyaman (Nugroho, 2007), daerah ini memiliki suhu yang cukup tinggi dengan perbedaan $2,48^{\circ}\text{C}$.

Dengan jangkauan zona nyaman sebesar 5°C , dapat meluas $2,5^{\circ}\text{C}$ keatas dan kebawah (Szokolay, 1997), maka suhu jendela adaptif berada batas suhu nyaman.



Gambar 37. Suhu Udara Jendela Adaptif Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

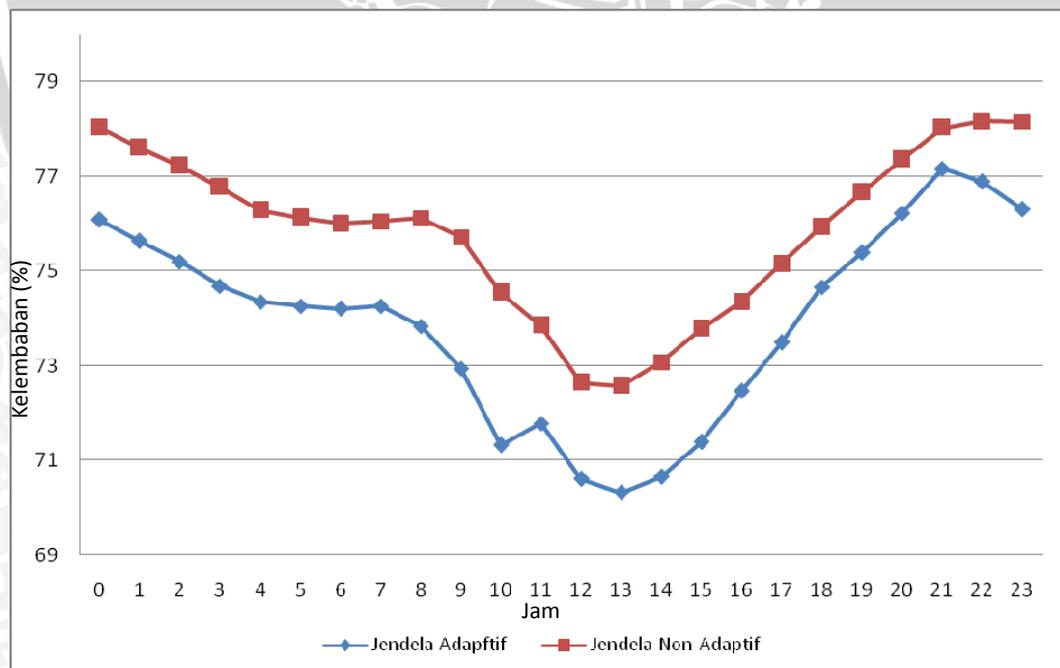
4.3 Perbandingan

Perbandingan kelembaban udara Jendela Non-Adaptif dengan Jendela Adaptif setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 38.

Berdasarkan data tersebut, kelembaban rata-rata Jendela Adaptif memiliki selisih 1,92% dengan rata-rata Jendela Non-Adaptif. Kinerja Jendela Adaptif dapat mendekati kenyamanan termal dalam memaksimalkan tanggapan terhadap kelembaban. Namun kinerja Jendela Adaptif dinilai kurang pada pukul 11 siang. Dimana persentase kelembaban menjadi naik, padahal pada Jendela Non-Adaptif kelembaban turun.

Perbedaan penurunan kelembaban bila dilihat dari gambar 38 dengan tidak memperhitungkan rata-rata, maka perbedaan grafik berada pada selisih mendekati 2%.

Perbedaan kelembaban Jendela Adaptif dengan *Outdoor* mengikuti pergerakan matahari. Pada saat matahari tenggelam, terjadi perbedaan kelembaban sebesar 17,5%. Pada saat matahari beredar, terjadi perbedaan kelembaban sebesar 15%. Perbedaan ini diambil berdasar jangkauan rata-rata masing-masing waktu.



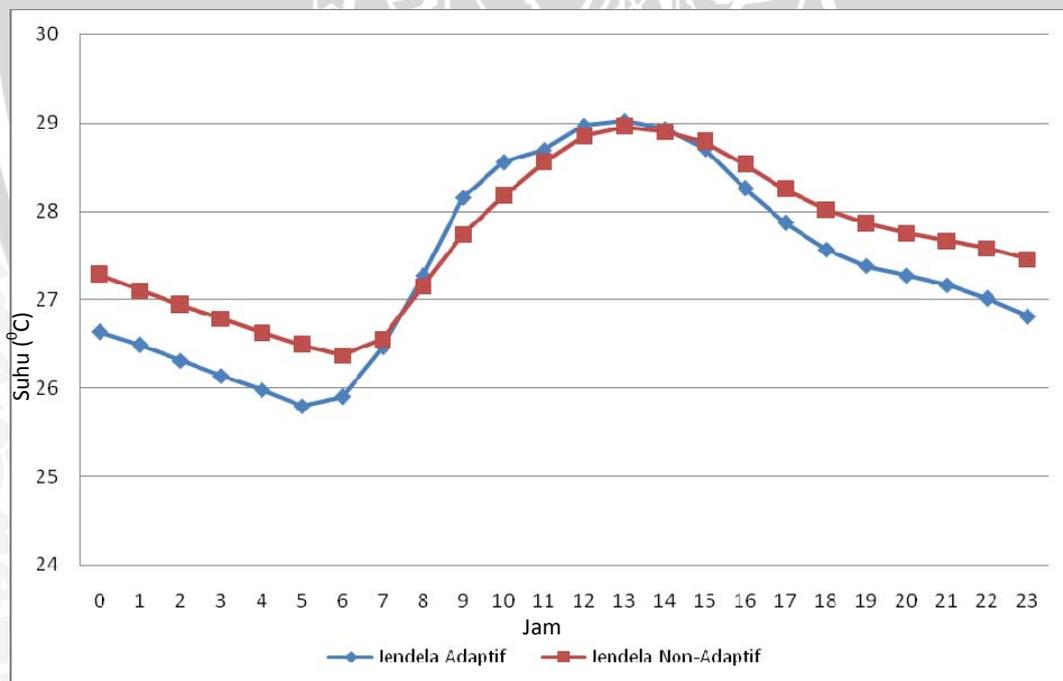
Gambar 38. Perbandingan kelembaban Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

Perbandingan suhu udara Jendela Non-Adaptif dengan Jendela Adaptif setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 39.

Berdasarkan data tersebut, suhu rata-rata memiliki selisih $0,30^{\circ}\text{C}$. Kinerja Jendela Adaptif kurang dapat mendekati kenyamanan termal dalam memaksimalkan tanggapan terhadap suhu. Kinerja Jendela Adaptif juga dinilai kurang pada pukul 8 pagi hingga pukul 2 siang. Dimana persentase suhu menjadi lebih tinggi (lebih panas) dari pada Jendela Non-Adaptif yang menjadi turun (lebih dingin).

Perbedaan penurunan suhu bila dilihat dari gambar 39 dengan tidak memperhitungkan rata-rata, maka perbedaan grafik berada pada selisih mendekati $0,60^{\circ}\text{C}$.

Perbedaan suhu Jendela Adaptif dengan *Outdoor* mengikuti pergerakan matahari. Pada saat matahari tenggelam, terjadi perbedaan suhu sebesar $3,33^{\circ}\text{C}$. Pada saat matahari beredar, terjadi perbedaan suhu sebesar $3,64\%$. Perbedaan ini diambil berdasar jangkauan rata-rata masing-masing waktu.



Gambar 39. Perbandingan suhu Pada Area Penelitian Musim Kemarau Tahun 2013

Dari hasil perbandingan kelembaban dan suhu, perbandingan Jendela Non-Adaptif, Jendela Adaptif dengan *Outdoor* dapat disimpulkan.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kelembaban

No	Komponen	Outdoor	Jendela Non-Adaptif	Jendela Adaptif
1	Terendah	91,97%	78,17%	70,31%
2	Tertinggi	55,83%	72,57%	77,16%
3	Rata-rata	80,64%	75,83%	73,91%
4	Selisih dengan standart	8,64%	3,83%	1,91%

Catatan : Kelembaban standart Kota Malang 72 %

Tabel 3. Hasil Pengukuran Suhu

No	Komponen	Outdoor	Jendela Non-Adaptif	Jendela Adaptif
1	Terendah	22,46 ⁰ C	26,36 ⁰ C	25,79 ⁰ C
2	Tertinggi	32,47 ⁰ C	28,95 ⁰ C	29,01 ⁰ C
3	Rata-rata	26,30 ⁰ C	27,68 ⁰ C	27,38 ⁰ C
4	Selisih dengan standart	1,4 ⁰ C	2,78 ⁰ C	2,48 ⁰ C

Catatan : Suhu standart Kota Malang 24,9⁰C

4.4 Simulasi Analisa Komputer

Simulasi dalam penelitian ini bertujuan sebagai instrumen untuk mengetahui kondisi kenyamanan pada suatu obyek penelitian. Metode ini merupakan lanjutan dari pengujian lapangan. Adapun piranti lunak yang digunakan Ecotect Analysis 2011. Piranti lunak ini sudah digunakan secara komersil untuk membantu evaluasi ataupun perencanaan bangunan atau pun kawasan.

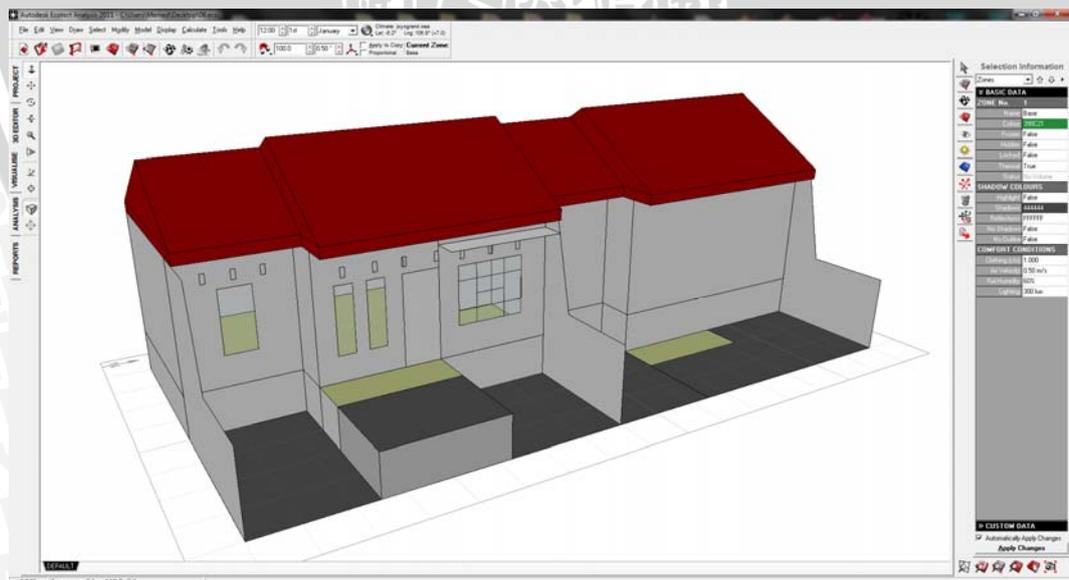
Pada proses simulasi termal, metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Simulasi dilakukan sebanyak lima kali.

a. Tahapan Awal

Tahap awal adalah membuat zona bentukan *eksisting* bangunan termasuk bukaan pintu dan jendela. Obyek yang dibentuk merupakan obyek penelitian.

Keterbatasan perangkat lunak dalam penelitian ini adalah hanya dapat menguji tiap zona dan obyek yang akan disimulasikan harus beserta bangunan sekelilingnya. Oleh karena itu pembuatan model hanya pada obyek penelitian dan sekitarnya.

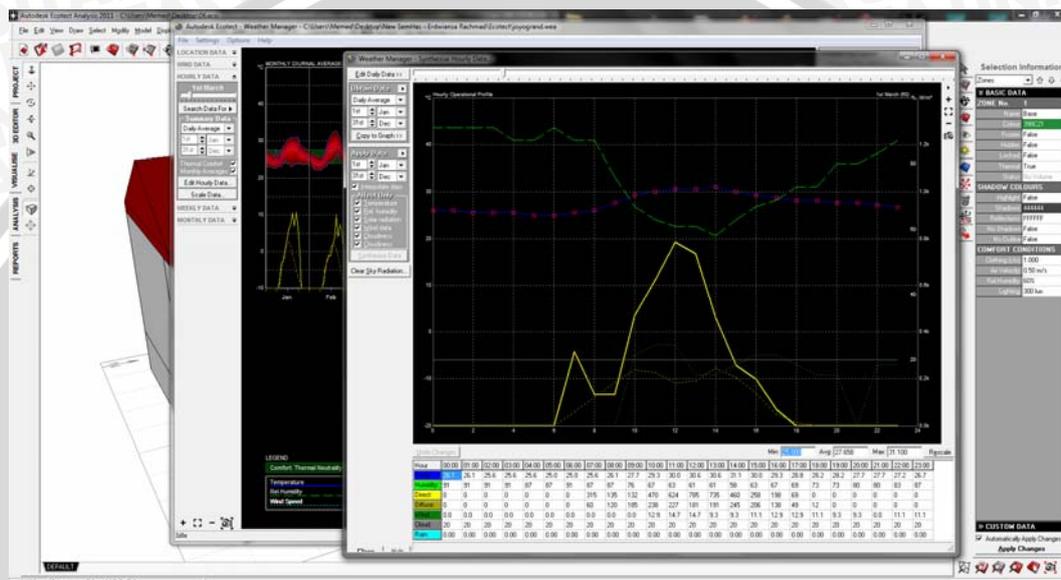
Seting zona, ukuran dan material menggunakan kondisi sebenarnya.



Gambar 40. Pemodelan Rumah dalam Ecotect Analysis 2011

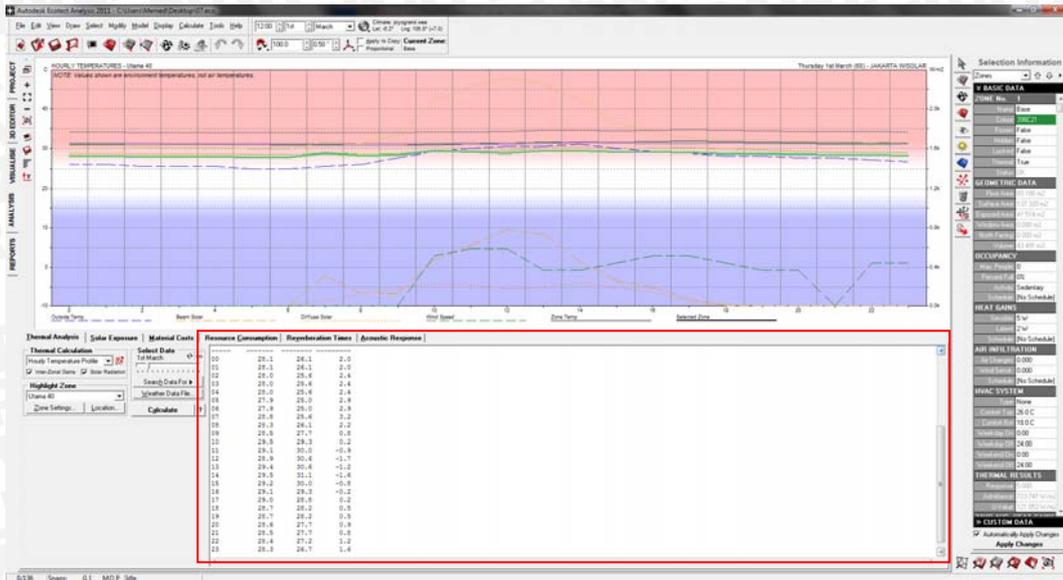
Kemudian melakukan *input* data iklim yang telah terukur dilapangan sebelumnya. *Input* data iklim ini diharapkan agar meminimalisir perbedaan hasil pengukuran lapangan dengan pengukuran simulasi perangkat lunak.

Input data terkait data suhu dan kelembaban *Outdoor*. Pada proses ini, data di-*input* pertanggal dan jam pada waktu-waktu penelitian. Hal ini dilakukan guna meminimalisir kesalahan proses simulasi.



Gambar 41. Proses *Input* Hasil Pengukuran lapangan

Setelah data telah ter-*input*, proses analisa dimulai. Dimana proses ini cukup membutuhkan waktu karena proses analisa yang dilakukan perangkat lunak. Proses ini melakukan dua kali perhitungan, yaitu perhitungan dengan kondisi *outdoor*, dimana data pengukuran lapangan belum ter-*input* dan kondisi zona penelitian, dimana perhitungan dengan kondisi data ter-*input*.

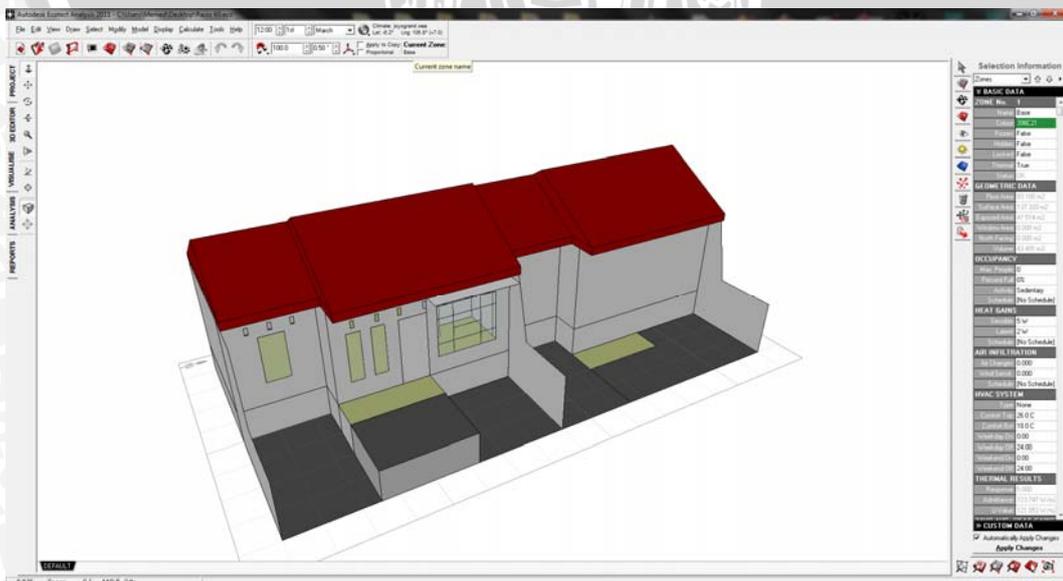


Gambar 42. Hasil Analisa Simulasi Ecotect Analysis 2011

Hasil yang diperoleh oleh Ecotect Analysis 2011 kemudian dikonversi pada perangkat lunak Microsoft Excel.

b. Tahapan Kedua, Simulasi Rasio 60%

Tahap simulasi rasio 60% adalah dengan memodifikasi obyek penelitian, khususnya pada obyek jendela. Modifikasi yang dilakukan adalah merubah besaran jendela. Pada *eksisting* menggunakan rasio 50% dan pada simulasi ini menggunakan rasio 60% dengan tidak merubah zona dan material yang telah terpakai sebelumnya.



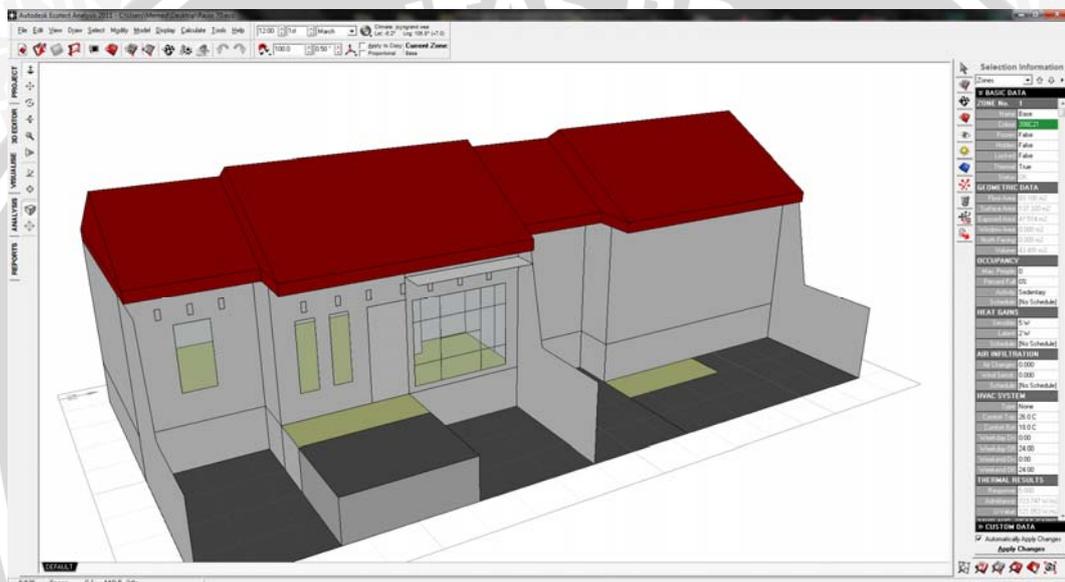
Gambar 43. Pemodelan Rumah Rasio 60%



Hasil yang diperoleh oleh Ecotect Analysis 2011 kemudian dikonversi pada perangkat lunak Microsoft Excel.

c. Tahapan Ketiga, Simulasi Rasio 70%

Tahap simulasi rasio 70% adalah dengan memodifikasi obyek penelitian, khususny pada obyek jendela. Modifikasi yang dilakukan adalah merubah besaran jendela. Pada *eksisting* menggunakan rasio 50% dan pada simulasi ini menggunakan rasio 70% dengan tidak merubah zona dan material yang telah terpakai sebelumnya.



Gambar 44. Pemodelan Rumah Rasio 70%

Hasil yang diperoleh oleh Ecotect Analysis 2011 kemudian dikonversi pada perangkat lunak Microsoft Excel.

d. Tahapan Keempat, Simulasi Rasio 80%

Tahap simulasi rasio 80% adalah dengan memodifikasi obyek penelitian, khususny pada obyek jendela. Modifikasi yang dilakukan adalah merubah besaran jendela. Pada *eksisting* menggunakan rasio 50% dan pada simulasi ini menggunakan rasio 80% dengan tidak merubah zona dan material yang telah terpakai sebelumnya.

e. Tahapan Kelima, Mengubah Arah Orientasi Bangunan.

Tahap mengubah arah orientasi bangunan adalah dengan memodifikasi arah hadap bangunan. Modifikasi yang dilakukan adalah memutar obyek simulasi sesuai dengan arah mata angin.

Karena pada *eksisting* bangunan menghadap arah timur, maka simulasi mengubah arah orientasi bangunan dihadapkan menghadap arah Utara, Barat dan Selatan.

Untuk tahapan simulasi ini menggunakan besaran rasio 50% saja. Hal ini dikarenakan untuk mengetahui perbedaan dengan obyek penelitian.

4.4.1 Modifikasi Rasio

Hasil dari Jendela Adaptif dengan Jendela Non-Adaptif menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan, yaitu rata-rata sebesar $0,30^{\circ}\text{C}$ dan perbedaan grafik mendekati $0,60^{\circ}\text{C}$. Maka perlu adanya modifikasi agar bisa menurunkan suhu.

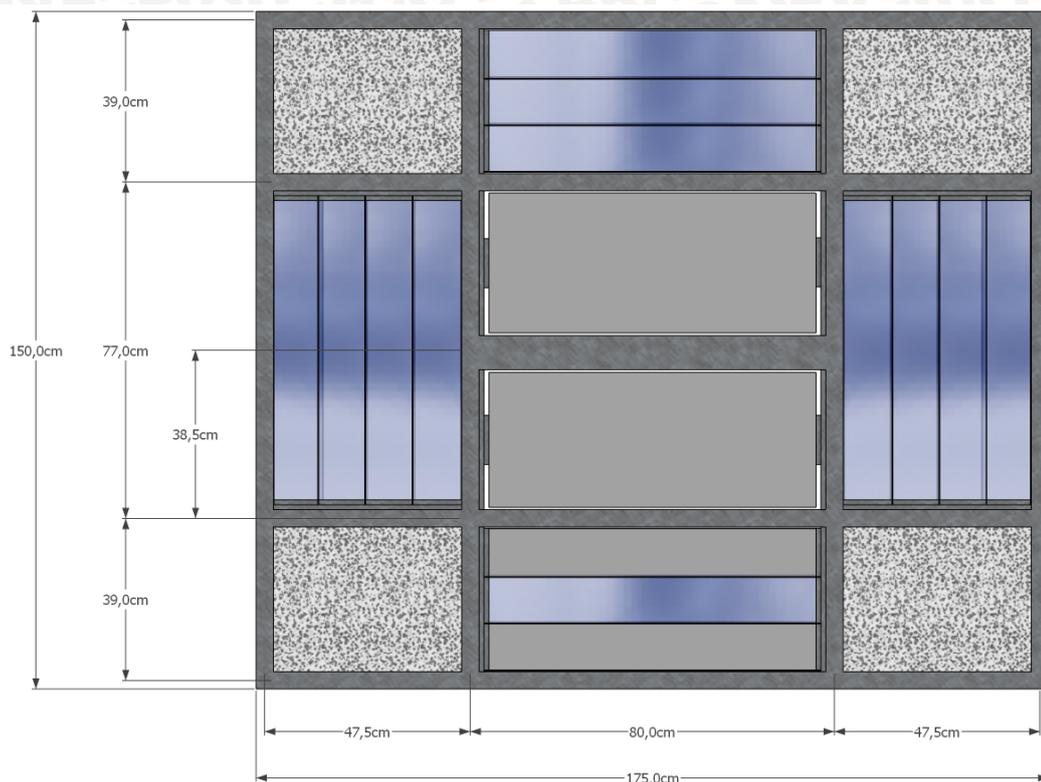
Modifikasi rasio Jendela Adaptif dilakukan dengan merubah rasio, dimana rasio Jendela Adaptif sebelumnya berasio 50%. Bukaan rasio akan dilakukan dengan nilai kenaikan 10% dan tidak melebihi luas dinding.

Penggunaan rasio berdasarkan dengan perbandingan pada luas lantai, sesuai dengan awal penelitian ini, bukan terhadap panjang dan lebar Jendela Adaptif.

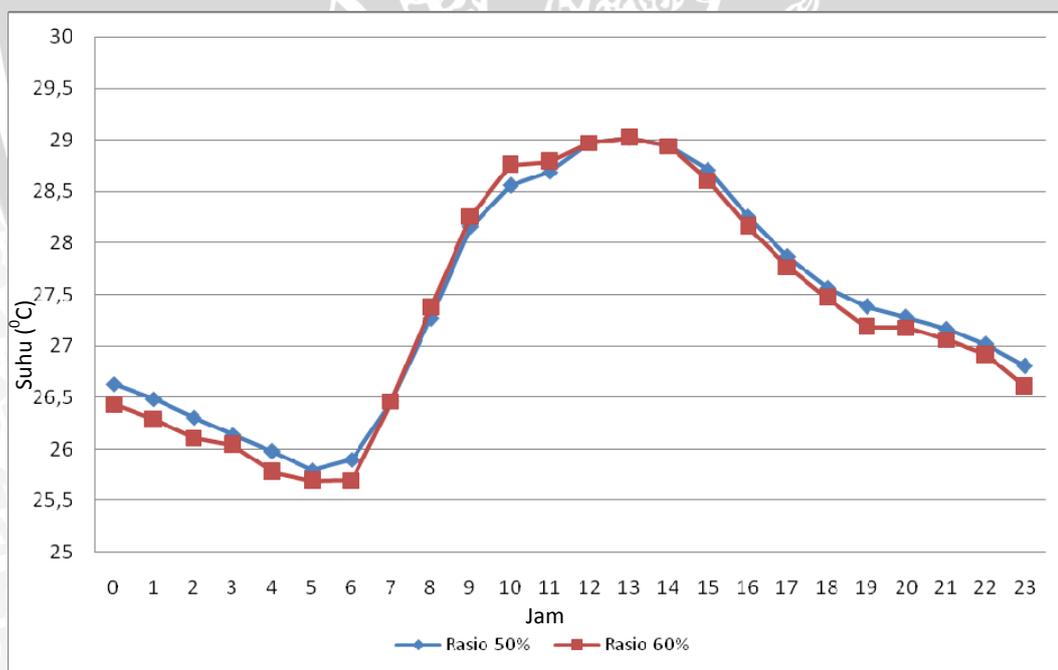
- a) Rasio bukaan menjadi 60%

Tabel 4. Hasil Analisa Rasio 60%

Zone: Utama 40			
Avg, Temperature: 27,2 C (Ground 27,6 C)			
Total Surface Area: 42,082 m2 (730,6% flr area),			
Total Exposed Area: 11,705 m2 (203,2% flr area),			
Total North Window: 0,000 m2 (0,0% flr area),			
Total Window Area: 2,798 m2 (48,6% flr area),			
Total Conductance (AU): 40 W/°K			
Total Admittance (AY): 178 W/°K			
Response Factor: 4,19			
HOUR	INSIDE	OUTSIDE	TEMP,DIF
0	26,4	23,8	2,6
1	26,3	23,4	2,9
2	26,1	23,1	3,0
3	26,0	22,9	3,1
4	25,8	22,7	3,1
5	25,7	22,5	3,2
6	25,7	22,5	3,2
7	26,5	26,7	-0,2
8	27,4	30,9	-3,5
9	28,3	32,7	-4,4
10	28,8	33,9	-5,1
11	28,8	34,2	-5,4
12	29,0	32,4	-3,4
13	29,0	31,1	-2,1
14	28,9	29,3	-0,4
15	28,6	28,2	0,4
16	28,2	26,9	1,3
17	27,8	25,8	2,0
18	27,5	25,2	2,3
19	27,2	24,9	2,3
20	27,2	24,5	2,7
21	27,1	24,3	2,8
22	26,9	24,2	2,7
23	26,6	24,0	2,6



Gambar 45. Gambar Jendela Adaptif Dengan Rasio Menjadi 60%



Gambar 46. Perbandingan Jendela Adaptif Rasio 50% dengan Rasio 60%

Perbandingan suhu Jendela Adaptif rasio 50% dengan 60% setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 46.

Berdasarkan data tersebut, perbedaan grafik mendekati $0,20^{\circ}\text{C}$ dan memiliki rata-rata suhu harian sebesar $27,30^{\circ}\text{C}$.

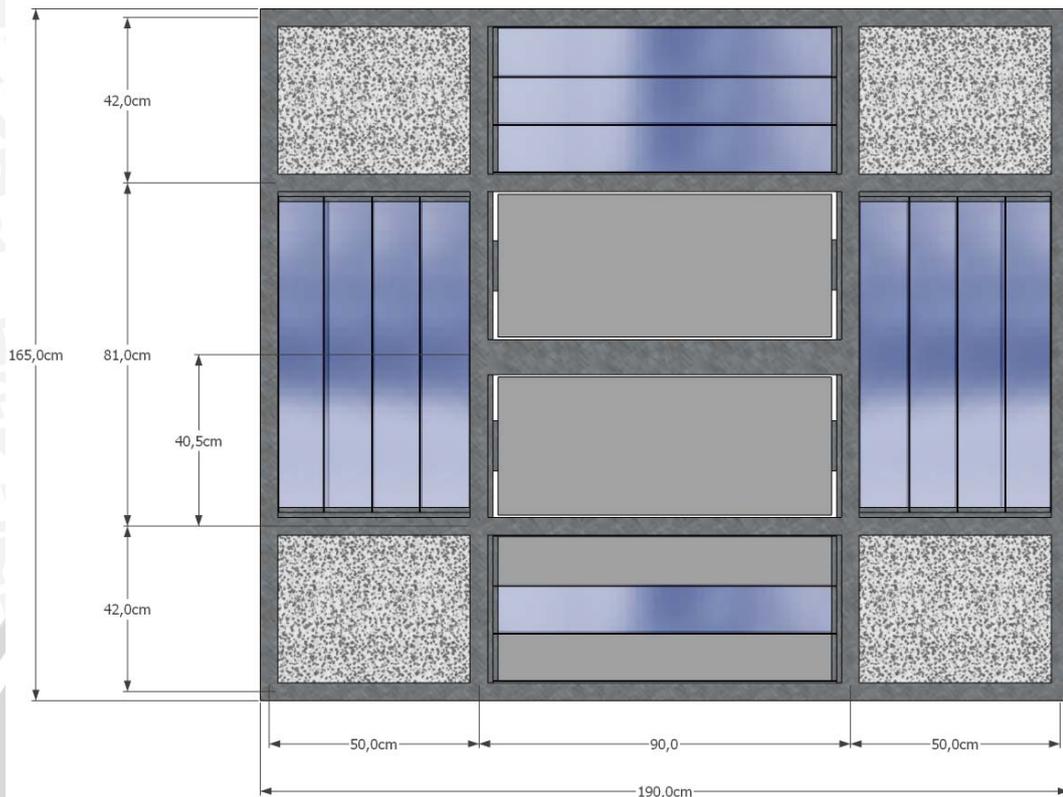
Kinerja Jendela Adaptif dengan rasio 60% lebih dapat mendekati kenyamanan termal dalam memaksimalkan tanggapan terhadap suhu dari pada Jendela Adaptif dengan rasio 50%.



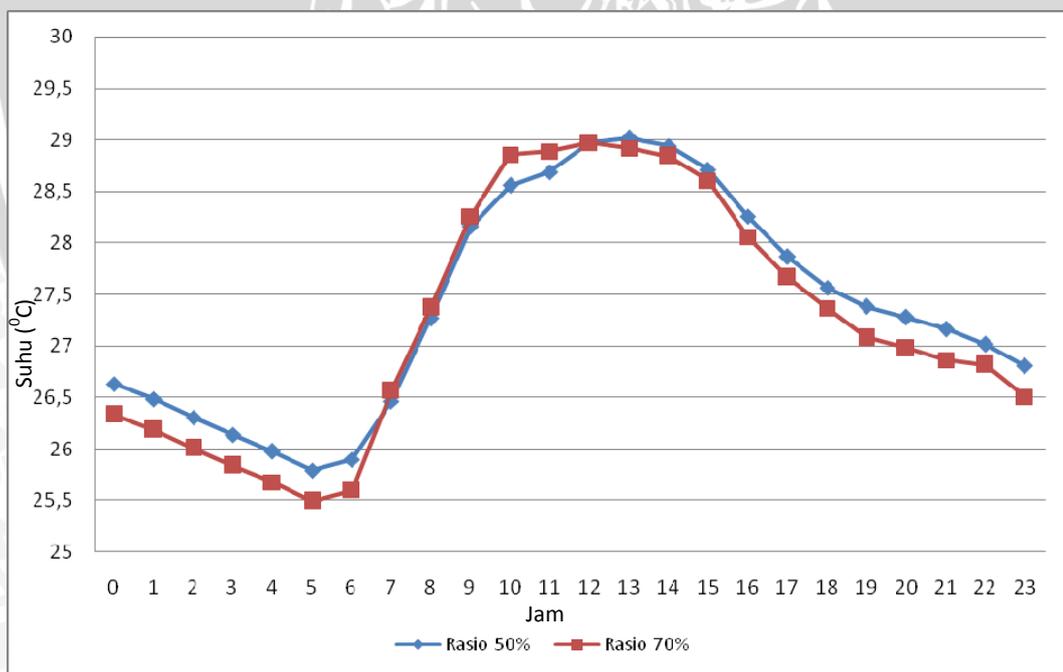
b) Rasio bukaan menjadi 70%

Tabel 5. Hasil Analisa Rasio 70%

Zone: Utama 40			
Avg, Temperature: 27,2 C (Ground 27,6 C)			
Total Surface Area: 42,505 m2 (737,9% flr area),			
Total Exposed Area: 12,128 m2 (210,6% flr area),			
Total North Window: 0,000 m2 (0,0% flr area),			
Total Window Area: 3,220 m2 (55,9% flr area),			
Total Conductance (AU): 43 W/°K			
Total Admittance (AY): 180 W/°K			
Response Factor: 4,01			
HOUR	INSIDE	OUTSIDE	TEMP,DIF
0	26,4	23,8	2,6
1	26,3	23,4	2,9
2	26,1	23,1	3,0
3	26,0	22,9	3,1
4	25,8	22,7	3,1
5	25,7	22,5	3,2
6	25,7	22,5	3,2
7	26,5	26,7	-0,2
8	27,4	30,9	-3,5
9	28,3	32,7	-4,4
10	28,8	33,9	-5,1
11	28,8	34,2	-5,4
12	29,0	32,4	-3,4
13	29,0	31,1	-2,1
14	28,9	29,3	-0,4
15	28,6	28,2	0,4
16	28,2	26,9	1,3
17	27,8	25,8	2,0
18	27,5	25,2	2,3
19	27,2	24,9	2,3
20	27,2	24,5	2,7
21	27,1	24,3	2,8
22	26,9	24,2	2,7
23	26,6	24,0	2,6



Gambar 47. Gambar Jendela Adaptif Dengan Rasio Menjadi 70%



Gambar 48. Perbandingan Jendela Adaptif Rasio 50% dengan Rasio 70%

Perbandingan suhu Jendela Adaptif rasio 50% dengan 70% setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 48.

Berdasarkan data tersebut, perbedaan grafik mendekati $0,40^{\circ}\text{C}$ dan memiliki rata-rata suhu harian sebesar $27,20^{\circ}\text{C}$.

Kinerja Jendela Adaptif dengan rasio 70% lebih dapat mendekati kenyamanan termal dalam memaksimalkan tanggapan terhadap suhu dari pada Jendela Adaptif dengan rasio 50% dan rasio 60%.

c) Rasio bukaan menjadi 80%

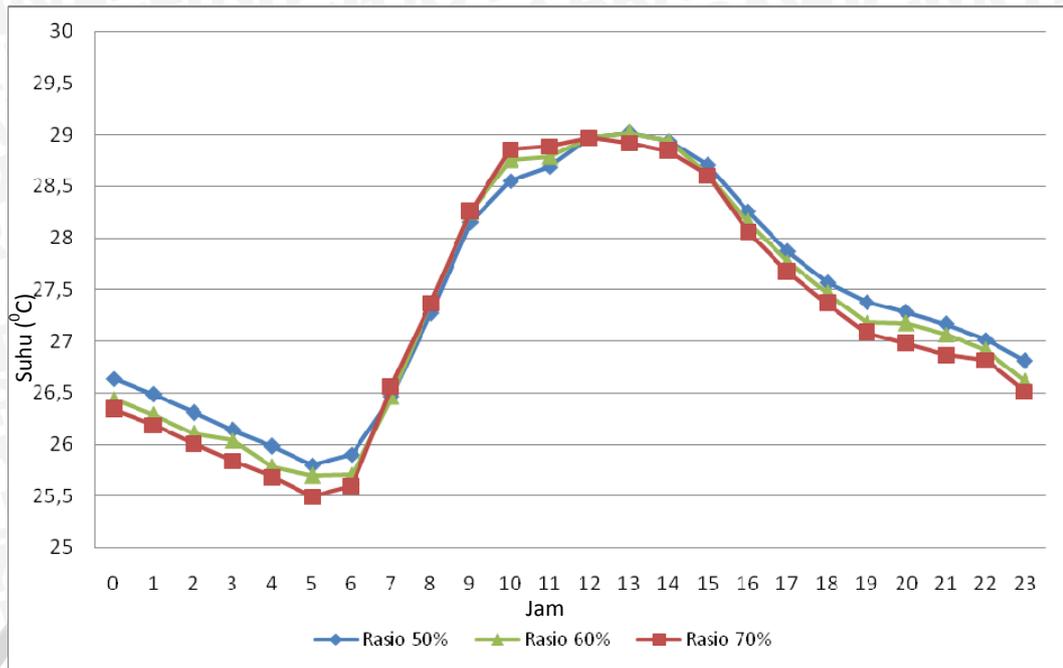
Ukuran jendela sesuai dengan rasio 80% memiliki panjang 2,56m dan lebar 2,24m. Hal ini tidak dapat disimulasikan karena rumah sederhana yang digunakan untuk penelitian memiliki panjang 2,55m. Jadi apabila Jendela Adaptif dengan rasio 80% memiliki panjang yang lebih panjang dari batasan ruang yang digunakan dalam penelitian.

d) Perbandingan

Perbandingan simulasi perubahan rasio-rasio Jendela Adaptif setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 49.

Berdasarkan data tersebut, suhu rata-rata Jendela Adaptif memiliki penurunan $0,10^{\circ}\text{C}$ setiap perubahan rasio 10%. Kinerja Jendela Adaptif dengan rasio 70% lebih dapat mendekati kenyamanan termal dalam memaksimalkan tanggapan terhadap suhu dari pada Jendela Adaptif dengan rasio 50% dan rasio 60%.

Terdapat catatan pada Jendela Adaptif. Yaitu dimana saat terdapat matahari suhu yang dihasilkan berbanding terbalik dibandingkan dengan pada saat tidak terdapat matahari. Bisa dikatakan, apabila rasio semakin besar, maka kenaikan suhu pada saat terdapat matahari semakin tinggi, dan pada saat tidak terdapat matahari mengalami penurunan suhu.



Gambar 49. Perbandingan Jendela Adaptif Rasio 50% Dengan Rasio 60% dan Dengan Rasio 70%

Tabel 6. Hasil Simulasi Besaran Rasio

No	Komponen	Rasio 70%	Rasio 60%	Rasio 50%
1	Terendah	25,19 ⁰ C	25,70 ⁰ C	25,80 ⁰ C
2	Tertinggi	29,00 ⁰ C	29,00 ⁰ C	29,00 ⁰ C
3	Rerata	27,20 ⁰ C	27,30 ⁰ C	27,40 ⁰ C
4	Selisih dengan standart	2,30 ⁰ C	2,40 ⁰ C	2,50 ⁰ C

Catatan : Suhu standart Kota Malang 24,9⁰C

4.4.2 Modifikasi Orientasi Bangunan

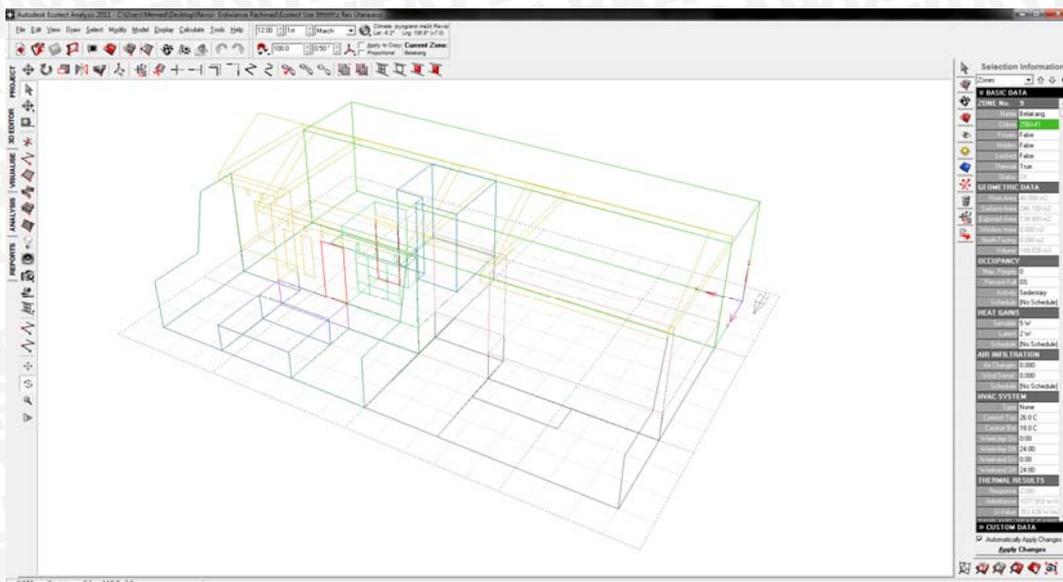
Dengan jangkauan zona nyaman sebesar 5⁰C, dapat meluas 2,5⁰C keatas dan kebawah (Szokolay, 1997), hasil dari Jendela Adaptif menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu terasa, yaitu rata-rata sebesar 0,30 dan perbedaan grafik mendekati 0,60⁰C. Maka perlu adanya modifikasi agar bisa menurunkan suhu.

Modifikasi orientasi bangunan dilakukan dengan merubah arah hadap bangunan. Dimana arah hadap obyek penelitian menghadap timur. Simulasi mengubah arah orientasi bangunan, dihadapkan menghadap arah Utara, Barat dan Selatan.

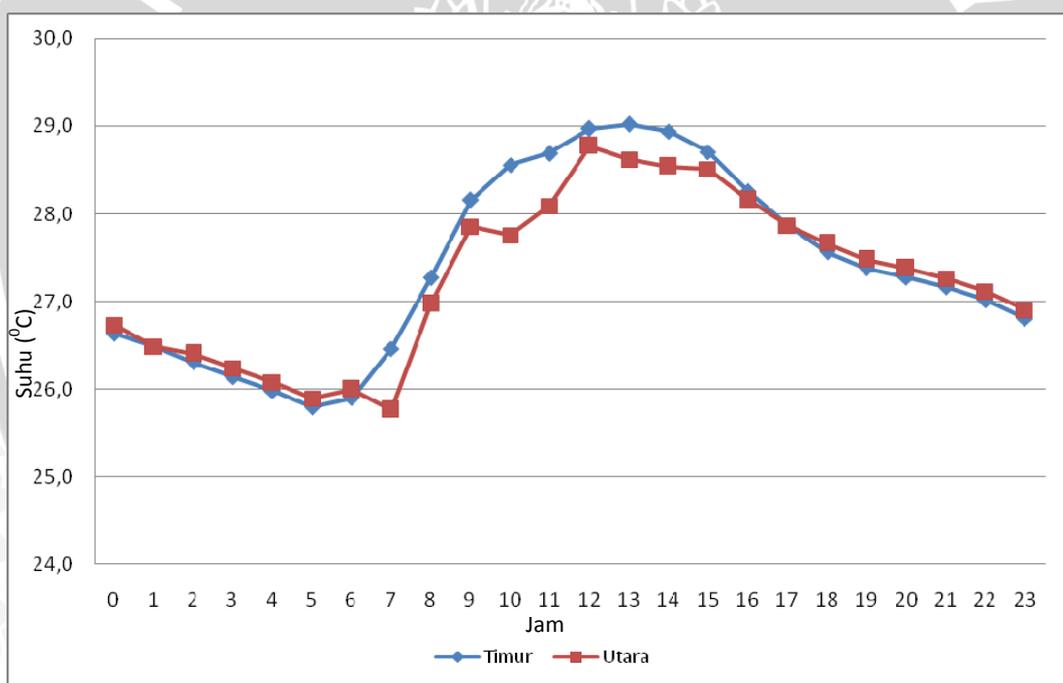
a) Orientasi Bangunan Utara

Tabel 7. Hasil Analisa Orientasi Utara

Zone: Utama 40			
Avg, Temperature: 27,2 C (Ground 27,6 C)			
Total Surface Area: 41,610 m2 (722,4% flr area),			
Total Exposed Area: 11,233 m2 (195,0% flr area),			
Total North Window: 0,085 m2 (1,5% flr area),			
Total Window Area: 2,325 m2 (40,4% flr area),			
Total Conductance (AU): 37 W/°K			
Total Admittance (AY): 175 W/°K			
Response Factor: 4,41			
HOUR	INSIDE	OUTSIDE	TEMP,DIF
0	26,4	23,8	2,6
1	26,3	23,4	2,9
2	26,1	23,1	3,0
3	26,0	22,9	3,1
4	25,8	22,7	3,1
5	25,7	22,5	3,2
6	25,7	22,5	3,2
7	26,5	26,7	-0,2
8	27,4	30,9	-3,5
9	28,3	32,7	-4,4
10	28,8	33,9	-5,1
11	28,8	34,2	-5,4
12	29,0	32,4	-3,4
13	29,0	31,1	-2,1
14	28,9	29,3	-0,4
15	28,6	28,2	0,4
16	28,2	26,9	1,3
17	27,8	25,8	2,0
18	27,5	25,2	2,3
19	27,2	24,9	2,3
20	27,2	24,5	2,7
21	27,1	24,3	2,8
22	26,9	24,2	2,7
23	26,6	24,0	2,6



Gambar 50. Pemodelan Orientasi Utara

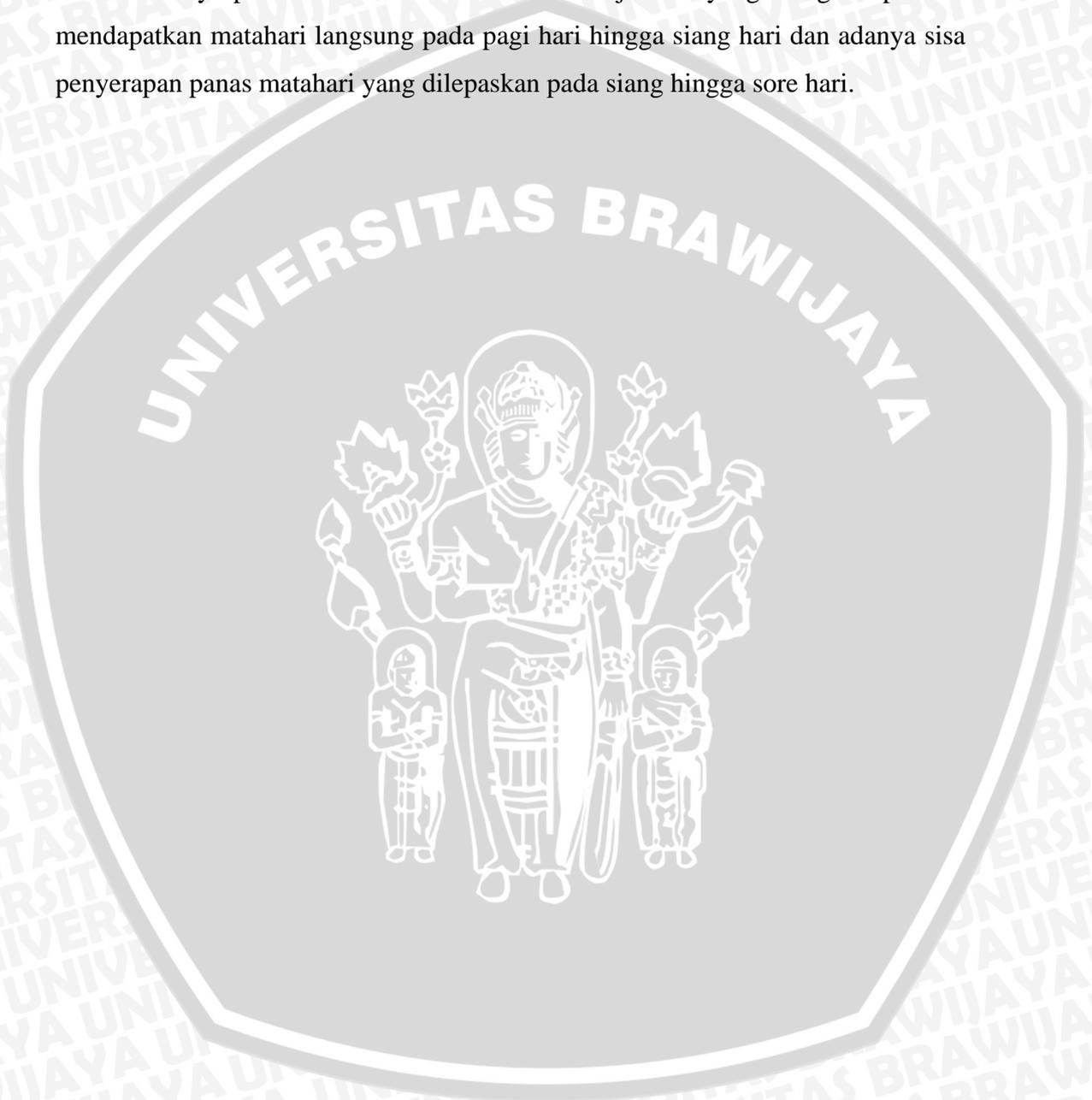


Gambar 51. Perbandingan Orientasi Timur dengan Orientasi Utara

Perbandingan suhu udara Jendela Adaptif Orientasi Timur dengan Orientasi Utara selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 51.

Berdasarkan data tersebut, terjadi perbedaan suhu pada pukul 7 pagi hingga pukul 5 sore.

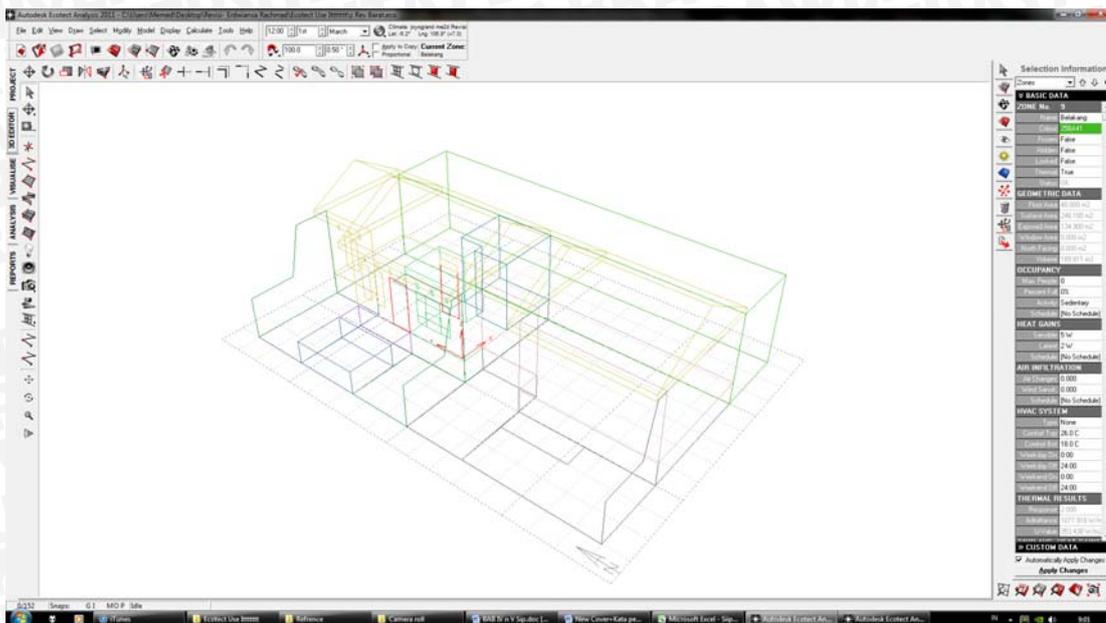
Adanya perbedaan ini disebabkan bukaan jendela yang menghadap timur mendapatkan matahari langsung pada pagi hari hingga siang hari dan adanya sisa penyerapan panas matahari yang dilepaskan pada siang hingga sore hari.



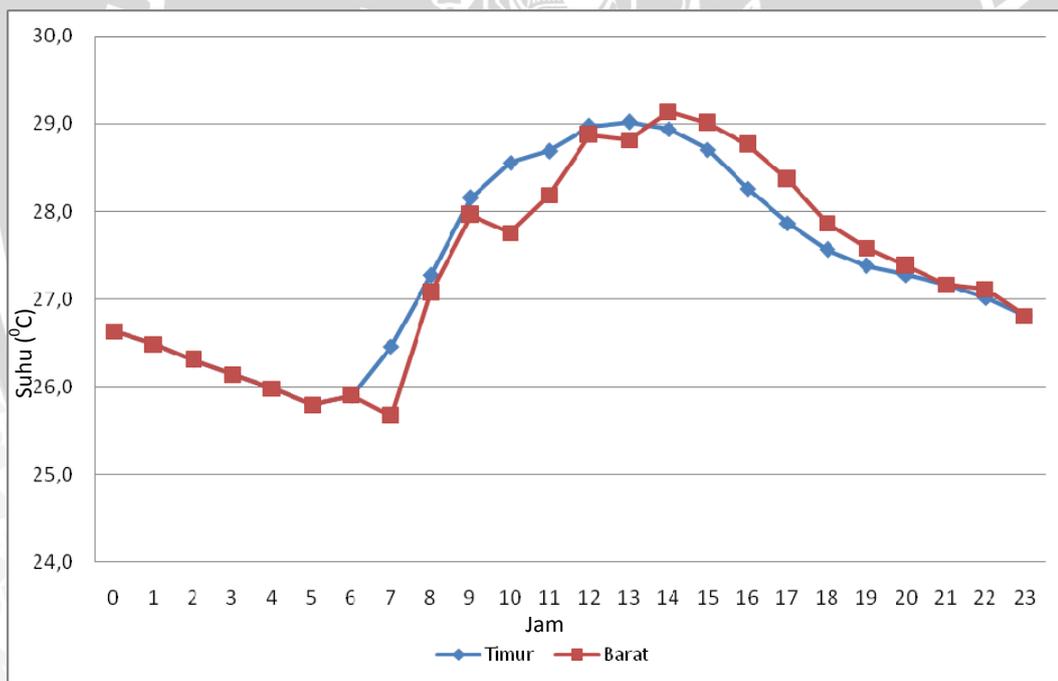
b) Orientasi Bangunan Barat

Tabel 8. Hasil Analisa Orientasi Barat

Zone: Utama 40			
Avg, Temperature: 27,2 C (Ground 27,6 C)			
Total Surface Area: 41,610 m2 (722,4% flr area),			
Total Exposed Area: 11,038 m2 (191,6% flr area),			
Total North Window: 0,000 m2 (0,0% flr area),			
Total Window Area: 2,325 m2 (40,4% flr area),			
Total Conductance (AU): 37 W/°K			
Total Admittance (AY): 175 W/°K			
Response Factor: 4,47			
HOUR	INSIDE	OUTSIDE	TEMP,DIF
0	26,6	23,8	2,8
1	26,5	23,4	3,1
2	26,3	23,1	3,2
3	26,1	22,9	3,2
4	26,0	22,7	3,3
5	25,8	22,5	3,3
6	25,9	22,5	3,4
7	25,7	26,7	-1,0
8	27,1	30,9	-3,8
9	28,0	32,7	-4,7
10	27,8	33,9	-6,1
11	28,2	34,2	-6,0
12	28,9	32,4	-3,5
13	28,8	31,1	-2,3
14	29,1	29,3	-0,2
15	29,0	28,2	0,8
16	28,8	26,9	1,9
17	28,4	25,8	2,6
18	27,9	25,2	2,7
19	27,6	24,9	2,7
20	27,4	24,5	2,9
21	27,2	24,3	2,9
22	27,1	24,2	2,9
23	26,8	24,0	2,8



Gambar 52. Pemodelan Orientasi Barat

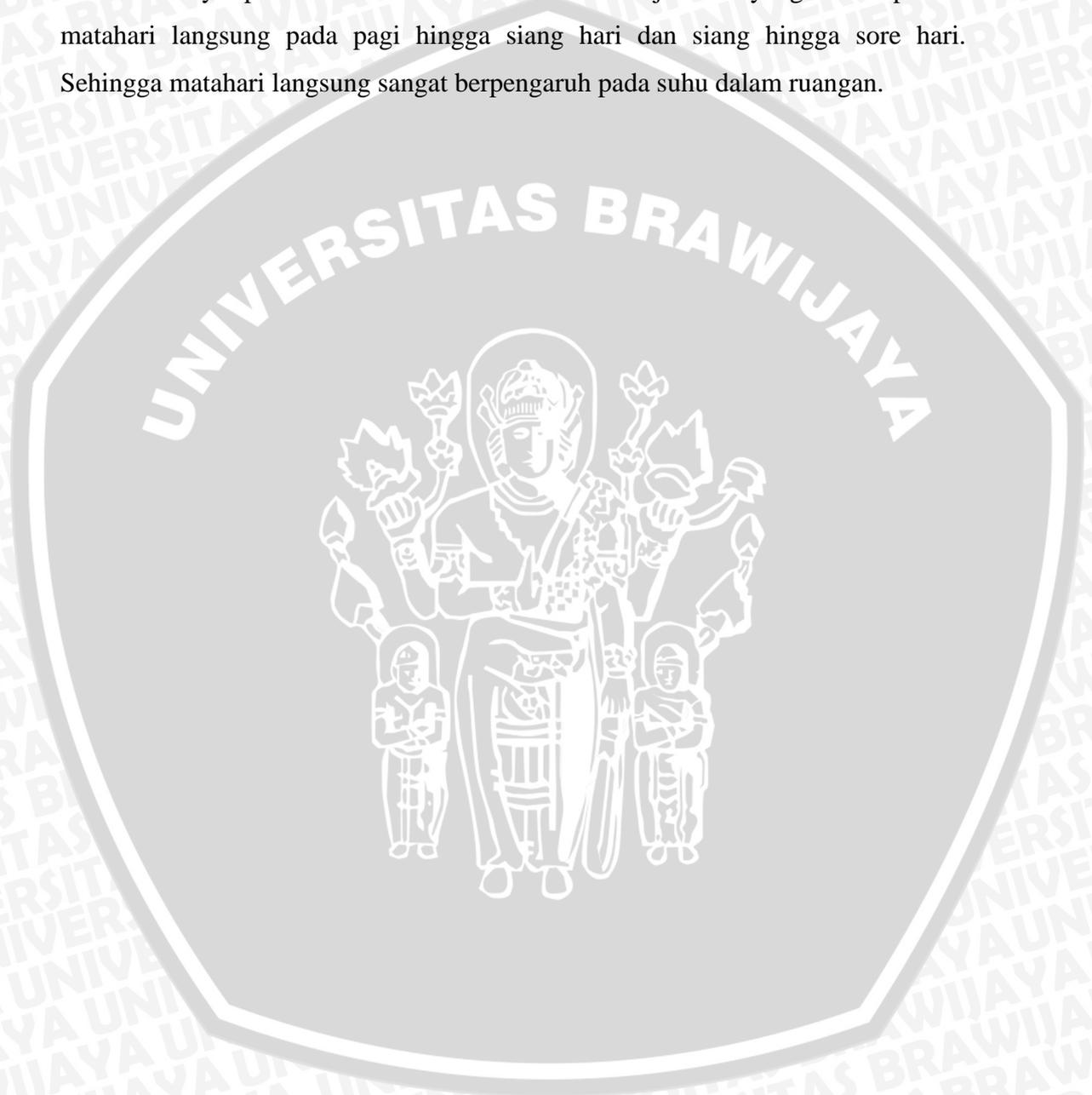


Gambar 53. Perbandingan Orientasi Timur dengan Orientasi Barat

Perbandingan suhu udara Jendela Adaptif Orientasi Timur dengan Orientasi Barat selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 53.

Berdasarkan data tersebut, terjadi perbedaan suhu pada pukul 6 pagi hingga pukul 8 sore.

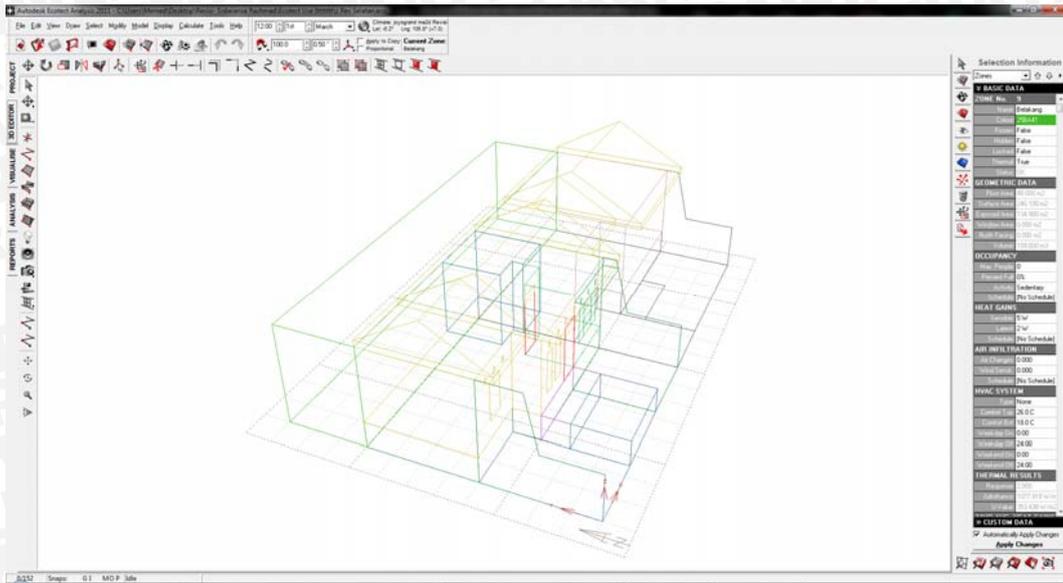
Adanya perbedaan ini disebabkan bukaan jendela yang mendapatkan matahari langsung pada pagi hingga siang hari dan siang hingga sore hari. Sehingga matahari langsung sangat berpengaruh pada suhu dalam ruangan.



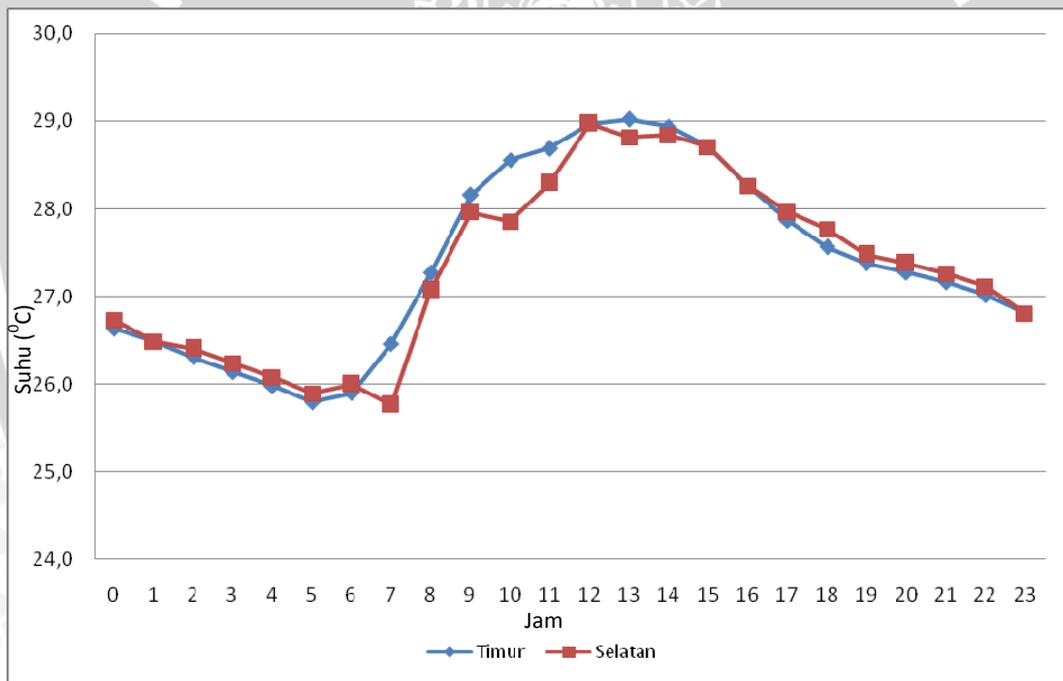
c) Orientasi Bangunan Selatan

Tabel 9. Hasil Analisa Orientasi Selatan

Zone: Utama 40			
Avg, Temperature: 27,2 C (Ground 27,6 C)			
Total Surface Area: 41,610 m2 (722,4% flr area),			
Total Exposed Area: 11,038 m2 (191,6% flr area),			
Total North Window: 0,085 m2 (1,5% flr area),			
Total Window Area: 2,325 m2 (40,4% flr area),			
Total Conductance (AU): 37 W/°K			
Total Admittance (AY): 175 W/°K			
Response Factor: 4,47			
HOUR	INSIDE	OUTSIDE	TEMP,DIF
0	26,6	23,8	2,8
1	26,5	23,4	3,1
2	26,3	23,1	3,2
3	26,1	22,9	3,2
4	26,0	22,7	3,3
5	25,8	22,5	3,3
6	25,9	22,5	3,4
7	25,7	26,7	-1,0
8	27,1	30,9	-3,8
9	28,0	32,7	-4,7
10	27,8	33,9	-6,1
11	28,2	34,2	-6,0
12	28,9	32,4	-3,5
13	28,8	31,1	-2,3
14	29,1	29,3	-0,2
15	29,0	28,2	0,8
16	28,8	26,9	1,9
17	28,4	25,8	2,6
18	27,9	25,2	2,7
19	27,6	24,9	2,7
20	27,4	24,5	2,9
21	27,2	24,3	2,9
22	27,1	24,2	2,9
23	26,8	24,0	2,8



Gambar 54. Pemodelan Orientasi Selatan



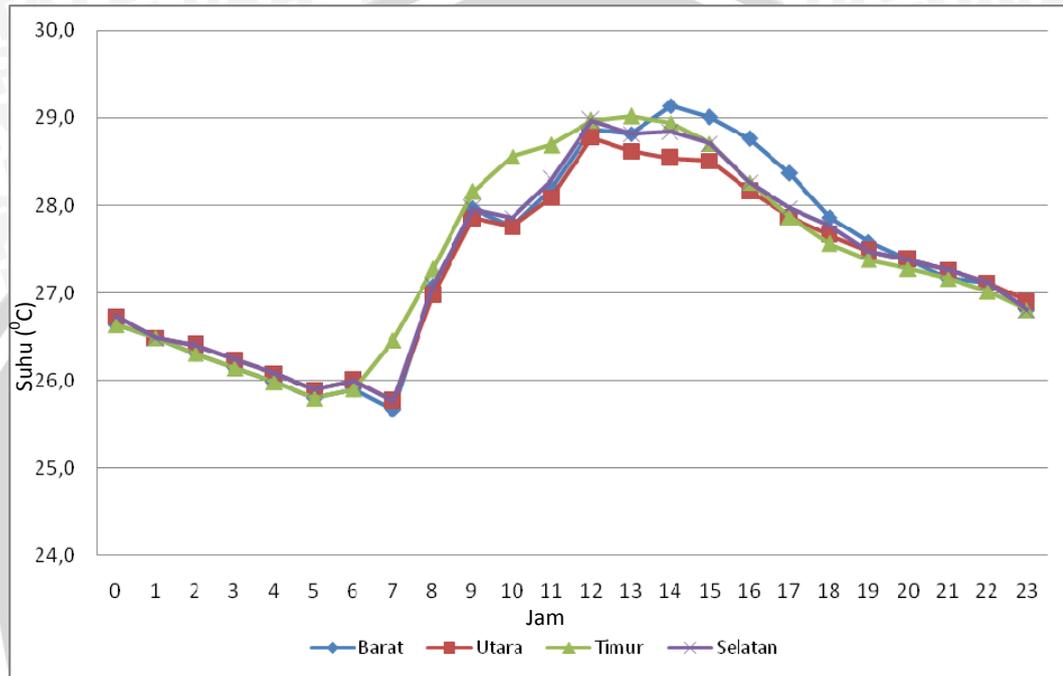
Gambar 55. Perbandingan Orientasi Timur dengan Orientasi Selatan

Perbandingan suhu udara Jendela Adaptif Orientasi Timur dengan Orientasi Selatan selama pengukuran setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 55.

Berdasarkan data tersebut, terjadi perbedaan suhu pada pukul 7 pagi hingga pukul 5 sore.

Hal yang sama terjadi dengan Orientasi Utara, adanya perbedaan ini disebabkan bukaan jendela yang menghadap timur mendapatkan matahari langsung pada pagi hingga siang hari dan adanya sisa penyerapan panas matahari yang dilepaskan pada siang hingga sore hari.

d) Perbandingan Orientasi



Gambar 56. Perbandingan Orientasi Semua Arah

Perbandingan simulasi perubahan Orientasi Jendela Adaptif terhadap semua arah setiap satu jam ditunjukkan dalam gambar 56.

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa Jendela Adaptif sangat tanggap terhadap pergerakan matahari. Dapat menurunkan suhu pada siang hari pada pukul 7 sampai 5 sore. Penurunan ini disesuaikan dengan arah hadap Jendela Adaptif, dimana pengaruh matahari sangat kuat. Hal ini bisa dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan penghuni rumah yang menerpakan Jendela Adaptif.

BAB V

KESIMPULAN

Kinerja Jendela Adaptif dapat mendekati kenyamanan termal dalam memaksimalkan tanggapan terhadap kelembaban. Kinerja Jendela Adaptif dapat menurunkan kelembaban sebesar 1,92% pada Musim Kemarau 2013. Hal ini merupakan bukti dari kinerja Jendela Adaptif.

Namun terdapat kekurangan dari Jendela Adaptif ini. Dimana kelembaban pada pukul 12 siang kinerja dalam menurunkan kelembaban menurun. Bila dibandingkan dengan Jendela Non-Adaptif, pada pukul 12 siang dapat menurunkan kelembaban. Sedangkan pada Jendela Adaptif menghasilkan kinerja yang berlawanan, dimana kelembaban menjadi naik.

Dalam hal termal suhu, kinerja Jendela Adaptif kurang dapat mendekati kenyamanan dalam memaksimalkan tanggapan terhadap suhu. Kinerja menurunkan suhu dibandingkan dengan Jendela Non-Adaptif hanya sebesar $0,30^{\circ}\text{C}$. Tetapi, dengan jangkauan zona nyaman sebesar 5°C , dapat meluas $2,5^{\circ}\text{C}$ keatas dan kebawah (Szokolay, 1997), maka jendela ini masih dalam kinerja yang tepat mendekati kenyamanan termal.

Namun terdapat kekurangan dari Jendela Adaptif ini. Dimana suhu pada pukul 8 pagi hingga pukul 1 siang kinerja dari Jendela Adaptif ini menurun. Bila dibandingkan dengan Jendela Non-Adaptif, Jendela Adaptif menghasilkan kinerja yang berlawanan. Dimana suhu menjadi naik.

Dari hasil yang ditunjukkan secara keseluruhan, kinerja Jendela Adaptif bisa dikatakan dapat mendekati kenyamanan termal, khususnya pada musim kemarau. Secara keseluruhan dapat menurunkan kelembaban dan suhu. Selain itu, kinerja Jendela Adaptif juga dapat mempertahankan kelembaban dan suhu dari pergerakan perubahan kelembaban dan suhu yang ekstrim.

Perubahan rasio Jendela Adaptif dapat dilakukan dengan menambah hingga 20% dari rasio Jendela Adaptif. Hal ini akan menurunkan suhu $0,10^{\circ}\text{C}$ pada rasio 60% dan menurunkan suhu $0,20^{\circ}\text{C}$ pada rasio 70% dibandingkan dengan rasio 50%.

Terdapat catatan pada perubahan rasio Jendela Adaptif. Yaitu dimana saat terdapat matahari suhu yang yang dihasilkan berbanding terbalik dibandingkan dengan pada saat tidak terdapat matahari. Bisa dikatakan, apabila rasio semakin besar, maka kenaikan suhu pada saat terdapat matahari semakin tinggi, dan pada saat tidak terdapat matahari mengalami penurunan suhu.

Jendela Adaptif sangat tanggap terhadap pergerakan matahari. Dapat menurunkan suhu pada siang hari pada pukul 7 sampai 5 sore. Penurunan ini disesuaikan dengan arah hadap Jendela Adaptif, dimana pengaruh matahari sangat kuat. Hal ini bisa dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan penghuni rumah yang menerpakan Jendela Adaptif.

Untuk penelitian selanjutnya :

1. Dapat menggabungkan penggunaan elemen jendela, elemen tambahan dan lubang ventilasi secara bersamaan untuk melihat pengaruhnya dalam bangunan.
2. Dapat mempertimbangkan variabel lain, seperti tata ruang interior ataupun perabot di dalamnya, tipe rumah yang berbeda serta pola hunian manusia dalam bangunan.
3. Elemen ruang luar termasuk kawasan dapat diikuti sertakan dalam penelitian untuk melihat pengaruhnya.

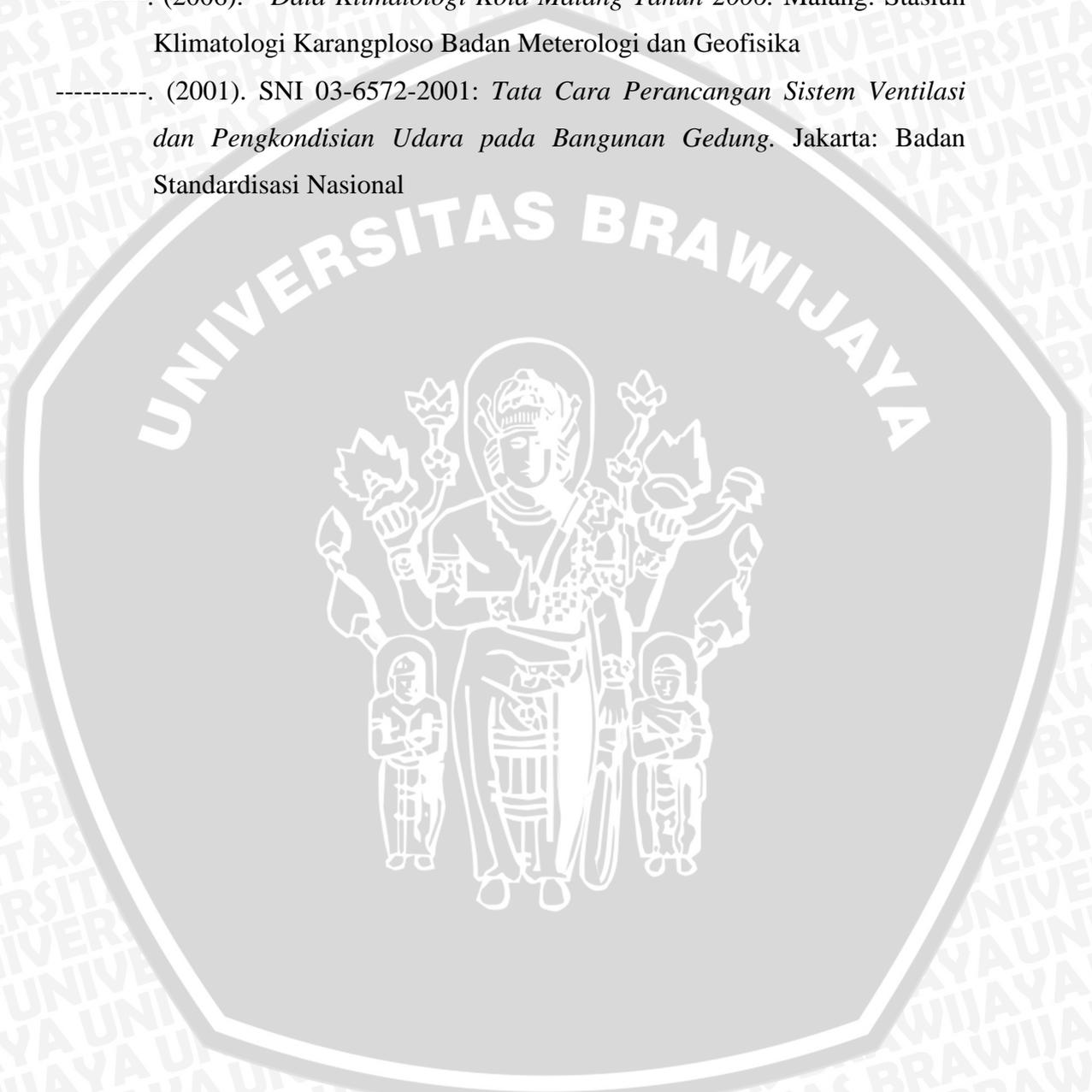
DAFTAR PUSTAKA

- Alfonso, Clito. (2000). *Soiar Chimneys: Simulation and Experiment. Energy and Buildings*. Vol. 32, Pergamon Press. 71-79.
- Auliciems, A. and Szokolay, S. (1997) *Thermal Comfort*. PLEA Note 3. PLEA International / University of Queensland.
- Amin, Muhammad., Danusputra, Hernowo., Prianto , Eddy. (2004). *Pengaruh Bukaah Terhadap Kenyamanan Thermal pada Bangunan Publik di Daerah Tropis (Studi kasus : Masjid Raya Al-Mashun Medan)*. [Http://Jurnal.unimus.ac.id](http://Jurnal.unimus.ac.id)
- Arrum C., Arranzi. (2008). *Konsep Arsitektur Tropis pada Fasade Perumahan di Kota Malang*. Skripsi tidak dipublikasikan, Malang: Universitas Brawijaya.
- Bansal, N. K., Mathur, R., Bhandari, M.S. (1994). *A Study of Solar Chimney Assisted Wind Tower System for Natural Ventilation in Buildings, Building and Environment*. Pergamon Press 29(4): 495-500.
- Bouted, Terry S. (1987). *Controlling Air Movement*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- Brager, G. S., De Dear, R. (2001). *Climate, Comfort & Natural Ventilation : A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55*. In : *Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century*, Windsor, UK, Loughborough University, pp. 60-77.
- Bradshaw, Vaughn. (1993). *Building Control System*. New York:John Wiley & Sons.
- Dewi, Cynthia Permata. (2008). *Pengoptimalan Penghawaan alami Melalui Pengolahan Elemen Bukaah Jendela dan Teritisan Bangunan Rumah Tinggal di Malang*. Skripsi tidak dipublikasikan, Malang: Universitas Brawijaya.
- Egan, M. David. (1975). *Concept in Termal Comfort*. London : Prentice-Hall International.
- Fanger, P. O. (1972) *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill, 1972. 244 pp.

- Fanger, P. O. (1982). *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Robert E. Krieger Publishing Company. Malabar.
- Fanger, P.O. and Toftum, J. (2001) *Thermal comfort in the future – Excellence and expectation*. In : Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century, Windsor, UK, Loughborough University. pp. 11- 18.
- Frick, Heinz. (1997). *Dasar-dasar Eko-Arsitektur*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hoppe, Peter. (2002). *Different Aspects of Assessing of Indoor & Outdoor Thermal Comfort*, *Journal: Energy and Buildings 34*, Elsevier Science. www.elsevier.com/locate/enbuild
- Humphreys, M. A and Nicol, J. F. (2001). *The validaty of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*. in : Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century, Windsor, UK, Loughborough University, 2001, pp. 406-430.
- Humphreys, M. A and Nicol, J. F. (2002). *Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings*. *Journal: Energy and Buildings 34*, Elsevier Science. www.elsevier.com/locate/enbuild
- Karyono, Tri Harso. (1999). *Arsitektur: Kemapanan Pendidikan kenyamanan dan Penghematan Energi*. Catur Libra Optima.
- Karyono, Tri Harso. (1995). *Termal Comfort for the Indonesian workers in Jakarta*. *Building Research and Information*. Vol. 23 (6).
- Khedari, J., Hirunlabh, J. and Bunnag, T. (1997). *Experimental study of a Roof Solar Collector Toward the Natural Ventilation of New House*. *Energy and Building*. 26: 159-165.
- Khedari, J., Boonsri, B. and Hirunlabh, J. (2000). *Ventilation Impact of a Solar Chimney on Indoor Temperature Fluctuation and Air Change in a School Building*. *Energy and Buildings*. 32: 89-93.
- Kurnianda.,Yoga Citra. (2009). *Optimalisasi Karakteristik Jendela Tanggap Iklim Tropis Lembab Pada Rumah Sederhana*. Kajian Penelitian tidak dipublikasikan, Malang: Universitas Brawijaya.
- Lippsmeier, Georg. (1994). *Bangunan Tropis Edisi 2*. Jakarta: Erlangga.
- Mangunwijaya, Y.B. (1988). *Pengantar Fisika Bangunan*. Jakarta: Djambatan.

- Nicol, Fergus. (2000). *Cimate and Thermal Comfort in India dalam Climate Responsive Architecture, A Design Handbook for Energy Efficient Buildings*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Nugroho, A.M. Djunaedi A. (2002). *Simulasi Kenyamanan Termal Pengaruh Besar Kecepatan Aliran Udara Terhadap Perpindahan Panas Tubuh Manusia dengan Program Computational Fluid Dynamics*. Jurnal Teknik, Unibraw.
- Nugroho, A.M. Hamdan A. (2007). *The Preliminary Study of Thermal Comfort in Malaysia's Single Storey Terraced House Journal of Asian Architecture and Building Engineering*.
- Nugroho, A.M. (2008). *The Modification of Opening Tropical Design Principle, 9th International Seminar on Sustainable Environmental Architecture*. UTM, Malaysia.
- Nugroho, A. M. (2009). *Selubung Pintar Bangunan sebagai Sistem Pendinginan dan Ventilasi Alami untuk Kenyamanan Termal Rumah Tinggal di Daerah Tropis*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Prianto, Eddy. (2002). *Alternatif Disain Arsitektur Daerah Tropis Lembab Dengan Pendekatan Kenyamanan Termal*. DIMENSI TEKNIK ARSITEKTUR, Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Universitas Kristen Petra, Vol. 30, No. 1, hlm 85 – 94. <http://puslit.petra.ac.id/journals/architecture/>
- Satwiko, Prasasto. (2004). *Fisika Bangunan L* Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Soegijanto. (1998). *Bangunan di Indonesia Dengan Iklim Lembab Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*. Jakarta: Depdikbud.
- Soegijanto. (1999). *Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi – Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Sugini. (2004). *Pemaknaan Istilah-Istilah Kualitas Kenyamanan Termal Ruang Dalam Kaitan Dengan Variabel Iklim Ruang*. LOGIKA, Jurusan Arsitektur FTSP Universitas Islam Indonesia, Vol. 1, No. 2.
- Szokolay S.V, et. al (1973), *Manual of Tropical Housing and Building*. Bombay: Orient Langman.

- Szokolay. (1979), *Environment Science Handbook for Architects and Builders*. Lancaster, London, New York: The Construction Press.
- . (2011). Geografis Malang, (Online). http://www.malangkota.go.id/mlg_halaman.php?id=1606076 (diakses tanggal 28 Juli 2013).
- . (2006). *Data Klimatologi Kota Malang Tahun 2006*. Malang: Stasiun Klimatologi Karangploso Badan Meterologi dan Geofisika
- . (2001). SNI 03-6572-2001: *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



1. Hasil Pengukuran Lapangan - *Outdoor*

Pengukuran lapangan *Outdoor* ini diambil di area luar rumah yang menggunakan Jendela Non-Adaptif. Pengukuran merupakan rerata kelembaban dan suhu udara *Outdoor* pada area penelitian selama setiap satu jam selama Musim Kemarau Tahun 2013.

JAM	RH	T
0	91,7816	23,6817
1	91,5844	23,4080
2	91,8171	23,1156
3	91,6180	22,8671
4	91,5167	22,6695
5	91,5530	22,4610
6	91,6674	22,5310
7	84,7026	26,1384
8	68,5218	29,6526
9	60,9424	31,4355
10	55,8338	32,4783
11	56,02073	32,331
12	58,6158	31,4213
13	63,1813	30,4858
14	68,3832	29,2896
15	74,3156	27,9580
16	79,3727	26,6808
17	83,8417	25,7652
18	86,4754	25,1600
19	88,3358	24,7886
20	90,1436	24,5539
21	91,4779	24,3453
22	91,7863	24,1483
23	91,9737	23,9063
AVG	80,6443	26,3030

RH : *Relative Humidity* (Kelembaban), %

T : *Temperature* (Suhu Udara), °c

AVG : *Average* (Rata-Rata)

2. Hasil Pengukuran Lapangan - Jendela Non-Adaptif

Pengukuran Jendela Non-Adaptif ini diambil di dalam rumah yang menggunakan Jendela Non-Adaptif pada titik yang telah ditentukan. Pengukuran merupakan rerata kelembaban dan suhu udara Jendela Non-Adaptif pada area penelitian selama setiap satu jam selama Musim Kemarau Tahun 2013.

JAM	RH	T
0	78,0239	27,2820
1	77,5938	27,1051
2	77,2209	26,9393
3	76,7749	26,7844
4	76,2838	26,6284
5	76,1266	26,4868
6	75,9944	26,3686
7	76,0448	26,5536
8	76,1137	27,1526
9	75,7080	27,7379
10	74,5368	28,1718
11	73,8490	28,5494
12	72,6360	28,8475
13	72,5733	28,9567
14	73,0726	28,9004
15	73,7729	28,7802
16	74,3420	28,5278
17	75,1466	28,2434
18	75,9277	28,0200
19	76,6555	27,8583
20	77,3498	27,7535
21	78,0155	27,6681
22	78,1702	27,5810
23	78,1409	27,4558
AVG	75,8364	27,6813

RH : *Relative Humidity* (Kelembaban), %

T : *Temperature* (Suhu Udara), °c

AVG : *Average* (Rata-Rata)

3. Hasil Pengukuran Lapangan - Jendela Adaptif

Pengukuran Jendela Adaptif ini diambil di dalam rumah yang menggunakan Jendela Adaptif pada titik yang telah ditentukan. Pengukuran merupakan rerata kelembaban dan suhu udara Jendela Non-Adaptif pada area penelitian selama setiap satu jam selama Musim Kemarau Tahun 2013.

JAM	RH	T
0	76,0776	26,6333
1	75,6359	26,4843
2	75,2000	26,3073
3	74,6855	26,1385
4	74,3450	25,9793
5	74,2610	25,7945
6	74,2029	25,8992
7	74,2563	26,4632
8	73,8326	27,2701
9	72,9394	28,1564
10	71,3223	28,5547
11	71,7768	28,6891
12	70,6001	28,9715
13	70,3120	29,0182
14	70,6481	28,9385
15	71,3881	28,7063
16	72,4604	28,2591
17	73,4880	27,8647
18	74,6619	27,5655
19	75,3796	27,3808
20	76,2122	27,2764
21	77,1652	27,1646
22	76,8847	27,0136
23	76,2962	26,8076
AVG	73,9180	27,3890

RH : *Relative Humidity* (Kelembaban), %

T : *Temperature* (Suhu Udara), °c

AVG : *Average* (Rata-Rata)