



EVALUASI PENERAPAN MATERIAL ALAMI PADA SELUBUNG BANGUNAN TERHADAP PENURUNAN SUHU RUANG DALAM DI IKLIM TROPIS (STUDI KASUS: REMPAH RUMAH KARYA)

SKRIPSI
PROGRAM STUDI S1 ARSITEKTUR
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD IQBAL ZAKARIA
NIM. 125060507111032

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017

LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI PENERAPAN MATERIAL ALAMI PADA SELUBUNG
BANGUNAN TERHADAP PENURUNAN SUHU RUANG DALAM DI
IKLIM TROPIS (STUDI KASUS: REMPAH RUMAH KARYA)**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI S1 ARSITEKTUR

LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD IQBAL ZAKARIA

NIM. 125060507111032

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 16 Juni 2017

Dosen Pembimbing I

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

NIP. 19740195 200012 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Arsitektur

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

NIP. 19740195 200012 1 001



LEMBAR PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkatnya saya mampu menyelesaikan studi saya di Jurusan Arsitektur FT-UB ini. Salawat serta salam tak lupa kepada Nabi Muhammad SAW.

Skripsi ini saya persembahkan untuk mereka yang sangat berarti:

Untuk orang tua saya Bapak Muhammad Yamin, dan Ibu Imas

Untuk kedua kakak, Irena Rosdiana dan Marina Septiana

Untuk teman-teman yang telah membantu dan mendukung selama proses penyusunan skripsi, Fariz Hadyan Wibisono, Jhon Andrew Pasaribu, Bilal M Hasan, Anggara Hascaryanto, Femala Labina, Ridha Aulia, Previa Sandyangsani, Knasatra Saraswati, Marinda NFNP, serta teman teman Arsitektur Universitas Brawijaya

Untuk pihak Rempah Rumah Karya, Bapak Paulus Mintarga, seluruh pegawai dan staf yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Untuk Bapak Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberi masukan dan dukungan selama masa penyelesaian skripsi,

Untuk Dosen Pembimbing Akademik Bapak Beta Suryokusumo Sudarmo, MT yang telah memberi masukan selama proses perkuliahan.

Terimakasih atas segala bantuan secara moril maupun materiil selama penyusunan laporan skripsi ini.



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku Peraturan Menteri Nomor 17 Tahun 2010.

Malang, Juni 2017

Mahasiswa,

Muhammad Iqbal Zakaria

NIM. 125060507111032

RINGKASAN

Muhammad Iqbal Zakaria, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2017, “Evaluasi Penerapan Material Alami Pada Selubung Bangunan Terhadap Penurunan Suhu Ruang Dalam di Iklim Tropis (Studi Kasus Rempah Rumah Karya)”. Dosen Pembimbing: Agung Murti Nugroho.

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki masalah utama yaitu tingginya temperatur udara dan intensitas hujan yang tinggi tiap tahunnya. Hal ini menyebabkan tingkat kelembaban menjadi tinggi sehingga dirasa kurang mendukung manusia dalam menjalankan aktivitasnya. Hal ini diperparah lagi dengan meningkatnya suhu permukaan bumi atau yang biasa disebut *global warming* yang disebabkan oleh tinggi nya gas emisi rumah kaca. Salah satu cara untuk mengurangi dampak *global warming* tersebut adalah dengan menerapkan arsitektur hijau yaitu penerapan teknologi ramah lingkungan dan penerapan kearifan lokal. Salah satu bangunan yang menerapkan arsitektur hijau di Indonesia adalah Rempah Rumah karya, yaitu penerapan material alami pada selubung bangunan. Namun dalam pencapaian terhadap aspek kenyamanan suhu belum diketahui apakah penerapan material alami yaitu kayu dan bambu mampu memberikan pengaruh positif terhadap kenyamanan suhu ruang di dalamnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah penerapan material alami pada selubung bangunan mampu memberikan kenyamanan suhu terhadap ruang dalam di iklim tropis.

Penelitian yang akan dilakukan yaitu pengukuran langsung pada objek penelitian yaitu 2 masa bangunan yang terpilih karena mewakili fungsi dari objek penelitian tersebut. Waktu pengukuran dilakukan selama 24 jam yang dimulai dari tanggal 9 februari sampai 10 maret 2017. Data yang diukur adalah suhu ruang luar dan ruang dalam. Analisis yang dilakukan yaitu untuk mengetahui hubungan kinerja material dengan pengaruh pergerakan suhu ruang dalam yang didasarkan dari studi empiris terdahulu. Sehingga, didapatkan kriteria rekomendasi desain yang akan dibuktikan dengan simulasi menggunakan software *Ecotect Analysis 2011*.

Hasil penelitian yaitu pada objek masa bangunan yang diteliti hanya satu bangunan saja yang mampu menurunkan suhu luar yaitu masa rempah 1, sedangkan masa rempah 2 tidak memberikan perubahan terhadap kondisi suhu ruang dalam. Namun masa rempah 1 belum mampu memenuhi kriteria kenyamanan suhu berdasarkan SNI maupun perhitungan suhu netral (szokolay). Rekomendasi yang diberikan yaitu menambahkan lapisan material yang memiliki karakteristik *thermal properties* yang lebih baik dalam menghambat atau mematahkan laju panas pada dinding dan atap. Dari hasil simulasi rekomendasi didapatkan hasil bahwa yang paling berpengaruh dalam mematahkan laju panas adalah nilai *u-value*, dan posisi peletakan material.

Kata kunci: Kenyamanan suhu, Iklim tropis, *thermal properties material*

SUMMARY

Muhammad Iqbal Zakaria, *Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, “Evaluation Of The Application Of Natural Materials On The Building Envelope To The Decrease In Inner Room Temperature In Tropical Climates (Case Study Rempah Rumah Karya)”*. Academic Supervisor: Agung Murti Nugroho.

Indonesia is a tropical country that has a major problem of high air temperature and high rainfall intensity each year. This causes the level of humidity to be high so it is less supportive of humans in carrying out its activities. This is exacerbated by the increasing temperature of the earth's surface or so-called global warming caused by its high greenhouse gas emissions. One way to reduce the impact of global warming is by applying a green architecture that is the application of environmentally friendly technology and the application of local wisdom. One of the buildings that implement green architecture in Indonesia is Rempah Rumah Karya, namely because the application of natural materials on the building envelope. However, in the achievement of the aspect of temperature comfort is yet to know whether the application of natural materials such as wood and bamboo is able to give a positive influence on the comfort of the inner room temperature. The purpose of this study is to find out whether the application of natural materials on the building envelope is able to provide comfort to the indoor temperature in tropical climates.

The research that will be done is direct measurement on the research object that is 2 building masses selected because it represents the function of the object of the research. Measurement time is done for 24 hours starting from February 9 until March 10, 2017. The measured data is the temperature of outer space and inner space. The analysis is to know the relationship of material performance with the influence of indoor space movement which is based from the previous empirical study. Thus, the design recommendation criteria that will be proven by simulation using Ecotect Analysis 2011 software.

The result of this research is the object of building mass which examined only one building that able to decrease the outside temperature that is the Rempah 1, while the Rempah 2 does not give any change to the condition of the inner room temperature. However period of Rempah 1 has not been able to meet the criteria of temperature comfort based on SNI and neutral temperature calculation (szokolay). The recommendation is to add a layer of material that has better thermal properties properties in blocking or breaking the heat rate on walls and roofs. From the simulation result of the recommendation, it is found that the most influential in breaking the heat rate is the value of u-value, and the position of the material laying.

Keyword: comfort temperature, tropical climate, thermal properties material.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal skripsi dengan judul “Evaluasi Penerapan Material Alami pada Selubung Bangunan Terhadap Penurunan Suhu Ruang Dalam di Iklim Tropis (Studi Kasus Rempah Rumah Karya).” sebagai salah satu syarat kelulusan program sarjana bagi mahasiswa Teknik Arsitektur Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agung Murti Nugroho, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing atas segala waktu dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Ibu Andhika Citraningrum, ST, MT, MSc selaku dosen penguji atas segala waktu dan bimbingan yang telah diberikan.
3. Bapak Jono wardoyo, ST, MT selaku dosen penguji atas segala waktu dan bimbingan yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Chairil Budiarto Amiuza selaku kepala lab tugas akhir atas segala waktu dan bimbingan yang telah diberikan.
5. Bapak Paulus Mintarga selaku Principle Tim Tiga Arsitek atas bantuannya dalam memberikan izin.
6. Bapak dan Ibu, dan teman-teman tim tiga arsitek atas segala waktu dan arahan yang telah diberikan.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih memiliki kekurangan. Untuk itu, penulis menerima masukan dan kritik dari para pembaca jika menemukan kesalahan dalam tulisan ini, baik dalam segi keilmuan di bidang arsitektur maupun segi tata bahasa dengan tangan terbuka. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Malang, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SINGKATAN (GLOSARY).....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Identifikasi Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Batasan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.5 Tujuan	Error! Bookmark not defined.
1.6 Manfaat.....	Error! Bookmark not defined.
1.7 Sistematika Pembahasan.....	Error! Bookmark not defined.
1.8 Kerangka Pemikiran	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Tinjauan Iklim	Error! Bookmark not defined.
2.2 <i>Green architecture</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2 Arsitektur Nusantara.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Konsep Pendinginan Alami	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Pengaruh iklim mikro	Error! Bookmark not defined.
2.4 Tinjauan Pendinginan Pasif	Error! Bookmark not defined.
2.5 Kinerja Termal Bangunan.....	Error! Bookmark not defined.
2.6 Penahanan Panas Bangunan Di Daerah Tropis Lembab.....	Error! Bookmark not defined.
2.7 Indeks Kenyamanan Suhu	Error! Bookmark not defined.
2.7.1 Standar Nasional Indonesia.....	Error! Bookmark not defined.
2.7.2 Suhu Nyaman Iklim Tropis.....	Error! Bookmark not defined.



2.7.3 Suhu Netral dan Rentang Suhu Nyaman Manusia Indonesia **Error! Bookmark not defined.**

2.8 Selubung Bangunan..... **Error! Bookmark not defined.**

2.8.1 Buka-an/ventilasi..... **Error! Bookmark not defined.**

2.8.2 Atap..... **Error! Bookmark not defined.**

2.8.3 Dinding **Error! Bookmark not defined.**

2.8.4 Shading Device **Error! Bookmark not defined.**

2.9 Tinjauan Material Bangunan **Error! Bookmark not defined.**

2.10 Karakteristik kayu..... **Error! Bookmark not defined.**

2.11 Tinjauan Workshop **Error! Bookmark not defined.**

2.11.1 Persyaratan udara **Error! Bookmark not defined.**

2.11.2 Komponen bangunan yang mempengaruhi kenyamanan suhu **Error! Bookmark not defined.**

2.12 Komparasi..... **Error! Bookmark not defined.**

2.12.1 Jurnal 1: Pengaruh Thermal Properties Material Bata Merah dan Batako Sebagai Dinding, Terhadap Efisiensi Energi Dalam Ruang Di Surabaya... **Error! Bookmark not defined.**

2.12.2 Kinerja Suhu pada Rumah Tinggal Konstruksi Dinding Bambu Plester **Error! Bookmark not defined.**

2.13 Kerangka Teori **Error! Bookmark not defined.**

BAB III METODE PENELITIAN **Error! Bookmark not defined.**

3.1 Metode Penelitian Umum **Error! Bookmark not defined.**

3.2 Lokus dan Fokus Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.1 Lokus..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.2 Fokus Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3 Jenis dan Metode Pengumpulan Data..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.1 Jenis Data..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.1 Metode pengumpulan data primer **Error! Bookmark not defined.**

3.3.2 Metode pengumpulan data sekunder..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4 Teknik Pengumpulan Data **Error! Bookmark not defined.**

3.5 Variabel Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

3.6 Populasi dan Sampel..... **Error! Bookmark not defined.**

3.7 Metode Analisis Data **Error! Bookmark not defined.**

3.8 Instrumen Penelitian **Error! Bookmark not defined.**

3.9 Keterbatasan Penelitian **Error! Bookmark not defined.**

3.10 Kerangka Metode Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **Error! Bookmark not defined.**

4.1 Deskripsi Umum Lokasi Penelitian **Error! Bookmark not defined.**

4.1.1 Kota Karanganyar **Error! Bookmark not defined.**



4.1.2 Objek bangunan	Error! Bookmark not defined.
4.1.3 Objek penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.2 Hasil Pengukuran.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Objek penelitian ruang luar.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2 Objek penelitian ruang dalam	Error! Bookmark not defined.
4.2.3 Rata-rata hasil pengukuran.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.4 Perbandingan masa rempah 1 dan 2.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Simulasi Analisa Komputer	Error! Bookmark not defined.
4.3.1 Simulasi Data Eksisting	Error! Bookmark not defined.
4.3.2 Validasi pengukuran lapangan dan simulasi	Error! Bookmark not defined.
4.3.3 Simulasi rekomendasi desain	Error! Bookmark not defined.
4.3.4 Perbandingan hasil tahapan simulasi	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	166
LAMPIRAN	168



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Rata-Rata Suhu Udara, Kelembaban, Tekanan Udara, Arah Angin dan Kecepatan Angin Kota Solo Pada Tahun 2014.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2	Standar Suhu Nyaman dari Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.3	Suhu Netral dan batas kenyamanan termal di Indonesia..	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.4	Thermal porperties dari beberapa bahan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.5	Karakteristik kayu Bahan Bangunan Terhadap Panas.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1	Thermal properties material selubung bangunan rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2	Thermal properties material pada selubung bangunan rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3	hasil pengukuran simulasi masa rempah 1 tanggal 24 februari.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4	hasil pengukuran simulasi masa rempah 2 tanggal 24 februari.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5	Tabel hasil pengukuran suhu simulasi tahap 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6	Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 1 masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7	<i>Tabel hasil pengukuran suhu simulasi tahap 1 massa rempah 2</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8	Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 1 masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.9	Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 2 Massa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.10	Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 2 massa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.11	Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 2 Massa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.12	Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 2 massa rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.13	Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 3 Massa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.14	Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 3 massa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.15	Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 3 Massa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.16	Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 3 massa rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Studio Akanoma.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2	Museum Trowulan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3	Orientasi bangunan persegi terhadap arah angin.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4	Pengaruh dimensi dan bentuk bukaan dari bangunan terhadap ukuran bayangan angin Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.5	Pengaruh perletakan massa bangunan terhadap aliran udara defined.	Error! Bookmark not
Gambar 2.6	Suhu netral berdasarkan data iklim Kabupaten Karanganyar tahun 2016	Error!
Gambar 2.7	Material bambu	Bookmark not defined.
Gambar 2.8	Material board	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.9	Material selulosa	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.10	Material chipboard	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.11	Material board	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.12	Material particle board	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.13	Material plywood	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.14	Diagram perbandingan panas berdasarkan kriteria dinding batako dan bata merah Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.15	Grafik pengukuran suhu pada material bambu anyaman dan bambu vertikal dengan jendela tertutup.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1	Objek Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.2	Denah lantai 1 Rempah Rumah Karya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.3	Denah lantai 2 Rempah Rumah Karya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.4	Denah lantai 3 Rempah Rumah Karya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1	Lokasi kabupaten karanganyar pada peta jawa tengah	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2	Lokasi kabupaten karanganyar pada peta jawa tengah	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3	Perspektif Rempah Rumah Karya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4	Lokasi Rempah Rumah Karya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5	Siteplan Rempah Rumah Karya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.6	Potongan tapak rempah rumah karya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.7	Tampak depan (utara) rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.8	Tampak belakang (selatan) rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.9	Tampak samping (timur) rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.10	Tampak samping (barat) rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 11	Denah lantai 1 bangunan rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.12	Denah lantai 2 dan 3 bangunan rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.13	Tampak depan (utara) rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.14	Tampak belakang (selatan) rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.15	Tampak samping (timur) rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.16	Tampak samping (timur) rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.17	Denah lantai 1 bangunan rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.18	Denah lantai 2 dan 3 bangunan rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.19	Layout titik pengukuran suhu ruang luar	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.20	Hasil pengukuran suhu ruang luar selama 30 hari	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.21	Grafik rata-rata suhu dan kelembaban ruang luar	Error! Bookmark not defined.



Gambar 4.22	Layout peletakan titik pengukuran suhu ruang dalam dan luar..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.23	Analisa hasil titik pengukuran 4.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.24	Analisis hasil titik pengukuran 5.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.25	Analisis hasil titik pengukuran 5.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.26	Analisis hasil titik pengukuran 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.27	Analisis hasil titik pengukuran 3.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.28	Analisis hasil titik pengukuran 7.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.30	Grafik perbandingan suhu ruang luar dan dalam rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.31	Grafik rata-rata suhu ruang luar dan dalam rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.32	Grafik perbandingan suhu ruang luar dan dalam rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.33	Grafik rata-rata suhu ruang luar dan dalam rempah 2.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.34	Grafik perbandingan kelembaban ruang luar dan dalam rempah 1..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.35	Grafik rata-rata kelembaban luar dan dalam rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.36	Grafik perbandingan kelembaban ruang luar dan dalam rempah 1..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.37	Grafik rata-rata kelembaban ruang luar dan dalam rempah 2 ...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.38	Grafik perbandingan pengukuran suhu ruang dalam rempah 1 dan 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.39	Grafik perbandingan pengukuran suhu ruang dalam masa rempah 1, 2 dan ruang luar	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.40	Simulasi permodelan objek penelitian pada piranti ecotect	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.41	Weather data tool kabupaten Karanganyar	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.42	Hasil pengukuran simulasi objek penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.43	Hasil pengukuran simulasi ecotect masa rempah 1 tanggal 24 februari	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.44	Hasil pengukuran simulasi ecotect masa rempah 2 tanggal 24 februari	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.45	Grafik dan tabel Perbandingan hasil pengukuran eksisting dan simulasi rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.46	Grafik dan tabel perbandingan hasil pengukuran eksisting dan simulasi rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.47	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material bambu pada masa rempah 1...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.48	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material bambu pada masa rempah 2...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.49	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material plywood pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.50	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material plywood pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.51	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material board pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.52	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material board pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.



Gambar 4.53	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material cellulosic insulation pada masa rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.54	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material cellulosic insulation pada masa rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.55	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material chipboard perforated pada masa rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.56	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material chipboard perforated pada masa rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.57	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material Coirboard pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.58	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material Coirboard pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.59	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material Hardwood pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.60	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material Hardwood pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.61	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material Particle board pada masa rempah 1 ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.62	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material Particle board pada masa rempah 2 ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.63	Hasil simulasi desain tahap 1 masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.64	Hasil simulasi desain tahap 1 masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.65	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material bambu pada masa rempah 1...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.66	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material bambu pada masa rempah 2...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.67	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material plywood pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.68	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material plywood pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.69	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material board pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.70	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material board pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.71	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material cellulosic insulation pada masa rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.72	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material cellulosic insulation pada masa rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.73	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material chipboard perforated pada masa rempah 1.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.74	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material chipboard perforated pada masa rempah 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.75	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material Coirboard pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.76	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material Coirboard pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.77	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material Hardwood pada masa rempah 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.78	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material Hardwood pada masa rempah 2	Error! Bookmark not defined.



Gambar 4.79	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material Particle board pada masa rempah 1 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.80	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material Particle board pada masa rempah 2 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.81	Perbandingan hasil simulasi tahap 2 masa rempah 1 .. Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.82	Perbandingan hasil simulasi tahap 2 masa rempah 2 .. Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.83	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 bambu pada masa rempah 1..... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.84	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material bambu pada masa rempah 2.... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.85	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material plywood pada masa rempah 1 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.86	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material plywood pada masa rempah 2 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.87	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material board pada masa rempah 1 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.88	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material board pada masa rempah 2 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.89	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material cellulosic insulation pada masa rempah 1..... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.90	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material cellulosic insulation pada masa rempah 2..... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.91	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material chipboard perforated pada masa rempah 1..... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.92	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material chipboard perforated pada masa rempah 2..... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.93	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material Coirboard pada masa rempah 1 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.94	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material Coirboard pada masa rempah 2 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.95	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material Hardwood pada masa rempah 1 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.96	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material Hardwood pada masa rempah 2 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.97	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material Particle board pada masa rempah 1 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.98	Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material Particle board pada masa rempah 2 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.99	Perbandingan hasil simulasi tahap 3 masa rempah 1 .. Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.100	Perbandingan hasil simulasi tahap 3 masa rempah 2 .. Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.101	Diagram temperatur puncak beberapa tahapan simulasi massa rempah 1 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.102	Diagram temperatur puncak beberapa tahapan simulasi massa rempah 2 Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.103	Diagram durasi comfort dan overheated pada beberapa tahapan simulasi massa rempah 1..... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.104	Diagram durasi comfort dan overheated pada beberapa tahapan simulasi massa rempah 1..... Error! Bookmark not defined.



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
	Lampiran 1. Hasil Pengukuran Hobo Data Logger Selama 30 Hari	168
	Lampiran 2. Dokumentasi Objek Penelitian	171
	Lampiran 3. Gambar Kerja Objek Penelitian	177
	Lampiran 4. Lembar Deteksi Plagiasi Skripsi	185
	Lampiran 5. Berita Acara Revisi Ujian Skripsi	186



DAFTAR SINGKATAN (GLOSARY)

A

Admittance = Thermal resistance yang berkaitan dengan reaksi terhadap heat flow dari cyclic condition, mempunyai satuan seperti U-Value. Menurut Markus T.A., Moris E.N (1980): Semakin besar admittance, semakin rendah swing temperaturnya. Material yang padat mempunyai admittance lebih besar, sedangkan heavy weight structure mempunyai swing temperatur yang kecil.

C

Capacitive Insulation = tidak terpengaruh langsung laju panas, ciri material dengan nilai kapasitas baik adalah kepadatan material. Semakin padat dan besar jenis material, semakin tinggi besaran kapasitasnya.

D

Decrement factor = perbandingan antara deviasi output panas puncak dari mean heat flow, terhadap kondisi yang sama tetapi mempunyai zero thermal mass.

Density = perbandingan antara berat dan volume, *density* memegang peran yang besar untuk *thermal properties*, material mempunyai density ringan mempunyai daya isolasi lebih besar dari pada material yang ber-*density* besar.

K

Konduksi = proses perpindahan panas (heat transfer) dari molekul panas ke molekul dingin melalui medium padat. Thermal conduction pada bangunan adalah proses perpindahan panas dari elemen padat bangunan (atap, dinding, dan lantai) dari temperatur panas menuju temperatur dingin.

Konveksi = proses perpindahan panas (heat transfer) dari molekul panas ke molekul dingin melalui gas atau zat cair. Konveksi pada bangunan dapat terjadi karena perbedaan temperatur (natural atau thermosyphonic), kecepatan pergerakan medium pembawa, dan panas jenis dari medium pembawa.



Konduktivitas (*Conductivity*, k) = bilangan yang menunjukkan besar panas (watt) yang mengalir melalui bahan setebal 1m, seluas $1m^2$ dengan perbedaan suhu antara kedua sisi permukaan $1^\circ C$. Dengan kata lain konduktivitas adalah kemampuan suatu benda untuk memindahkan kalor melalui benda tersebut. Material yang memiliki konduktivitas panas rendah dapat disebut dengan isolator yang baik, sebaliknya material yang memiliki konduktivitas tinggi merupakan material penghantar panas yang baik.

R

Radiasi = proses perpindahan panas (*heat transfer*) dan perpindahan energi pada bangunan karena adanya gelombang elektromagnetik melalui udara.

Reflective Insulation = pematahan laju panas dengan merefleksikan radiasi panas yang jatuh pada elemen bangunan.

Resistive Insulation = material/sistem konstruksi dengan nilai resistansi tinggi menunjukkan kemampuan yang tinggi pada penahanan panas.

S

Specific heat = mengindikasikan material yang mempunyai kemampuan menyimpan sejumlah energy. *Specific heat* yang tinggi artinya material mempunyai kemampuan banyak menyimpan panas (*heat storage*).

T

Thermal Resistance (R) = total tahanan pada setiap lapisan elemen bangunan dan merupakan jumlah langsung tahanan dari masing-masing lapisan. Satuan m^2C/W .

Thermal Conductivity (C) = rata-rata aliran panas pada setiap permukaan dari ketebalan elemen bangunan dalam setiap unit perbedaan temperatur. Satuan W/m^2C .

Thermal Transmittance (*U-value*) = transmisi termal dalam setiap permukaan elemen bangunan persatuan waktu dalam setiap waktu perbedaan temperatur antara di luar dan di dalam bangunan. Satuan W/m^2C .



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang dilalui oleh garis khatulistiwa, hal ini menyebabkan Indonesia memiliki iklim tropis yang setiap tahunnya hanya dilalui oleh 2 musim yaitu musim hujan, dan musim panas. Pada musim panas/kemarau intensitas suhu yang dirasakan sangat tinggi disebabkan sinar matahari memiliki intensitas penyinaran selama 12 jam yang membawa radiasi yang cukup tinggi sehingga mempengaruhi suhu di permukaan. Sedangkan pada musim hujan intensitas hujan yang turun cukup banyak dengan diringi oleh angin kencang. Kondisi ini dirasa kurang mendukung dalam memberikan kenyamanan kepada manusia dalam beraktivitas. Oleh sebab itu untuk menyikapi permasalahan iklim tersebut diperlukan sebuah pemecahan masalah yang dapat memenuhi kebutuhan akan kenyamanan khususnya kenyamanan termal sehingga manusia dapat melakukan aktivitas dengan optimal.

Semenjak zaman dahulu dari mulai manusia purba sampai dengan zaman sekarang manusia selalu mengalami perkembangan yang terjadi setiap periode waktu yang dilewatinya. Pada zaman sekarang ini manusia telah banyak mengalami kemajuan peradaban, yang pada mulanya hanya berorientasi kepada alam yaitu bergantung kepada pertanian dan agrikultur, sekarang telah banyak bergantung kepada bidang perindustrian. Hal ini dimulai dengan munculnya revolusi industri yang terjadi pada pertengahan abad ke 18. Dengan menggunakan orientasi hidup tersebut, nilai-nilai kehidupan manusia pun mengalami perubahan, terutama dalam interaksi manusia dengan lingkungannya. Perubahan-perubahan yang terjadi ini menghasilkan dampak positif maupun negatif. Salah satu dampak negatif dari revolusi industri ini yaitu meningkatnya pembangunan dari sektor ekonomi yaitu pembangunan pabrik-pabrik dan pembuatan produksi dengan kapasitas besar dengan mengesampingkan perhatian terhadap dampaknya bagi lingkungan. Hal ini yang diindikasikan oleh para ahli lingkungan sebagai sebab terjadinya pemanasan di dunia atau sering disebut sebagai *Global Warming*.

Dampak paling besar yang dirasakan dari pemanasan global adalah perubahan iklim, hal ini mendapatkan perhatian besar dari dunia sehingga pada tanggal 30 November 2015 Dewan Internasional Perubahan Iklim (UNFCCC) mengadakan sebuah pertemuan yang melahirkan suatu rencana yang dikenal dengan *Intended Nationally Determined Contributions* (INDCs).



Bangunan adalah penghasil terbesar lebih dari 30% emisi global karbon dioksida sebagai salah satu penyebab pemanasan global, sehingga untuk pertama kalinya dalam sejarah Konferensi Perubahan Iklim, bangunan masuk dalam agenda pembicaraan dan memiliki satu sesi khusus. Salah satu upaya yang secara signifikan dapat membantu pencapaian penurunan emisi gas rumah kaca adalah penerapan konsep bangunan hijau. Konsep *green architecture* memberi kontribusi pada masalah lingkungan khususnya pemanasan global.

Selain itu permasalahan krisis energi sudah menjadi isu utama di dunia yang sangat dipengaruhi dengan ketersediaan bahan bakar minyak. Potensi ketersediaan minyak Indonesia akan habis dalam 12 tahun lagi, sementara potensi gas bumi akan habis dalam 44 tahun lagi, jika tidak ditemukan cadangan baru. Kebutuhan energi Indonesia naik sekitar 7 % perlu ada solusi ketahanan untuk masa depan. Konservasi energi diperlukan sebagai solusi dalam ketahanan energi nasional yang dapat menghemat energi sebesar 5 % - 30%. beberapa penyebab tingginya konsumsi listrik di Indonesia yaitu dari sektor industri, dan pembangunan. Dari sektor pembangunan salah satu contoh pemborosan ialah pada aspek penghawaan.

Desain yang ramah lingkungan melalui penggunaan teknologi, penerapan kearifan lokal, penyesuaian terhadap iklim dan kondisi lokal, serta pengurangan penggunaan sumber daya alam dalam bentuk energi, air serta material, merupakan inti dari konsep bangunan gedung hijau (*Office of the Federal Environmental Executive* (2010)). Indikasi arsitektur disebut sebagai *green* jika dikaitkan dengan praktek arsitektur antara lain dengan pengaplikasian *renewable resources* (sumber-sumber yang dapat diperbaharui), *passive-active solar photovoltaic* (sel surya pembangkit listrik), teknik menggunakan tanaman untuk atap, taman tadah hujan, menggunakan kerikil yang dipadatkan untuk area perkerasan, dan sebagainya. Green building adalah konsep untuk 'bangunan berkelanjutan' dan mempunyai syarat tertentu, yaitu lokasi, sistem perencanaan dan perancangan, renovasi dan pengoperasian, yang menganut prinsip hemat energi serta harus berdampak positif bagi lingkungan, ekonomi dan sosial. Tujuan umumnya adalah bahwa bangunan hijau dirancang untuk mengurangi dampak keseluruhan lingkungan binaan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan alam salah satunya dengan cara konstruksi alami, yang biasanya pada skala yang lebih kecil dan cenderung untuk fokus pada penggunaan bahan-bahan alami yang tersedia secara lokal. Bahan bangunan biasanya dianggap sebagai 'hijau' termasuk kayu dari hutan yang telah disertifikasi dengan standar hutan pihak ketiga, bahan tanaman cepat terbarukan seperti bambu dan jerami serta produk lainnya yang non-beracun, dapat digunakan kembali, terbarukan, dan / atau didaur ulang (misalnya panel



terbuat dari kertas serpih, linen rami, sisal, padang lamun, gabus , kelapa, kayu piring serat, dll).

Pada hakikatnya sebenarnya masyarakat Indonesia telah mempunyai sebuah konsep arsitektur yang telah berlangsung dan berkembang sejak lama dalam membangun suatu bangunan. Konsep ini memiliki prinsip dasar yang sama dengan konsep arsitektur hijau atau *green building*. Konsep ini bernama arsitektur nusantara yang lahir sebagai jawaban atas permasalahan-permasalahan dari iklim tropis yaitu suhu dan kelembaban yang tinggi. Prijotomo (2012) tentang arsitektur nusantara yaitu arsitektur yang ‘bertempat’ di wilayah Nusantara, merupakan arsitektur yang dibangun berdasarkan tanggapan atas dua musim di lintasan khatulistiwa, memiliki karakter kesetempatan dan kesementaraan, dibangun dalam konsep naungan dan bukan perlindungan serta memiliki dasar filosofis terbangun yang berbeda dengan arsitektur Eropa. Arsitektur Nusantara dapat dipahami sebagai sebuah sistem pengetahuan yang mendasarkan diri pada sistem pengetahuan yang berakar pada ‘tempat’ terbangunnya, terutama dari konsep struktur yang tanggap gempa, dan pemilihan material organik/kayu, berbeda dengan konsep arsitektur Eropa yang tidak tanggap gempa dan dibangun dengan material batu/anorganik.

Salah satu bangunan yang menerapkan konsep bangunan hijau di Indonesia adalah Rempah Rumah Karya. Berawal dari keinginan pemilik sekaligus perancang yaitu Paulus Mintarga, beliau memiliki keinginan untuk membuat sebuah gudang kerja (*workshop*) yang terdapat berbagai macam fasilitas pendukung didalamnya seperti gudang penyimpanan, ruang pameran dan kantor dengan memanfaatkan material-material sisa dan bekas yang ia miliki untuk dijadikan material konstruksi pada bangunan. Bangunan ini menggunakan kurang lebih 90% material daur ulang sehingga memberikan banyak keuntungan terhadap pemilik, pengguna maupun lingkungan disekitarnya, diantaranya yaitu memangkas anggaran pembangunan, mengurangi limbah konstruksi, dan membantu mengurangi dampak negatif dari peningkatan emisi gas rumah kaca yang berasal dari proses konstruksi. Selain itu bangunan ini juga menerapkan konsep vertikal garden juga yang dapat dilihat pada peletakan tanaman di atap bangunan yang berfungsi membantu mereduksi panas matahari langsung.

Hal yang menarik untuk dipelajari dari bangunan ini adalah penerapan material alami pada selubung bangunan yang dapat ditemukan pada massa bangunan rempah 1 dan rempah 2. Pada bangunan rempah 1 material kayu digunakan pada fasad yaitu berupa serpihan kayu yang dianyam dengan kerapatan yang rendah sehingga memudahkan sirkulasi udara ke dalam

bangunan. Pada bangunan rempah 2 bambu bilah digunakan sebagai penutup fasad. Selain itu pada penutup atap menggunakan material bambu bilah lalu ditutup dengan aspal dan terakhir ditutup dengan terpal yang bertujuan untuk mereduksi panas yang masuk melalui atap. Bangunan ini memakai sistem penghawaan alami yaitu dengan memanfaatkan *cross ventilation*. Namun dalam pencapaian terhadap aspek kenyamanan suhu belum diketahui apakah penerapan material alami yaitu kayu dan bambu mampu memberikan pengaruh positif terhadap kenyamanan suhu ruang di dalamnya.

Panshin, et.al, (1964) mengemukakan bahwa kayu memiliki sifat higroskopis dimana keberadaan sifat ini menyebabkan kayu dapat menyerap (absorpsi) dan melepaskan (desorpsi) air untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungannya. Kemampuan absorpsi dan desorpsi kayu ini berakibat pada besarnya kadar air yang selalu berubah tergantung pada suhu dan kelembaban lingkungan sekitarnya. Semakin besar kadar air kayu akan semakin besar nilai konduktivitas panas kayu. Oleh karena itu untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penerapan material kayu pada fasad bangunan Rempah Rumah Karya terhadap kenyamanan termal di dalam ruang, dibutuhkan evaluasi ulang khususnya pada aspek kenyamanan termal untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penerapan material kayu terhadap perubahan suhu di dalam ruang.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, ditemukan beberapa identifikasi masalah diantaranya, yaitu:

1. Peningkatan gas CO₂ yang berakibat pada pemanasan global
2. Pemborosan energi yang disebabkan oleh penghawaan buatan
3. Penggunaan material alami dan daur ulang sebagai bagian dari arsitektur ramah lingkungan
4. Penggunaan material kayu kontemporer alami pada fasad bangunan terhadap penurunan suhu di dalam ruang
5. Penggunaan material bambu bilah sebagai penutup fasad bangunan terhadap penurunan suhu di dalam ruang



1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan dari identifikasi masalah, maka rumusan masalah yang didapat adalah “Bagaimana pengaruh penerapan material alami terhadap penurunan suhu ruang dalam pada bangunan?”

1.4 Batasan Masalah

1. Objek penelitian dibatasi pada bangunan Rempah Rumah Karya massa bangunan Rempah 1 dan 2 dengan alasan bangunan tersebut menggunakan material alami bekas yaitu serpihan kayu yang dianyam dan bambu bilah yang dijadikan fasad bangunan.
2. Kriteria kenyamanan yaitu pada kenyamanan suhu pada aspek pendinginan alami.
3. Kajian difokuskan pada bangunan tiga lantai.
4. Penelitian dibatasi hanya pada ruang dalam dan ruang luar (tapak) saja.
5. Penelitian dibatasi hanya pada material alami dan yang di daur ulang.

1.5 Tujuan

Dari rumusan masalah tersebut maka didapat tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kinerja suhu termal dan suhu nyaman pada bangunan dengan material alami.
2. Mengetahui kinerja penurunan suhu yang terjadi di dalam ruang dengan material alami.
3. Mengetahui kriteria desain bangunan ramah lingkungan dengan penerapan material alami pada bangunan di daerah tropis.

1.6 Manfaat

Dari hasil penelitian tentang pengaruh material alami pada selubung bangunan terhadap penurunan suhu ruang dalam di iklim tropis (studi kasus Rempah Rumah Karya) diharapkan dapat memberikan manfaat pada beberapa pihak, diantaranya :

1. Peneliti
 - a. Menambah wawasan mengenai pengaruh penerapan material alami khususnya kayu dan bambu yang diterapkan pada elemen fasad terhadap kenyamanan suhu pada ruang di dalamnya.
 - b. Mengetahui kriteria arsitektur ramah lingkungan pada bangunan galeri berlantai rendah di daerah iklim tropis.



2. Akademis

- Sebagai tambahan pengetahuan atau referensi mengenai kenyamanan suhu pada ruangan yang menerapkan material alami sebagai elemen fasad.
- Menjadi bahan referensi lanjutan kepada peneliti selanjutnya yang memiliki kajian penelitian yang sama.

3. Masyarakat

Membantu memberikan alternatif pemilihan material alami yang baik digunakan dalam mendapatkan kenyamanan termal pada ruangan.

4. Pemerintah

Diharapkan dapat memberikan masukan terhadap standar penerapan konsep arsitektur ramah lingkungan pada bangunan galeri.

1.7 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan mengenai kajian penelitian tentang Evaluasi Penerapan Material Alami Pada Selubung Bangunan terhadap Penurunan Suhu Dalam Ruang Di Iklim Tropis dengan objek penelitian Rempah Rumah Karya terbagi menjadi beberapa bagian diantaranya;

1. BAB I : PENDAHULUAN

Penjelasan mengenai latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, rumusan masalah, serta tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan.

2. BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Kajian teori yang menjelaskan tentang beberapa daftar referensi yang berhubungan dengan objek penelitian seperti tinjauan iklim, konsep *green architecture*, konsep arsitektur nusantara dan nusantara kontemporer, konsep pendinginan alami, nilai *thermal properties material*, karakteristik material kayu pada bidang konstruksi, indeks kenyamanan suhu, fungsi bangunan galeri dan *workshop*.

3. BAB III : METODE PENELITIAN



Pembahasan metode yang dipakai dalam penelitian, yaitu tata cara pelaksanaan penelitian mulai dari pemograman awal sampai hasil akhir yang akan dicapai. Metode ini diawali dengan pengumpulan data, analisa dan sintesa.

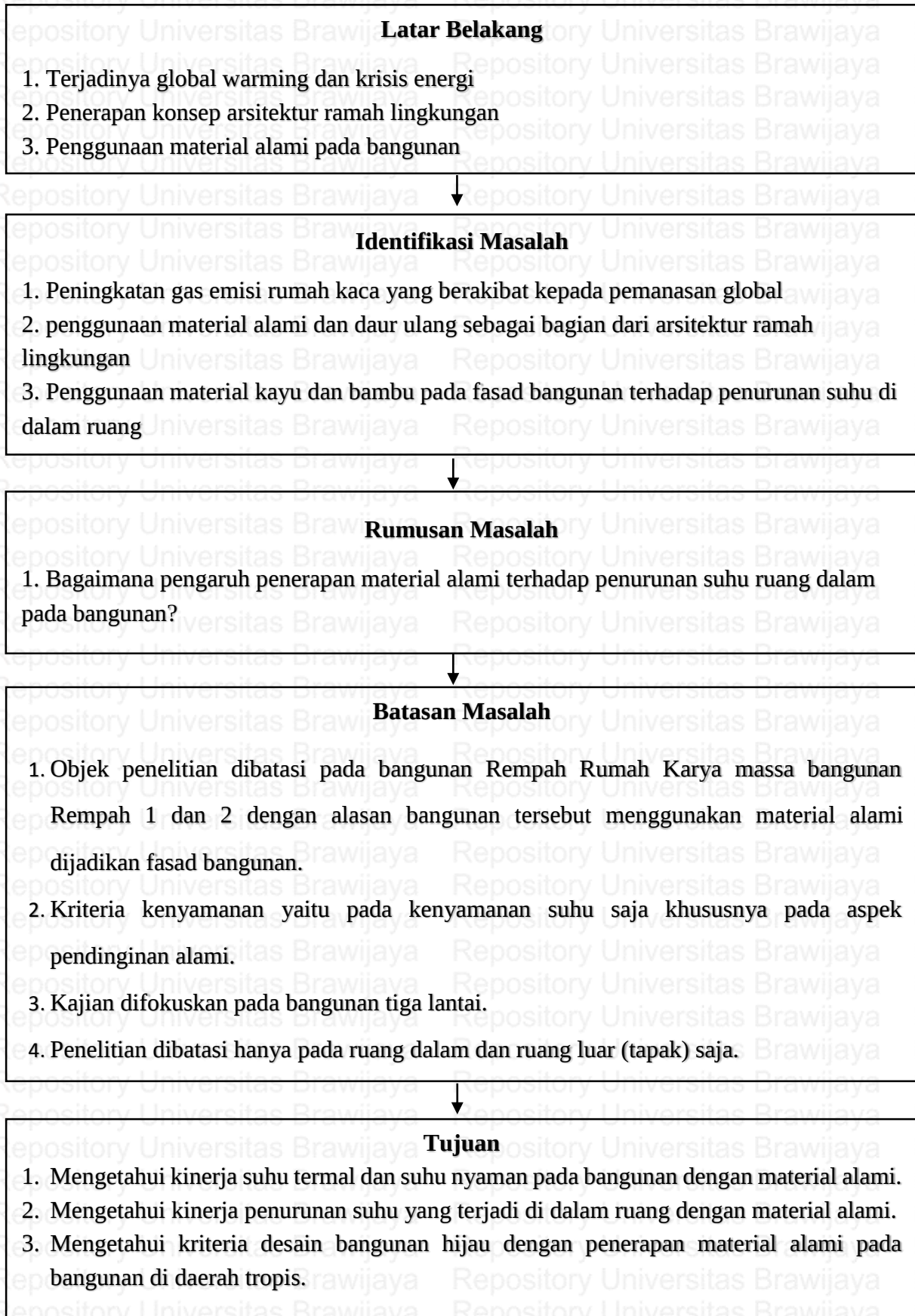
4. BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan mengenai analisa pengaruh penerapan material alami (kayu dan bambu) pada fasad bangunan galeri dan *workshop*. Analisa berupa pengukuran suhu yang dilakukan di lapangan. Hasil dari analisa tersebut berupa identifikasi tingkat kenyamanan yang dibutuhkan pada objek tersebut, dan pengaruh material alami terhadap penurunan suhu di dalam ruangan.

5. BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari proses penelitian yang telah dilakukan.

1.8 Kerangka Pemikiran



Gambar 1.1 Diagram kerangka Pemikiran

Sumber: Data olahan pribadi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Iklim

Letak astronomis Indonesia terletak di antara 6° LU-11° LS dan 95° BT-141° BT sehingga Indonesia termasuk dalam iklim tropis. Namun dilihat dari segi *thermis* (suhu) rata-rata suhu yang terjadi tiap tahunnya sangat tinggi, yaitu dapat mencapai 35°C. Terdapat 2 musim di Indonesia yaitu musim hujan dan musim kemarau yang dipengaruhi oleh peredaran pola angin yang disebabkan oleh peredaran matahari. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara suhu pada musim hujan dan suhu pada musim kemarau. Angka curah hujan di Indonesia terbilang cukup tinggi yaitu 2.500 mm/tahun, dan lamanya penyinaran matahari sepanjang siang hari terjadi selama 12 jam dan terjadi sepanjang tahun, sehingga menyebabkan kelembapan udara yang tinggi dengan besar rata-rata 80%. Panas yang tinggi dan udara yang sedikit mengakibatkan terjadinya penguapan yang lambat (Leipsmeier 1994:18). Kelembapan udara maksimum terjadi sekitar pukul 06.00 pagi dan minimum pukul 14.00. Makin tinggi letak suatu tempat terhadap permukaan laut, maka temperatur udara akan berkurang rata-rata 0,6° C untuk kenaikan 100 m.

Tabel 2. 1 Rata-Rata Suhu Udara, Kelembaban, Tekanan Udara, Arah Angin dan Kecepatan Angin Kota Solo Pada Tahun 2014

B U L A N	Suhu Udara	Kelembaban	Tekanan Udara (Mbs)		A N G I N / Wind	
	<i>Temperature</i>	<i>Humidity</i>	<i>Pressure</i>		Arah	Kecepatan
	(0c)	(%)	(QFF)	(Qfe)	<i>Direction</i>	<i>Velocity</i>
Januari	25,8	86,0	1009,0	996,5	360,0	6,0
Februari	25,8	88,0	1008,0	995,5	360,0	5,0
Maret	26,7	83,0	1009,5	997,0	360,0	6,0
April	27,2	82,0	1009,0	996,5	180,0	5,0
Mei	27,9	83,0	1009,0	996,5	360,0	5,0
Juni	27,4	80,0	1009,0	996,5	180,0	5,0
Juli	26,5	78,0	1013,0	1000,5	180,0	5,0
Agustus	26,7	72,0	1014,0	1001,5	210,0	6,0
September	27,2	67,0	1014,5	1002,0	180,0	7,0
Oktober	28,9	65,0	1013,5	1001,0	180,0	8,0
Nopember	28,1	79,0	1012,3	999,8	210,0	6,0
Desember	26,8	85,0	1011,0	998,5	180,0	6,0
RATA-RATA	27,1	79,0	1011,0	998,5	245,0	5,8



2013	27,0	78,8	1008,8	996,3	245,0	6,3
2012	26,9	77,1	1009,1	996,6	218,0	7,1
2011	26,3	78,1	1008,8	996,3	215,0	5,3
2010	27,1	79,4	1008,6	996,1	215,0	4,6

Sumber : BPS Surakarta, 2014

2.2 Green architecture

Dalam dunia arsitektur muncul fenomena sick building syndrome yaitu permasalahan kesehatan dan ketidak nyamanan karena kualitas udara dan polusi udara dalam bangunan yang ditempati yang mempengaruhi produktivitas penghuni, adanya ventilasi udara yang buruk, dan pencahayaan alami kurang. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, misalnya: emisi ozon mesin fotocopy, polusi dari perabot dan panel kayu, asap rokok, dsb. Menurut World Health Organisation (WHO), 30% bangunan gedung di dunia mengalami masalah kualitas udara dalam ruangan. Untuk itu muncul adanya konsep green architecture yaitu pendekatan perencanaan arsitektur yang berusaha meminimalisasi berbagai pengaruh membahayakan pada kesehatan manusia dan lingkungan. Konsep green architecture ini memiliki beberapa manfaat diantaranya bangunan lebih tahan lama, hemat energi, perawatan bangunan lebih minimal, lebih nyaman ditinggali, serta lebih sehat bagi penghuni. Konsep green architecture memberi kontribusi pada masalah lingkungan khususnya pemanasan global.

Prinsip – prinsip bangunan yang berkonsep Green Architecture adalah sebagai berikut :

1. Hemat energi / Conserving energy : Pengoperasian bangunan harus meminimalkan penggunaan bahan bakar atau energi listrik (sebisa mungkin memaksimalkan energi alam sekitar lokasi bangunan).
2. Memperhatikan kondisi iklim / Working with climate : Mendisain bagunan harus berdasarkan iklim yang berlaku di lokasi tapak kita, dan sumber energi yang ada.
3. Minimizing new resources : mendisain dengan mengoptimalkan kebutuhan sumberdaya alam yang baru, agar sumberdaya tersebut tidak habis dan dapat digunakan di masa mendatang/ Penggunaan material bangunan yang tidak berbahaya bagi ekosistem dan sumber daya alam.
4. Tidak berdampak negatif bagi kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan tersebut / Respect for site : Bangunan yang akan dibangun, nantinya jangan sampai merusak kondisi tapak aslinya, sehingga jika nanti bangunan itu sudah tidak terpakai, tapak aslinya masih ada dan tidak berubah.(tidak merusak lingkungan yang ada).

5. Merespon keadaan tapak dari bangunan / Respect for user : Dalam merancang bangunan harus memperhatikan semua pengguna bangunan dan memenuhi semua kebutuhannya.

6. Menetapkan seluruh prinsip – prinsip green architecture secara keseluruhan / Holism : Ketentuan diatas tidak baku, artinya dapat kita pergunakan sesuai kebutuhan bangunan kita.

Sifat – sifat bangunan berkonsep Green Architecture adalah sebagai berikut :

A.Sustainable (Berkelanjutan)

Berkelanjutan berarti bangunan arsitektur hijau tetap bertahan dan berfungsi seiring zaman, konsisten terhadap konsepnya yang menyatu dengan alam tanpa adanya perubahan – perubahan yang signifikan tanpa merusak alam sekitar.

B. Earthfriendly (Ramah lingkungan)

Suatu bangunan belum bisa dianggap sebagai bangunan berkonsep arsitektur hijau apabila bangunan tersebut tidak bersifat ramah lingkungan. Maksud tidak bersifat ramah terhadap lingkungan disini tidak hanya dalam merusakkan terhadap lingkungan. Tetapi juga menyangkut masalah pemakaian energi.Oleh karena itu bangunan berkonsep arsitektur hijau mempunyai sifat ramah terhadap lingkungan sekitar, energi dan aspek – aspek pendukung lainnya.

C. High performance building.

Bangunan berkonsep arsitektur hijau mempunyai satu sifat yang tidak kalah pentingnya dengan sifat – sifat lainnya. Sifat ini adalah “High performance building. Salah satu fungsinya ialah untuk meminimaliskan penggunaan energi dengan memanfaatkan energi yang berasal dari alam (Energy of nature) dan dengan dipadukan dengan teknologi tinggi (High technology performance). Contohnya :

- o Penggunaan panel surya (Solar cell) untuk memanfaatkan energi panas matahari sebagai sumber pembangkit tenaga listrik rumahan.
- o Penggunaan material – material yang dapat di daur ulang, penggunaan konstruksi – konstruksi maupun bentuk fisik dan fasad bangunan tersebut yang dapat mendukung konsep arsitektur hijau.

2.2 Arsitektur Nusantara

Arsitektur adalah seni dan ilmu dalam merancang bangunan. Dalam artian yang lebih luas, arsitektur mencakup merancang dan membangun keseluruhan lingkungan binaan, mulai dari level makro yaitu perencanaan kota, perancangan perkotaan, arsitektur lansekap, hingga ke level mikro yaitu desain bangunan, desain perabot dan desain produk.

Nusantara adalah sebuah kata majemuk yang diambil dari bahasa Jawa kuno, terdiri dari kata ‘nusa’ yang berarti pulau dan ‘antara’ yang berarti lain. Dalam konsep kenegaraan Jawa, istilah nusantara berarti di luar pengaruh budaya Jawa. Dalam penggunaan bahasa modern, istilah nusantara biasanya meliputi daerah kepulauan Asia Tenggara atau wilayah Austronesia. isisi lain, istilah geografis nusantara saat ini sering diartikan sebagai Indonesia, yang merupakan negara kepulauan. Jadi arsitektur nusantara dapat diartikan sebagai seni dan ilmu merancang bangunan yang mengacu pada potensi-potensi tradisi dan kebudayaan serta kondisi iklim Indonesia sebagai suatu negara kepulauan.

Arsitektur nusantara menunjuk pada pengertian arsitektur yang dibangun berdasarkan tanggapan terhadap iklim tropis lembab dua musim dan berada pada wilayah tertentu yang berada dalam lintasan garis khatulistiwa. Mangunwijaya menyatakan tiga teori arsitektur yang patut untuk dicermati untuk menghasilkan sebuah karya dapat disebut sebagai ‘Arsitektur Nusantara’ Satu, arsitektur adalah simbol dari sebuah kosmos. Kedua, arsitektur adalah cermin dari sebuah gaya hidup. Ketiga arsitektur membutuhkan suatu ekspresi yang mandiri.

Prijotomo (2012) tentang arsitektur nusantara yaitu arsitektur yang ‘bertempat’ di wilayah Nusantara, merupakan arsitektur yang dibangun berdasarkan tanggapan atas dua musim di lintasan khatulistiwa, memiliki karakter kesetempatan dan kesementaraan, dibangun dalam konsep naungan dan bukan perlindungan serta memiliki dasar filosofis terbangun yang berbeda dengan arsitektur Eropa. Arsitektur Nusantara dapat dipahami sebagai sebuah sistem pengetahuan yang mendasarkan diri pada sistem pengetahuan yang berakar pada ‘tempat’ terbangunnya, terutama dari konsep struktur yang tanggap gempa, dan pemilihan material organik/kayu, berbeda dengan konsep arsitektur Eropa yang tidak tanggap gempa dan dibangun dengan material batu/anorganik.

Arsitektur Nusantara Kontemporer, arsitektur yang sesuai dengan fitrah manusia dan alam. Dalam hal ini, arsitektur dipandang sebagai salah satu wujud kontinum spasio-temporal peradaban Indonesia. Agar arsitektur yang kita tumbuh-kembangkan berketepatan dengan sifat

dan keadaan Nusantara-Kini, bukan Nusantara hasil pemeti-esan masa lalu. Nusantara adalah ruang budaya yang berketunggalan namun sangat majemuk, yang masing-masing mozaik lokalitasnya mempunyai percepatan perkembangan historis dan peradaban yang berbineka pula.

Beberapa contoh bangunan arsitektur nusantara kontemporer

1. Studio Akanoma

Studio Akanoma ini merupakan kantor arsitek Yu Sing dan tim yang berdiri pada lahan seluas 600m² di Jalan Tipar Timur Rt 04 RW 01, Desa Laksana Mekar, Padalarang, Bandung Barat. Nama Akanoma adalah singkatan dari akar anomali. Akar berhubungan dengan konteks budaya, alam dan manusia. Adapun anomali berhubungan dengan kondisi khusus yang berbeda dari biasanya, sebagai semangat untuk terus bereksperimen dan tidak larut dalam kecenderungan dalam perkembangan arsitektur. Karena itu Akanoma dimaksudkan untuk memahami makna “berbeda tetapi tetap berakar”.



Gambar 2.1 Studio Akanoma
sumber : google.com

Dalam memunculkan ide awal perancangan, dalam hal ini Yu Sing mengambil atau memunculkan ide mengadopsi dari bentuk-bentuk di alam sekitar. Setiap material yang digunakan kebanyakan dari alam yang tentunya mendapatkan perlakuan khusus agar bahan-bahan bangunan tersebut memiliki kekuatan yang setara dengan bahan bangunan yang lain seperti beton. Contohnya pada bangunan studio. Pada umumnya dengan menggunakan konstruksi dari bahan organik, yaitu bambu, baik sebagai kolom dan tulangan lantai maupun

sebagai pelapis dinding, penutup lantai, railing tangga serta kursi. Aplikasi yang menghasilkan suasana tradisional khas Sunda ini juga merupakan salah satu upaya arsitek untuk menerapkan prinsip arsitektur “hijau”. Kolom yang terletak dibawah Studio Akanoma, mewakili 16 kolom dengan atap joglo, yang merupakan bekas bangunan yang tidak dipakai di Solo. Sehingga difungsikan lagi atap joglo ini ke Studio Akanoma. Kelebihan bangunan joglo adalah struktur pasaknya yang dapat dibongkar pasang tanpa menggunakan paku sehingga tidak membuang kayu. Jarak anak bambu sebagai penyangga lantai 25cm.

2. Museum Trowulan

Museum Trowulan adalah museum arkeologi yang terletak di Trowulan, Mojokerto, Jawa Timur, Indonesia. Museum ini dibangun untuk menyimpan berbagai artefak dan temuan arkeologi yang ditemukan di sekitar Trowulan. Tempat ini adalah salah satu lokasi bersejarah terpenting di Indonesia yang berkaitan dengan sejarah kerajaan Majapahit.



*Gambar 2.2 Museum Trowulan
sumber : google.com*

Di atas tanah tergali di Situs Trowulan, Mojokerto, Jawa Timur, berdiri semacam tenda besar berwarna putih. Besar, megah, seperti rumah panggung, dan yang pasti mengamankan tanah galian dari paparan matahari. Konstruksi ini adalah hasil karya arsitektur kenamaan di Indonesia yaitu Yori antar. konstruksi ini berakar dari konsep umpak, yakni sistem struktur tradisional rumah-rumah di Indonesia yang fleksibel terhadap gempa. Bangunan tidak mengakar ke dalam tanah, melainkan hanya seperti menumpang pada batuan. Maka itu konsep konstruksi ini adalah gabungan instalasi futuristik yang berdampingan dengan situs masa lampau. Konstruksi bangunan diusahakan seminimal mungkin berpijak pada tapak. Hal ini dilakukan agar intervensi yang dilakukan tidak mengganggu lokasi situs yang sudah ada. Sistem atap yang digunakan juga bersifat ringan dan transparan. Atap sederhana yang terbuka

memungkinkan sinar matahari melakukan penetrasi ke dalam situs dan sistem sirkulasi pengunjung.

Selain sebagai pelindung, tenda raksasa ini bertindak seperti museum terbuka. Terdapat lorong dan tangga kayu di bawah tutupan tenda yang seperti rumah panggung. Konsep ini memungkinkan masyarakat untuk melihat proses penggalian tanpa harus terekspos matahari. Di saat bersamaan, bisa melongok situs penggalian tanpa masuk ke dalam satu bangunan bertembok.

2.3 Konsep Pendinginan Alami

Indonesia merupakan negara yang memiliki iklim tropis lembab dimana pada umumnya bangunan-bangunan di dalamnya menerapkan sistem penghawaan alami yaitu dengan memaksimalkan kecepatan angin, memperhatikan aliran pergerakan angin dan juga melihat pengaruh lingkungan dan bangunan sekitar terhadap aliran angin tersebut (Allard, 1998:203). Penyelesaian desain bangunan yang diterapkan dalam menanggapi iklim sekitar di Indonesia adalah dengan menerapkan sistem penghawaan alami. Sistem pendinginan Alami menjadi salah satu elemen bangunan yang cukup menentukan untuk menjaga kenyamanan penghuni, terutama pada Bangunan Kantor sederhana atau gudang kerja (*workshop*). Manfaat yang dihasilkan dari penghawaan alami diantaranya yaitu : membuang panas dalam ruang, memberi sensasi sejuk pada tubuh manusia dan terakhir membuang kelembaban.

Pada umumnya udara panas dalam ruang mempunyai sifat naik ke atas sehingga diperlukan upaya membuang panas agar tidak turun ke bawah. Sensasi sejuk dapat terpenuhi apabila aliran udara yang mengenai tubuh tergantung pada kecepatan, pemerataan dan variasi turbulensi. Desain penghawaan alami pada bangunan ramah lingkungan sangat tergantung pada posisi dan strategi yang akan digunakan. Posisi bukaan untuk menghasilkan penghawaan alami dalam rumah mencakup tiga hal, yaitu: di bagian atas untuk membuang panas (roster atas), di bagian tengah untuk memberi sensasi sejuk (jendela) dan di bagian bawah untuk membuang kelembaban (roster bawah).

Penghawaan alami dalam rumah tinggal dapat menggunakan strategi penghawaan silang atau penghawaan apung. Prinsip penghawaan silang dengan mengandalkan perbedaan tekanan udara antara dua bukaan pada sisi yang berbeda dalam sebuah ruang. Penghawaan apung terjadi apabila terdapat perbedaan suhu lebih dari 5 C antara dua bukaan yang berbeda ketinggian lebih dari 5 meter. Kendala aplikasi penghawaan silang pada bangunan di perkotaan

yang padat adalah keterbatasan bukaan yang hanya ada pada satu sisi ruang sehingga tidak memungkinkan adanya aliran udara silang. Apabila tinggi ruangan mencapai 5 meter maka dapat digunakan strategi ventilasi apung dengan memberi elemen penyejuk udara di bagian bawah seperti taman atau kolam air.

Penempatan bangunan yang tepat terhadap matahari, angin, bentuk denah dan konstruksi serta pemilihan bahan yang sesuai, maka temperatur ruangan dapat dengan sendirinya didinginkan beberapa derajat tanpa bantuan peralatan mekanis. (Lippsmeier, 1994:101). Menurut Norbert Lechner, dalam bukunya Heating, Cooling, Lighting (2007:282), untuk mendapatkan kenyamanan termal secara pasif, maka harus diterapkan beberapa pendekatan, seperti:

a. Penghindaran panas

Pada tingkatan ini yang harus dilakukan adalah upaya-upaya untuk meminimalkan pengaruh panas dan radiasi matahari kedalam bangunan. Strategi-strategi yang dapat dilakukan antara lain:

- Pembayangan terhadap sinar matahari
- Pengaturan orientasi bangunan terhadap matahari
- Penggunaan bahan dan warna material dinding bangunan
- Faktor-faktor vegetasi, serta
- Pengendalian panas internal dalam ruangan Strategi penghindaran panas biasanya tidak cukup dilakukan untuk mencapai kenyamanan termal, terutama didaerah lingkungan tropis. Maka diperlukan kombinasi dengan strategi lain.

b. Pendinginan Pasif

Dengan menerapkan beberapa sistem pendinginan pasif kondisi suhu udara dapat didinginkan. Salah satu mekanisme pendinginan pasif antara lain menggunakan ventilasi alami. Dalam kondisi suhu-suhu udara tertentu, terutama pada daerah tropis, strategi penghindaran panas saja tidak cukup menjamin kenyamanan termal dalam ruang. Penambahan ventilasi silang sebagai pendingin alami sangat membantu dalam mencapai kenyamanan termal yang dikehendaki.

c. Penggunaan peralatan mekanis

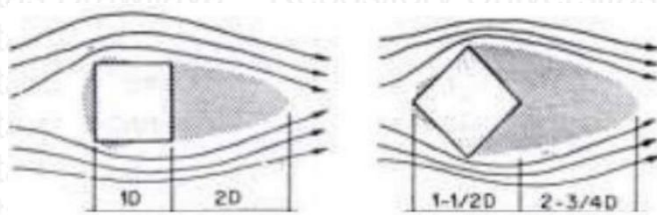
Penggunaan bantuan peralatan mekanis pada umumnya dilakukan apabila kondisi bangunan tidak memungkinkan untuk menerapkan strategi penghindaran panas maupun pendinginan pasif.

2.3.1 Pengaruh iklim mikro

Lippsmeier (1994:101-106) mengatakan bahwa keberadaan iklim mikro sekecil apapun akan berpengaruh terhadap suhu dalam ruangan, antara lain:

1. Orientasi bangunan

Pada iklim tropis, fasad bangunan yang berorientasi Timur-Barat merupakan bagian yang paling banyak terkena radiasi matahari (Mangunwijaya, 1980). Oleh karena itu, bangunan dengan orientasi ini cenderung lebih panas dibandingkan dengan orientasi lainnya. Selain orientasi terhadap matahari, orientasi terhadap arah angin juga dapat mempengaruhi kenyamanan termal, karena orientasi tersebut dapat mempengaruhi laju angin ke dalam ruangan (Boutet, 1987) (**Gambar 2.3**). Dimensi dan bentuk dari suatu bangunan juga dapat mempengaruhi lebar bayangan angin (Boutet, 1987) (**Gambar 2.4**).



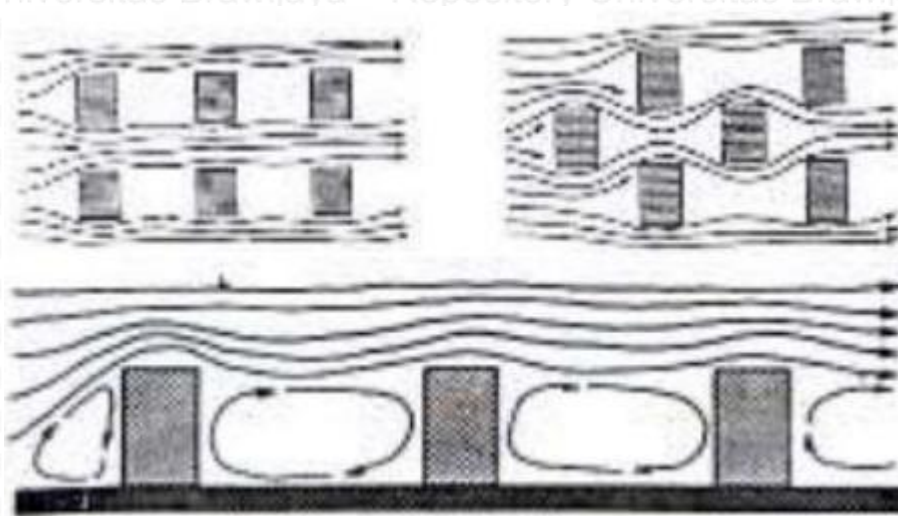
Gambar 2.3 Orientasi bangunan persegi terhadap arah angin



Gambar 2.4 Pengaruh dimensi dan bentuk bukaan dari bangunan terhadap ukuran bayangan angin

Perletakan massa bangunan yang berpola seperti papan catur akan membuat aliran udara lebih merata. Perletakan massa bangunan yang berpola sejajar akan menciptakan pola

lompatan aliran udara yang tidak biasa dengan kantung turbulensinya (Boutet, 1987 dalam Latifah, N.L., Harry Perdana, Agung Prasetya, dan Oswald P.M. Siahaan, 2013) (**Gambar 2.5**).



Gambar 2.5 Pengaruh perletakan massa bangunan terhadap aliran udara

Kecepatan angin di daerah iklim tropis panas lembab umumnya rendah. Angin dibutuhkan untuk keperluan ventilasi (untuk kesehatan dan kenyamanan penghuni di dalam bangunan). Ventilasi adalah proses dimana udara ‘bersih’ (udara luar), masuk (dengan sengaja) ke dalam ruang dan sekaligus mendorong udara kotor di dalam ruang ke luar. Ventilasi dibutuhkan untuk keperluan oksigen bagi metabolisme tubuh, menghalau polusi udara sebagai hasil proses metabolisme tubuh (CO_2 dan bau) dan kegiatan-kegiatan di dalam bangunan. Untuk kenyamanan, ventilasi berguna dalam proses pendinginan udara dan pencegahan peningkatan kelembaban udara (khususnya di daerah tropika basah), terutama untuk bangunan rumah tinggal. Kebutuhan terhadap ventilasi tergantung pada jumlah manusia serta fungsi bangunan. Posisi bangunan yang melintang terhadap angin primer sangat dibutuhkan untuk pendinginan suhu udara. Penelitian menunjukkan, jika harus memilih (untuk daerah tropika basah seperti Indonesia), posisi bangunan yang melintang terhadap arah angin primer lebih dibutuhkan dari pada perlindungan terhadap radiasi matahari sebab panas radiasi dapat dihalau oleh angin yang berhembus. Kecepatan angin yang nikmat dalam ruangan adalah 0,1 – 0,15 m/detik. Besarnya laju aliran udara tergantung pada:

- Kecepatan angin bebas
- Arah angin terhadap lubang ventilasi
- Luas lubang ventilasi
- Jarak antara lubang udara masuk dan keluar

- Penghalang di dalam ruangan yang menghalangi udara

2. Ventilasi silang

Penghawaan ruangan pada daerah tropis berfungsi dengan baik untuk memperbaiki iklim ruangan. Jika udara pada ruangan lembab maka dapat dikombinasikan dengan percepatan udara. Penggunaan ventilasi silang akan membantu dalam proses pendinginan oleh sebab itu untuk mendapatkan ventilasi silang dapat menggunakan lubang-lubang pada arah yang berlawanan. Namun penggunaan ventilasi silang tidak akan berpengaruh banyak jika tidak adanya kecepatan angin. Penggunaan jalusi pada ventilasi akan berpengaruh terhadap aliran udara yang masuk.

3. Pelindung matahari

Penggunaan pelindung matahari yang sama pada keempat fasade sama sekali tidak memiliki alasan yang tepat, meskipun sering dipraktikkan atas dasar bentuk. Efek terbesar akan tercapai bila untuk setiap sisi bangunan diperhitungkan sesuai dengan sudut jatuh cahaya matahari dan tuntunan-tuntunan lainnya. Penyelesaian yang cukup baik adalah dengan menempatkan bangunan-bangunan serapat mungkin, sehingga saling memberi bayangan. Kemungkinan ini dimanfaatkan sejak berabad-abad yang lalu oleh penduduk daerah tropika-kering. Tetapi untuk daerah tropika-basah kerapatan bangunan seperti itu tidak benar, karena ventilasi tidak mungkin lagi dilakukan.

Bahkan di daerah tropika-kering masalah teknis lalu lintas dan higienis tidak memungkinkan penempatan bangunan sedemikian rapat. Pelindungan terhadap matahari dapat dilakukan dengan :

- a. Vegetasi
- b. Elemen bangunan horisontal yang tidak tembus cahaya
- c. Elemen bangunan vertikal yang tidak tembus cahaya
- d. Kaca pelindung matahari.

4. Vegetasi

Seperti banyak faktor lainnya, vegetasi juga dapat menghasilkan pengaruh yang berbeda terhadap iklim mikro pada daerah kering dan daerah lembab. Apa yang cocok untuk suatu daerah belum tentu sesuai untuk daerah lain. Di daerah kering, vegetasi lebat dapat menahan

angin panas dan debu yang tidak diinginkan dan penguapan daun menambah kelembaban udara sehingga temperatur akan turun. Sebaliknya di daerah lembab diinginkan adanya gerakan udara maksimum, dan semak dan pepohonan dapat menghambat gerakan udara.

Pertamanan yang terencana baik dapat:

- a. Mempengaruhi arah dan kekuatan angin
- b. Menyimpan air
- c. Menurunkan temperatur
- d. Menyamakan perbedaan temperatur

2.4 Tinjauan Pendinginan Pasif

Penggunaan bahan bangunan pada bangunan dengan material masif dapat memperlambat dan menunda suhu panas yang masuk melalui dinding dan dapat meredam panas dalam waktu sehari. Adapun tipe dari sistem pendinginan pasif menurut Lechner (2007: 292-325).

1. Metode pendinginan dengan ventilasi

Penggunaan ventilasi yang nyaman tergantung pada teknik gerakan udara yang melintasi kulit bangunan sehingga menghasilkan suhu yang nyaman. Teknik penggunaan ventilasi ini cocok untuk iklim tertentu, misalnya pada iklim panas dan lembab. Ventilasi yang nyaman akan lebih efektif lagi jika suatu bangunan dikelilingi oleh vegetasi daripada aspal. Penggunaan ventilasi yang nyaman seharusnya memiliki 20% bukaan atau lubang dari luas lantai.

2. Metode pendinginan dengan sinar matahari

Semua objek bangunan dapat memancarkan dan menyerap energi matahari dan akan menjadi dingin oleh proses radiasi jika aliran tersebut berada di luar. Namun pada pendinginan ini biasanya digunakan untuk material atap. Penggunaan pendinginan ini dapat digunakan secara langsung maupun tidak langsung.

3. Metode pendinginan dengan cara penguapan

Metode ini merupakan metode yang berkaitan dengan kelembapan. Penggunaan metode ini tidak cocok digunakan pada daerah beriklim lembab, karena kelembapan akan naik dan suhunya akan turun.

4. Metode pendinginan tanah

Suhu pada permukaan tanah sama dengan suhu udara, namun adanya perbedaan pada time lag. Pada musim panas suhu pada tanah akan berbeda tergantung pada keadaan tanah tersebut. Namun pendinginan dengan sistem ini kurang praktis.

5. Metode penghilangan lembab

Menghilangkan lembab berfungsi untuk mengontrol kenyamanan dan mengendalikan jamur. Metode ini sulit untuk diterapkan dan mahal untuk biayanya karena dalam metode ini melalui tahap pengeringan dan pendinginan titik jenuh.

2.5 Kinerja Termal Bangunan

Kinerja termal sangat dipengaruhi oleh kinerja termal dari elemen-elemen yang membentuk bangunan (lantai, dinding, dan atap). Khusus elemen lantai, kinerja termalnya dapat dianggap stabil demikian pula dengan dinding internal. Kinerja termal dari suatu bangunan dipahami sebagai pengontrol lingkungan termal pada ruang dalam melalui prosedur desain dan karakteristik atau sifat dari bahan selubung bangunan (berhubungan dengan sistem konstruksi yang digunakan), atau dapat dikatakan bahwa kinerja termal bangunan merupakan keberhasilan dari sistem pendinginan pasif atau pemanasan pasif yang dimodifikasi agar dapat memenuhi persyaratan kondisi ruang dalam (Van Straaten, 1980). Sedangkan standar thermal performance yang direkomendasikan oleh Koenigsberger (1973) untuk daerah iklim tropis lembab adalah dengan memperhatikan material yang bersifat pemantulan (reflectivity) dan penahanan (insulator), serta selisih suhu udara pada ruang langit-langit dengan atap tidak boleh lebih dari $4,5^{\circ}\text{C}$. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari ketidaknyamanan penghuni.

Proses pergerakan panas dalam udara (heat flow) pada bangunan merupakan modifikasi dari efek selubung bangunan pada temperatur ruang dan kebutuhan konsumsi energi untuk beban panas (heating) dan pendinginan (cooling). Bangunan memperoleh dan mengeluarkan panas ke lingkungan sekitar dapat terjadi melalui peristiwa perpindahan panas sebagai berikut:

- Konduksi, yaitu proses perpindahan panas (heat transfer) dari molekul panas ke molekul dingin melalui medium padat. Thermal conduction pada bangunan adalah proses perpindahan panas dari elemen padat bangunan (atap, dinding, dan lantai) dari temperatur panas menuju temperatur dingin.
- Konveksi, yaitu proses perpindahan panas (heat transfer) dari molekul panas ke molekul dingin melalui gas atau zat cair. Konveksi pada bangunan dapat terjadi karena perbedaan

temperatur (natural atau thermosyphonic), kecepatan pergerakan medium pembawa, dan panas jenis dari medium pembawa.

- Radiasi, yaitu proses perpindahan panas (heat transfer) dan perpindahan energi pada bangunan karena adanya gelombang elektromagnetik melalui udara.

Pemakaian material pada bangunan dapat dilihat pada elemen-elemen bangunan, yaitu selubung bangunan (dinding dan atap) serta interior bangunan (lantai dan partisi). Pematahan laju panas di daerah tropis lembab menurut Santosa (1999) dilakukan dengan prinsip konstruksi yang mempunyai heat resistance (R) maksimal, conductivity value (C) minimal, dan heat transmitance (U-value) minimal. Adapun pengertian dari properties tersebut adalah sebagai berikut:

- Thermal Resistance (R) adalah total tahanan pada setiap lapisan elemen bangunan dan merupakan jumlah langsung tahanan dari masing-masing lapisan. Satuan $m^2\text{°C/W}$.
- Thermal Conductivity (C), adalah rata-rata aliran panas pada setiap permukaan dari ketebalan elemen bangunan dalam setiap unit perbedaan temperatur. Satuan $W/m\text{°C}$.
- Thermal Transmittance (U-value), adalah transmisi termal dalam setiap permukaan elemen bangunan persatuan waktu dalam setiap waktu perbedaan temperatur antara di luar dan di dalam bangunan. Satuan $W/m^2\text{°C}$.

2.6 Penahanan Panas Bangunan Di Daerah Tropis Lembab

Penahanan panas dalam bangunan yang dikaitkan dengan penggunaan material pada elemen konstruksi adalah sebagai insulasi termal bangunan dengan prinsip pematahan laju panas dari luar ke dalam bangunan serta pendayagunaan pembukaan untuk mendapatkan pergantian udara yang dapat menghapus beban panas. Insulasi termal merupakan suatu kontrol dalam menghambat laju panas pada bangunan. Secara teoritis insulasi termal dibagi menjadi tiga jenis mekanisme, yaitu:

- *Reflective Insulation*; pematahan laju panas dengan merefleksikan radiasi panas yang jatuh pada elemen bangunan.
- *Resistive Insulation*; material/sistem konstruksi dengan nilai resistansi tinggi menunjukkan kemampuan yang tinggi pada penahanan panas.

- *Capacitive Insulation*; tidak terpengaruh langsung laju panas, ciri material dengan nilai kapasitas baik adalah kepadatan material. Semakin padat dan besar jenis material, semakin tinggi besaran kapasitasnya

Semua jenis insulasi mempunyai potensi yang sama dalam prinsip penahanan panas. Apabila dipakai gejala menahan panas sesaat (steady state), maka prinsip reflective dan resistance insulation lebih sesuai untuk diterapkan, namun harus tidak ada pergerakan udara. Apabila prinsip capacitive insulation diterapkan pada gejala periodic heat flow dengan disertai pergerakan udara, maka prinsipnya adalah untuk penghapusan panas lepasan akibat dari kejenuhan daya kapasitip elemen kulit bangunan.

Karakter tersebut di atas juga berlaku pada daerah berhawa dingin untuk mendapatkan kondisi di dalam bangunan yang lebih baik dibandingkan di luar bangunan, maka prinsip bahan bangunan adalah menyimpan dan menahan panas semaksimal mungkin. Dalam hal ini diharapkan panas di dalam bangunan dapat bertahan dan mencukupi untuk memenuhi tingkat kenyamanan yang dibutuhkan.

2.7 Indeks Kenyamanan Suhu

2.7.1 Standar Nasional Indonesia

Pemerintah melalui Departemen Kimpraswil telah mengeluarkan standar kenyamanan termal ruang dalam bangunan. Standar tersebut adalah SNI T 03-6572-2001. Standar kenyamanan tropis di Indonesia dapat dibagi menjadi :

1. Sejuk nyaman, antara temperatur efektif $20,5^{\circ}\text{C} \sim 22,8^{\circ}\text{C}$
2. Nyaman optimal, antara temperatur efektif $22,8^{\circ}\text{C} \sim 25,8^{\circ}\text{C}$
3. Hangat nyaman, antara temperatur efektif $25,8^{\circ}\text{C} \sim 27,1^{\circ}\text{C}$

Kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara $40\% \sim 50\%$, tetapi untuk ruangan yang jumlah orangnya padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif masih diperbolehkan berkisar antara $55\% \sim 60\%$. Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala tidak boleh lebih besar dari $0,25 \text{ m/detik}$ dan sebaiknya lebih kecil dari $0,15 \text{ m/detik}$.

2.7.2 Suhu Nyaman Iklim Tropis

Suhu nyaman thermal untuk orang Indonesia berada pada rentang suhu 22,8°C - 25,8°C dengan kelembaban 70%. Kondisi ini memberikan dampak yang kurang baik terhadap manusia dalam menjalankan aktivitasnya, sebab efektifitas dan produktifitas manusia cenderung menurun pada kondisi udara yang ekstrim yaitu terlalu dingin atau terlalu panas. Karyono (2001:24,32) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa suhu nyaman untuk orang Jawa temperature operative (To) antara 23,2 °C – 30,2 °C atau rata-rata 26,7 °C.

Tabel 2.2 Standar Suhu Nyaman dari Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung

No	Kondisi Termal	Temperatur Efektif	Kelembapan (RH)
1	Sejuk Nyaman	20,5°C – 22,8°C	50%
	Ambang Batas	24°C	80%
2	Nyaman Optimal	22,8°C – 25,8°C	70%
	Ambang Batas	280C	
3	Hangat Nyaman	25,8°C – 27,1°C	60%
	Ambang Batas	31°C	

Sumber: Talarosha, (2005: 150)

2.7.3 Suhu Netral dan Rentang Suhu Nyaman Manusia Indonesia

Nilai kenyamanan suhu hanya dibatasi pada kondisi udara tidak ekstrim (moderate thermal Environment), dimana manusia tidak memerlukan usaha apapun, seperti halnya menggigil atau mengeluarkan keringat. Dalam rangka mempertahankan suhu tubuh agar tetap normal sekitar 37°C. Daerah suhu inilah yang kemudian disebut dengan “suhu netral atau nyaman”. Menurut Farida Idelistina (1991:1) mengatakan bahwa suhu nyaman diperlukan manusia untuk mengoptimalkan produktifitas kerja.

Tabel 2.3 Suhu Netral dan batas kenyamanan termal di Indonesia

Kelompok Suku	Suhu Netral (Tn)			Batas Nyaman		
	Ta(°C)	To(°C)	Teg(°C)	Ta(°C)	To(°C)	Teg(°C)
Aceh (n=6)	24,3	24,3	23,4	20,5-27,3	20,7-27,9	20,2-26,6
Tapanuli (n=23)	25,9	26,2	24,6	22,5-29,2	22,9-29,4	20,2-28,9
Minang (n=27)	26,9	27,4	25,7	23,7-30,1	24,1-30,6	21,7-29,6
Sumatera yang lain (n=16)	27,0	27,3	25,9	23,7-30,3	23,9-30,7	21,8-30,1
Betawi (n=23)	27,0	27,3	25,9	23,7-30,3	23,9-30,7	21,8-30,1
Sunda (n=86)	26,4	26,6	25,0	23,9-28,9	23,9-29,3	21,8-28,3
Jawa (n=232)	26,4	26,7	25,2	22,8-29,9	23,2-30,2	21,0-29,4

Sumber: Karyono, (2001: 32)

Indonesia (n=62)	yang	lain	26,9	27,4	26,2	22,6-31,2	22,5-32,2	21,3-31,1
-----------------------------	-------------	-------------	------	------	------	-----------	-----------	-----------

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.

a. Suhu Netral Untuk Indonesia

Cahyani (2010) mengatakan bahwa range suhu udara netral dewasanya berkisar antara 17°C hingga 30°C. 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 :

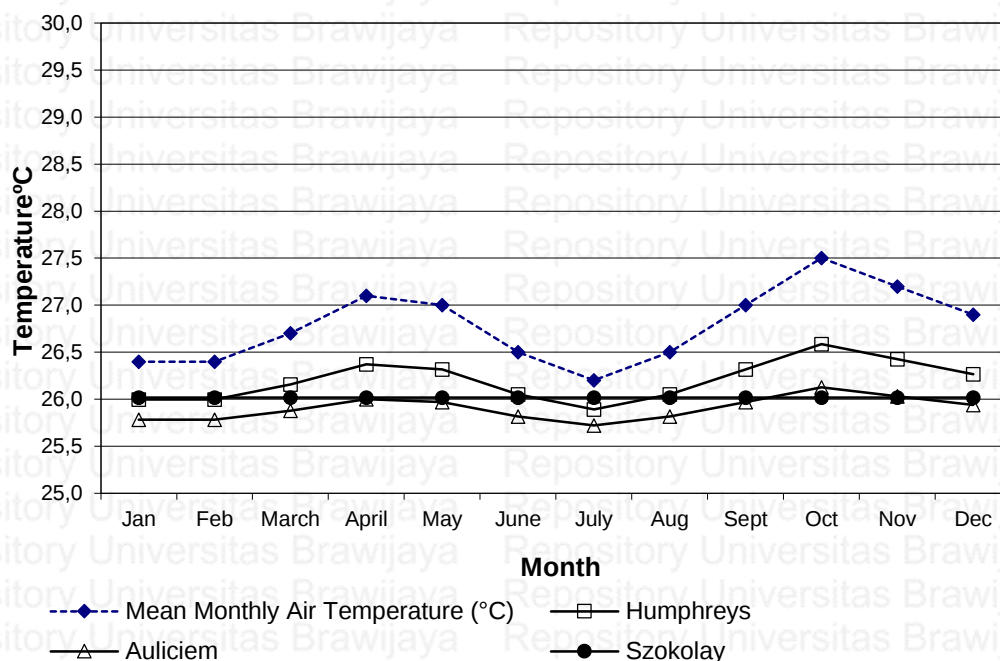
T_n = jarak suhu udara netral dengan $\pm 2^\circ\text{K}$

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

Perbandingan zona kenyamanan diatas 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 kenyamanan termal dapat berkisar sebesar $2,5^{\circ}\text{C}$ di atas dan di bawah suhu udara.

b. Suhu Netral Untuk Kota Karanganyar

Nugroho (2009) menggunakan persamaan di atas dan rata-rata suhu udara tahunan perbulan dari data iklim untuk cuaca. 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.



Gambar 2.6 Suhu netral berdasarkan data iklim Kabupaten Karanganyar tahun 2016

Dengan mengambil $25,9^{\circ}\text{C}$ sebagai suhu netral pada bangunan, maka didapatkan $28,4^{\circ}\text{C}$ sebagai batas atas zona nyaman dan $23,4^{\circ}\text{C}$ sebagai batas bawah zona nyaman.

2.8 Selubung Bangunan

Selubung atau kulit bangunan merupakan bagian dari elemen bangunan yang letaknya paling luar dan berhadapan langsung dengan lingkungan. Selubung bangunan adalah batas langsung antara lingkungan alami termasuk iklim dengan lingkungan buatan atau ruangan.

Dengan demikian selubung bangunan memiliki peran yang penting dalam mengakomodasi hubungan timbal balik antara lingkungan luar dan dalam bangunan.

Selubung bangunan merupakan suatu kesatuan dari beberapa komponen-komponen bangunan yang menyusun konstruksi terluar sebuah bangunan. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah atap, dinding luar, shading device, bukaan-bukaan ventilasi, serta lantai. Dominasi komponen tersebut berbeda-beda pada bangunan-bangunan tertentu. Akan tetapi, masing-masing komponen dapat mengoptimalkan kondisi kenyamanan dalam ruang yang dilingkupinya.

2.8.1 Bukaan/ventilasi

Bukaan berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam ruangan dan mengurangi tingkat kelembaban di dalam ruangan. Bukaan yang baik harus terjadi *cross ventilation*, sehingga udara dapat masuk dan keluar ruangan. Salah satu elemen penting dari sistem ventilasi silang adalah rasio dari bukaan atau lubang dari ventilasi tersebut. Lubang atau bukaan untuk mengalirkan angin ke dalam bangunan sebagai pendingin ruang yang menyebabkan penghuni merasakan nyaman (Manley, 2009; Mangun wijaya, 1997; dan Sangkertadi et al., 1997).

Pola aliran udara yang melewati ruang tergantung pada lokasi inlet (lobang masuk) udara dan shading devices yang digunakan di bagian luar. Semakin besar perbandingan luas outlet terhadap inlet, maka kecepatan angin di dalam ruangan lebih tinggi sehingga ruangan lebih sejuk (Latifah, N.L., Harry Perdana, Agung Prasetya, dan Oswald P.M. Siahaan, 2013). Secara umum, posisi outlet tidak akan mempengaruhi pola aliran udara. Untuk menambah kecepatan udara terutama pada saat panas, bagian inlet udara ditempatkan di bagian atas, luas outlet sama atau lebih besar dari inlet dan tidak ada perabot yang menghalangi gerakan udara di dalam ruang. Tipe bukaan yang berbeda akan memberikan sudut pengarah yang berbeda pula dalam menentukan arah gerak udara dalam ruang

2.8.2 Atap

Atap merupakan elemen bangunan yang terletak paling atas dari bangunan. Atap memiliki peranan penting sebagai naungan bagi ruangan maupun elemen lain bangunan dari terik matahari dan hujan. Mangun wijaya (2000 : 280) menyebutkan persyaratan yang harus menjadi kriteria desain atap pada daerah Nusantara, antara lain:

- a. Atap harus sebanyak mungkin menangkap radiasi panas matahari serta menghindari konveksi udara panas
- b. Menjamin kerapatan terhadap hujan dan kelembaban
- c. Mampu menahan hempasan angin dan hujan

2.8.3 Dinding

Dinding bangunan berperan dalam menunjang keberlangsungan bangunan sebagai; penyangga beban komponen di atasnya, penutup atau pembatas ruang mengakomodasi pengaruh iklim dan lingkungan luar (radiasi matahari, radiasi panas dari dalam ruang, pemeliharaan suhu dalam bangunan, perlindungan dari tampias hujan, mengatur ventilasi dalam ruangan, pelindung dari angin, dsb). Mangunwijaya (2000:349), menyebutkan kriteria dinding luar sebagai berikut:

- a. Radiasi matahari,
Mampu memantulkan kembali ataupun menyerap radiasi matahari dari luar sesuai kebutuhan dalam ruang.
- b. Radiasi sumber-sumber kalor dari dalam,
Menyerap ataupun mengembalikan kelembapan untuk mengontrol kondensasi kalor dalam ruang.
- c. Penghalang kalor dari luar,
Tebal tipis dinding dan kemampuannya dalam menghalangi kalor dari luar
- d. Pemeliharaan suhu dalam ruangan
Sebaiknya tidak mudah terpengaruh perubahan suhu di luar
- e. Mengatur derajat kelembapan,
- f. Melindungi dari arus angin,
- g. Pengaturan ventilasi dalam ruangan

Dinding untuk bangunan tropis ada tiga macam, yaitu (lipsmeier 1994:77-81)

1. Dinding masif
Daerah tropis – kering jenis pemakaian dinding dengan sedikit berongga, permukaan terang, dan dapat memantulkan cahaya. Karena pada blok berongga daya isolasinya lebih baik. Namun masih dibutuhkan peneduh yang dapat membantu mengurangi radiasi matahari.
2. Dinding berongga

Penggunaan dinding berongga mempunyai keuntungan karena sebagian besar panas dipantulkan melalui lubang udara. Maka didapatkan pengudaraan yang lebih baik jika lapisan pemantul bergelombang. Jika lapisan dinding dalam menjadi panas oleh konveksi dan radiasi maka didinginkan oleh pengudara antar ruang tersebut.

3. Dinding Ringan

Pada daerah tropis lembab pemilihan dinding ringan dapat memenuhi tuntutan iklimnya. Misalnya penggunaan dinding ringan berupa anyaman tradisional berbahan organik yang tipis. Penggunaan luas bukaan atau ventilasi silang yang berbeda juga mempengaruhi suhu pada ruangan.

2.8.4 Shading Device

Sinar matahari merupakan sumber pencahayaan alami yang penting bagi bangunan. Namun, selain itu sinar matahari juga memberikan radiasi panas yang dapat memberikan dampak buruk bagi kenyamanan termal. Bangunan memerlukan cahaya alami dari matahari, akan tetapi pada waktu yang sama juga harus menghindari radiasi panasnya. Hal ini menjadi permasalahan yang bisa diselesaikan secara teknis.

Pencahayaan dari sinar matahari dapat dimanfaatkan dengan pantulan-pantulan, sehingga tidak secara langsung masuk dan membawa panas secara langsung. Salah satu teknik yang bias dilakukan adalah dengan menciptakan daerah bayang-bayang (shading device) pada bidang bukaan.

Penempatan bangunan yang tepat terhadap matahari, angin, bentuk denah dan konstruksi serta pemilihan bahan yang sesuai, maka temperatur ruangan dapat dengan sendirinya didinginkan beberapa derajat tanpa bantuan peralatan mekanis. (Lippsmeier, 1994:101)

2.9 Tinjauan Material Bangunan

Menurut Rosenlund(2000), kemampuan material melawan panas yang mempengaruhi bangunan, disebut *thermal properties* adalah:

- *Density* mempunyai satuan kg/m^3 , merupakan perbandingan antara berat dan volume, *density* memegang peran yang besar untuk *thermal properties*, material mempunyai *density* ringan mempunyai daya isolasi lebih besar dari pada material yang ber-*density* besar.
- Konduktivitas (*Conductivity*, *k*) adalah bilangan yang menunjukkan besar panas (watt) yang mengalir melalui bahan setebal 1m, seluas 1m^2 dengan perbedaan suhu antara kedua sisi permukaan 1°C . Dengan kata lain konduktivitas adalah kemampuan suatu benda untuk

memindahkan kalor melalui benda tersebut. Material yang memiliki konduktivitas panas rendah dapat disebut dengan isolator yang baik, sebaliknya material yang memiliki konduktivitas tinggi merupakan material penghantar panas yang baik.

- *Spesific heat*: mempunyai satuan Wh/KgK, adalah mengindikasikan material yang mempunyai kemampuan menyimpan sejumlah energy. *Spesific heat* yang tinggi artinya material mempunyai kemampuan banyak menyimpan panas (*heat storage*).

Kombinasi dari ketiga *thermal properties* material tersebut menghasilkan apa yang disebut *Time Lag* adalah; waktu maksimum yang dipergunakan oleh dinding untuk mengeluarkan panas dari permukaan luar dinding ke bagian dalam dinding.

Tabel 2.4 *Thermal porperties* dari beberapa bahan

MATERIAL	DENSITY (Kg/m ³)	SPECIFIC HEAT (J/Kg.K)	KONDUCTIVITY W/m.K
Bamboo	600	1,8	0,2
Plywoods	530	1420	0,14
Board	160	1890	0,04
Cellulosic Insulation	43	1380	0,042
Chipboard Perforated	350	1260	0,06
Coir Board	97	1000	0,038
Particle Board	650	1300	0,12

(sumber : buku *Fisika bangunan karya Prasasto Satwiko*)

Karakteristik dari material yang lain adalah admittance, Milbank dan Harrington-Lynn (1974) menyatakan, admittance adalah Thermal resistance yang berkaitan dengan reaksi terhadap heat flow dari cyclic condition, mempunyai satuan seperti U-Value. Menurut Markus T.A., Moris E.N (1980): Semakin besar admittance, semakin rendah swing temperaturnya. Material yang padat mempunyai admittance lebih besar, sedangkan heavy weight structure mempunyai swing temperatur yang kecil. Material juga mempunyai thermal capacity, yakni Jumlah panas yang disimpan oleh material, kemudian melepaskannya. Decrement factor menurut Szokolay (1987), adalah perbandingan antara deviasi output panas puncak dari mean heat flow, terhadap kondisi yang sama tetapi mempunyai zero thermal mass.

2.10 Karakteristik kayu

Kayu sebagai bahan bangunan dapat mengikat air dan juga dapat melepaskan air yang dikandungnya. Keadaan seperti ini tergantung pada kelembaban suhu udara disekeliling kayu itu berada. Kayu mempunyai sifat peka terhadap kelembaban karena pengaruh kadar air yang menyebabkan mengembang dan menyusutnya kayu serta mempengaruhi pula sifat-sifat fisis dan mekanis kayu. Kayu mengering pada saat air bebas keluar dan apabila air bebas itu habis

keadaannya disebut titik jenuh serat (*Fibre Saturation Point*). Kadar air pada saat itu kira-kira 25% - 30%. Apabila kayu mengering dibawah titik jenuh serat, dinding sel menjadi semakin padat sehingga mengakibatkan serat-seratnya menjadi kokoh dan kuat. Pada umumnya kayu-kayu di Indonesia yang kering udara mempunyai kadar air antara 12% - 18%, atau rata-ratanya adalah 15%. Tetapi apabila berat dari benda uji tersebut menunjukkan angka yang terus-menerus menurun, maka kayu belum dapat dianggap kering udara.

1. Reaksi terhadap iklim

Jenis kayu keras memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh iklim. penguraian sel-sel kayu oleh air, panas, angin, udara dan cahaya. Dengan perawatan yang baik serta penggunaan yang tepat, sangat tahan terhadap hujan. Penyerapan panas kecil, tahan terhadap angin, dan angin ribut dengan konstruksi yang tepat. Kemampuan pemantulan rata-rata sekitar 50% (pada kayu berwarna gelap lebih kecil).

2. Kerapatan

Tergantung pada bentuk selnya, antara 200 kg/m^3 (kayu balsa) sampai 1250 kg/m^3 .

Tabel 2.5 Karakteristik kayu Bahan Bangunan Terhadap Panas

Bahan bangunan	Gaya berat $\rho(\text{kg/m}^3)$	Kapasitas penyimpanan panas c_p Wh/Kg K	Penyaluran panas $\lambda(\text{W/m K})$	Tebal bahan mm
Kayu Lunak	500	0.65	0.14	20
Kayu keras	800	0.55	0.21	20

Sumber: Frick, 2008

Berikut ini beberapa alternatif pemilihan material alami yang dapat digunakan sebagai material pelingkup bangunan.

a) Bambu



Gambar 2.7 Material bambu
sumber : *google.com*

Bambu adalah tanaman jenis rumput-rumputan dengan rongga dan ruas di batangnya. Bambu memiliki banyak tipe. Nama lain dari bambu adalah buluh, aur, dan eru. Di dunia ini bambu merupakan salah satu tanaman dengan pertumbuhan paling cepat. Karena memiliki sistem rhizoma-dependen unik, dalam sehari bambu dapat tumbuh sepanjang 60 cm (24 Inchi) bahkan lebih hingga mencapai tinggi maksimum dalam satu musim tumbuh (sekitar 3 sampai 4 bulan) tergantung pada kondisi tanah dan klimatologi tempat ia ditanam. Spesies bambu ditemukan di berbagai lokasi iklim, dari iklim dingin pegunungan hingga daerah tropis panas. Banyak spesies bambu tropis akan mati pada temperatur mendekati titik beku, sementara beberapa bambu di iklim sedang mampu bertahan hingga temperatur -29°C (-20°F).

b) Board



Gambar 2.8 material board
sumber: *google.com*

Board adalah papan yang terbuat dari potongan atau bilah-bilah kayu yang diambil dari pohon langsung. Kelebihannya adalah lebih tahan terhadap terpaan air dan kelembaban karena terdiri dari serat kayu yang terkait kuat secara alami.

c) Cellulosic insulation



Gambar 2.9 material selulosa
sumber: *google.com*

Isolasi selulosa adalah serat tanaman yang digunakan di dinding dan atap rongga untuk melindungi, mengurangi kebisingan. Konduktivitas termal isolasi selulosa adalah sekitar $40 \text{ mW} / \text{m} \cdot \text{K}$ (nilai R dari 3,8 per inci) yang kira-kira sama atau sedikit lebih baik daripada wol kaca atau wol batuan. Selulosa sangat bagus untuk dipasang di sekitar area dinding seperti pipa dan kabel, sehingga hanya sedikit kantong udara yang bisa mengurangi efisiensi keseluruhan dinding. Paket Selulosa padat dapat menutup dinding dari infiltrasi udara sambil memberikan kerapatan untuk membatasi konveksi, bila terpasang dengan benar.

d) Chipboard



Gambar 2.10 material chipboard
sumber: *google.com*

Chipboard adalah papan kayu yang terbuat dari partikel kayu bekas yang direkatkan dibawah tekanan dan suhu tertentu. Chipboard mempunyai permukaan yang relatif halus dan tersedia dalam beberapa kerapatan yaitu normal, sedang, dan tinggi. Kelamáhannya adalah tidak tahan air.

e) Hardwood



Gambar 2.11 material board

sumber: [google.co](https://www.google.co)

Adalah kayu keras yang terbuat dari pohon yang memiliki daun hijau dan berdimensi lebar.

Semua kayu keras adalah angiosperma (tanaman berbunga)

f) Particle board



Gambar 2.12 Material particle board

sumber: [google.com](https://www.google.com)

Particle board adalah papan material kayu yang tersusun dari serbuk gergaji, dipadatkan melalui proses secara kimia dengan tekanan dalam suhu tinggi. Beberapa produsen furniture/mebel banyak menggunakan bahan ini sebagai rangka furniture karena disamping harga material dasarnya lebih murah juga dalam proses finishing misal dengan menggunakan veneersheet bisa menekan harga penjualan furniture tersebut jauh lebih murah bila dibandingkan furniture rangka MDF atau Plywood/multipleks. Kekurangan dari material ini adalah tidak tahan air dan ruang yang lembab.

g) Plywood



Gambar 2.13 material plywood
sumber: *google.com*

papan material yang tersusun dari beberapa lapis kayu melalui proses perekatan dan pemampatan tekanan tinggi. Plywood terdiri dari kombinasi lapisan serat kayu dan kulit kayu dengan lapisan permukaan luar lebih kuat daripada lapisan tengah yang berfungsi untuk mereduksi pemuaian dan tekanan tekuk. Sifat dasar plywood tidak mudah untuk di tekuk, lebih tahan cuaca dan mudah dibentuk terutama untuk pembuatan furniture rumah tinggal. Terdapat beberapa jenis Plywood yang bisa kita temukan di pasaran yaitu plywood dari kayu pinus, dari kayu sengon dan plywood dari kayu sungkai. Harga plywood ukuran standar perlembar 120x240cm menyesuaikan varian ketebalan plywood yaitu 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm dan 24mm. Salah satu kelebihan dari plywood adalah kuat terhadap cuaca dan daya tekuk.

2.11 Tinjauan Workshop

Workshop merupakan sebuah kegiatan atau cara yang dilakukan, dimana beberapa orang yang memiliki keahlian di bidang tertentu berkumpul untuk membahas masalah tertentu dan mengajari para peserta workshop.

2.11.1 Persyaratan udara

Untuk memaksimalkan produktivitas dalam bekerja ada beberapa faktor yang harus dipenuhi (MENKES, 2002: 4-6)

1. Suhu dan Kelembapan

Suhu nyaman dalam kantor yaitu 18 °C - 28 °C. Jika suhu udara <18 °C maka dibutuhkan pemanas ruangan, sebaliknya jika suhu ruangan >28 °C maka dibutuhkan pendingin ruangan

(AC, kipas angin) dengan ketinggian *plafond* minimal 2,5m. Tingkat kelembapan ruangan untuk kenyamanan ruangan berkisar antara 40% - 60%.

2. Pertukaran Udara

Untuk ruang kerja yang menggunakan sistem penghawaan alami harus memiliki besaran ventilasi minimal 15% dari luas lantai dengan menerapkan sistem ventilasi silang. Menurut SNI 03-6572-2001: 3, tujuan ventilasi untuk: membuang gas-gas keringat dan CO₂ dari pernafasan; membuang uap air; membuang kalor; memperoleh kenyamanan termal. Model ventilasi ada dua macam gaya angin dan gaya termal. Ventilasi gaya angin ventilasi yang memanfaatkan perbedaan tekanan angin. Laju angin ventilasi gaya angin dipengaruhi: kecepatan rata-rata; arah angin yang kuat; variasi kecepatan, arah angin musiman dan harian; hambatan setempat, seperti padatnya bangunan, bukit, pohon dan semak belukar (SNI 03-6572-2001: 5). Ventilasi gaya termal memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi pada udara dalam ruang. Udara yang telah digunakan dan telah menyerap radiasi dalam ruang naik ke bagian atas ruang dan menerobos ventilasi dekat langit-langit. Akibat udara panas naik akan terjadi tekanan minimum di bagian bawah ruang dan menghisap udara segar dari luar melalui lubang ventilasi yang lebih dekat lantai.

2.11.2 Komponen bangunan yang mempengaruhi kenyamanan suhu

Komponen Pada bangunan akan berpengaruh pada kenyamanan termal mulai dari selubung bangunan hingga penghuninya. Penggunaan material pada selubung bangunan akan mempengaruhi sistem transmisi radiasi matahari. Pengaruh material bangunan khususnya pada material kulit bangunan sangat berpengaruh pada beban pendinginan suatu bangunan. Sehingga beban pendinginan dapat mencapai 40%-50% sesuai dengan bidang dari kulit bangunan tersebut (SNI 2011:5)

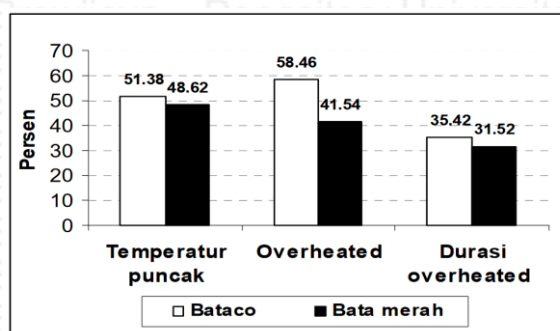
Penggunaan ventilasi sebagai penghawaan juga berpengaruh namun luas dari ventilasi tersebut harus diperhitungkan. Selain itu penggunaan material yang ada di dalam ruangan pun akan mempengaruhi suhu pada ruangan. Beban penghuni juga merupakan faktor dari kenyamanan termal ruang dalam, karena faktor dari aktivitas penghuni yang menyebabkan kenyamanan termal ruang dalam (SNI 2011:5-6).

2.12 Komparasi

2.12.1 Jurnal 1: Pengaruh Thermal Properties Material Bata Merah dan Batako Sebagai Dinding, Terhadap Efisiensi Energi Dalam Ruang Di Surabaya

Permasalahan yang berada di kota Surabaya merupakan tingginya suhu udara pada ruang luar sehingga suhu udara pada siang hari maupun malam hari terasa panas. Penggunaan material bata merah dan batako sebagai dinding pada bangunan banyak digunakan pada bangunan di kota Surabaya. Kedua material tersebut mempunyai katakteristik termal yang berbeda, karena kedua material memiliki karakter material terhadap panas yang berbeda antara semua jenis material. Kedua material mempunyai ketebalan dinding yang sama yaitu 12,5cm.

Bangunan dengan material bata bahwa selama 24 jam ruang pada bangunan dengan material bata tidak pernah mengalami kenyamanan, karena pada temperatur pada ruang dalam tidak pernah berada di batas nyaman. Kenyamanan termal ruang dalam di kota surabaya yaitu diantara suhu $25,5^{\circ}\text{C}$ – $28,7^{\circ}\text{C}$ temperatur di kota surabaya pada bulan oktober merupakan temperatur puncak, namun untuk temperatur luar bangunan jika mengalami temperatur puncak maka untuk termperatur dalam bangunan tidak mengikuti waktu untuk temperatur puncak dan pada sore hari jika temperatur luar menurun temperatur pada bangunan dengan material batako juga tidak mengalami kenyamanan termal pada ruang dalam.



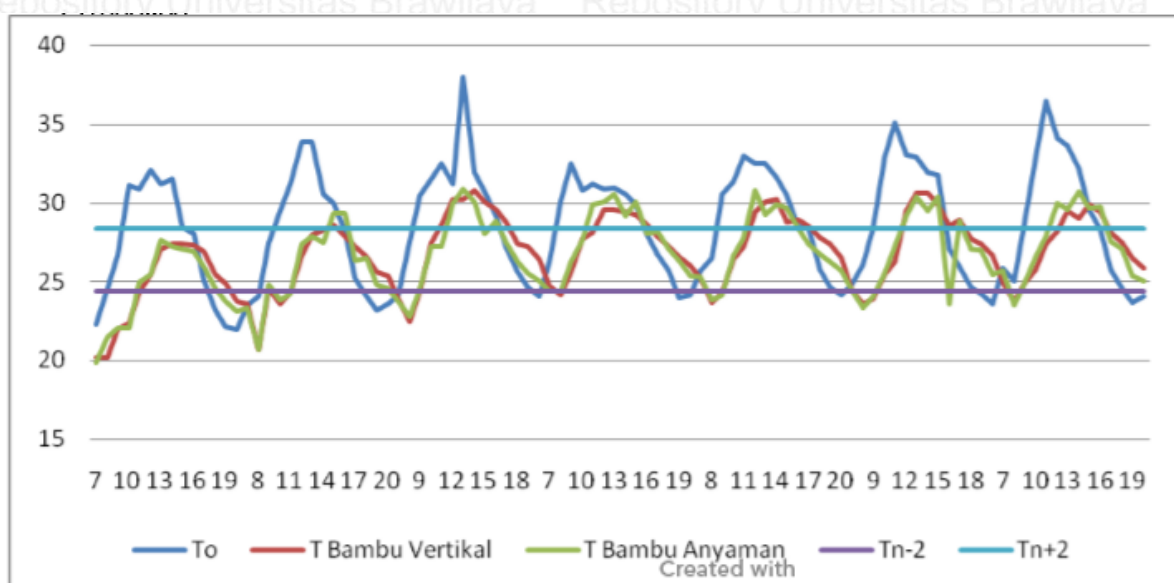
Gambar 2.14 Diagram perbandingan panas berdasarkan kriteria dinding batako dan bata merah

Sumber : Noerwarsito, V.T 2006

Dinding pada bata merah lebih dahulu mengalami *overheated* dibandingkan dengan dinding batako. Dinding bata merah mengalami temperatur minimal sebesar $26,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada bangunan dengan material batako mengalami temperatur minimal sebesar 25°C . Dalam hal ini dinding batako lebih baik dari bata merah. Temperatur puncak yang

terjadi pada kedua material di siang hari dengan temperatur puncak lebih tinggi pada material batako dibandingkan material ber dinding bata merah. Hal tersebut menunjukkan kondisi panas ruang ber dinding batako pada setiap tahunnya lebih tinggi dibandingkan bata merah. Sehingga perbandingan suhu antara kedua material tersebut dipengaruhi oleh skala prioritas pertama yaitu *overhead*, karena bila kondisi ini tinggi, kondisi ruang akan mengalami ketidaknyamanan. Untuk surabaya *thermal properties* bata merah lebih sesuai untuk iklim surabaya dari pada *thermal properties* batako.

2.12.2 Kinerja Suhu pada Rumah Tinggal Konstruksi Dinding Bambu Plester



Gambar 2.15 Grafik pengukuran suhu pada material bambu anyaman dan bambu vertikal dengan jendela tertutup.

Sumber : Setiyowati, E. & Fikriani, A.2009

Penelitian yang dilakukan terhadap material bambu anyam lesters dan konstruksi dinding bambu vertikal dengan kondisi jendela tertutup. Dinding pada material bambu dengan konstruksi dinding vertikal mempunyai ketebalan 15cm dan ketebalan pada dinding plester anyaman dengan ketebalan 7cm. Perbandingan penurunan suhu yang terjadi pada kedua dinding tersebut, menunjukkan bahwa nilai suhu udara luar berhasil menurunkan suhu udara di dalam bangunan oleh konstruksi bambu vertikal dan bambu anyaman. Rata-rata pengukuran suhu yang dilakukan terlihat bahwa penurunan suhu pada material dinding anyaman lebih tinggi dibandingkan dengan dinding vertikal.

Pengukuran suhu yang dilakukan dengan kondisi jendela terbuka secara keseluruhan menunjukkan bahwa bambu anyaman mampu menurunkan suhu lebih tinggi daripada bambu vertikal. Perbedaan suhu pada dinding tersebut yaitu pada dinding anyaman yaitu 2,7 °C, sedangkan pada dinding vertikal yaitu 2,4 °C. Ketebalan pada dinding juga mempengaruhi kenyamanan termal pada ruang dalam.

2.13 Kerangka Teori

Bagaimana pengaruh material kayu kontemporer terhadap pendinginan alami pada bangunan kantor sederhana?

Bagaimana keadaan iklim tropis

- Iklim tropis (Leipsmeier, 1994)
- Suhu rata-rata di solo (BPS Surakarta, 2014)

Bagaimana tinjauan pendinginan bangunan tropis

- Tinjauan pendinginan pasif (Frick 2007), (Leipsmeier, 2007)

Apa saja yang mempengaruhi penurunan suhu

Lippsmeier (1994:101-106) Bangunan Tropis

Material Thermal Properties

3 Rosenlund (2000)

Karakteristik material kayu

2 Panshin, et.al, (1964)

Bagaimana persyaratan kenyamanan suhu pada bangunan kantor sederhana?

Tinjauan persyaratan udara (MENKES, 2002). (SNI, 2011)
Suhu Netral (Szokolay)

Studi penelitian terdahulu

Penelitian 1 (Noerwarsito, V. T 2006)
Penelitian 2 (Setiyowati, E. & fikriani, A. 2009)



BAB III

METODE PENELITIAN

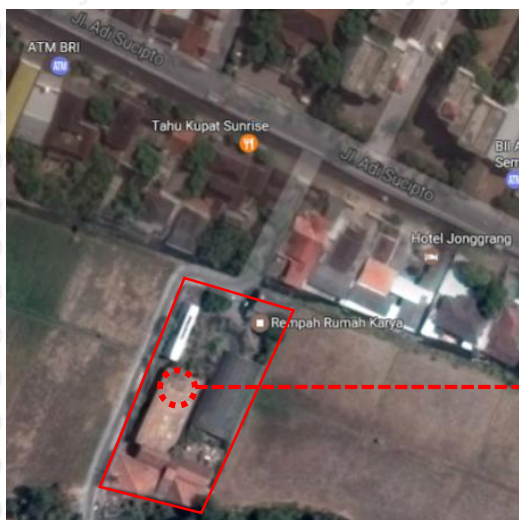
3.1 Metode Penelitian Umum

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif dimana kedua metode ini menggunakan pendekatan yang berbeda. Pendekatan yang digunakan pada metode kualitatif yaitu dengan mempelajari kajian literatur berupa teori-teori yang membahas mengenai keterkaitan antara pengaruh material terhadap pendinginan ruang, dan juga mempelajari beberapa jurnal yang terkait dengan penelitian serupa. Sedangkan untuk kuantitatif pendekatan yang dilakukan berupa observasi dan pengukuran di lapangan. Pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan pengukuran terhadap ukuran fisik bangunan Rempah Rumah Karya pada massa rempah 1 dan 2 berupa luas lantai pada ruang, ukuran jendela, ukuran pintu, dan pengukuran suhu pada luar dan dalam bangunan.

3.2 Lokus dan Fokus Penelitian

3.2.1 Lokus

Objek kajian penelitian berlokasi di Desa Tegalmulyo RT02/RW04, Gajahan, Colomadu, Surakarta, Jawa Tengah. Objek ini merupakan massa bangunan yang terletak di kompleks bangunan Rempah Rumah Karya yang berfungsi sebagai bengkel *workshop*, kantor, dan Galeri. Kota Surakarta merupakan dataran rendah yang terletak di ketinggian 105 m dpl dan di pusat kota 95 m dpl, dengan luas 44,1 km². Suhu udara relatif konsisten sepanjang tahun, dengan suhu rata-rata 30 derajat Celsius. Suhu udara tertinggi adalah 32,5 derajat Celsius, sedangkan terendah adalah 21,0 derajat Celsius. Kota Surakarta terletak di antara 110 45` 15" - 110 45` 35" Bujur Timur dan 70` 36" - 70` 56" Lintang Selatan.



Gambar 3.1 Objek Penelitian
Sumber: *google earth*

3.2.2 Fokus Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada unsur material bangunan yang dapat mempengaruhi suhu di dalam bangunan. Aspek tropis dipilih sebagai tema dasar penelitian, sehingga memberikan bahasan yang lebih dalam berdasarkan empat mata angin. Arah mata angin yang dimaksud yakni, barat, timur, utara, selatan. Ke empat arah mata angin ini membawa pengaruh yang besar terhadap peletakkan material alami yang ada pada bangunan Rempah Rumah Karya, selain elemen yang ada pada bangunan juga terdapat elemen ruang luar, yakni orientasi bangunan terhadap arah mata angin dan matahari serta vegetasi atau bangunan yang berada disekitar objek penelitian.

3.3 Jenis dan Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Jenis Data

Pembagian Data yang dikumpulkan berkaitan dengan penelitian mengenai material selubung Rempah Rumah Karya dibagi menurut jenis data dan metode pengumpulan sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer yakni data yang diperoleh dengan cara survei lapangan ataupun pengamatan secara langsung. Data primer yang diperlukan dalam penelitian yakni:

a) Kondisi temperatur dan kelembapan di dalam dan luar bangunan

Data berupa hasil pengukuran suhu dan kelembapan di dalam dan luar bangunan.

b) Kondisi kecepatan angin

Data berupa hasil pengukuran kecepatan angin di dalam dan luar bangunan.

c) Data fisik Rempah Rumah Karya

Data fisik dari Rempah Rumah Karya berupa denah bangunan utama massa Rempah 1 dan 2 dari kompleks Rempah Rumah Karya, letak dan elemen selubung yang ada pada bangunan utama Rempah Rumah Karya. Data ini diperoleh melalui pengamatan langsung dilapangan, dan hasil yang diperoleh dapat berupa foto dokumentasi, ataupun sketsa.

2. Data Sekunder

Data sekunder yakni data yang didapat dari literatur maupun instansi yang berkaitan. Data yang diperoleh dari instansi sebagai berikut:

a) Gambar Kerja Bangunan

Data ini diperoleh sebagai acuan luas bangunan, zoning, komposisi, dan bentuk luasan bangunan sebagai data yang akan dianalisa dan diidentifikasi.

b) Data Geografis Lingkungan

Data ini berupa data mengenai tata letak bangunan, dan kondisi ruang luar bangunan. iklim mengenai keadaan kota Surakarta juga diperlukan.

Sementara data sekunder yang diperoleh melalui teks book, buku-buku penelitian, jurnal serta internet yakni:

a) Data mengenai Iklim Tropis Secara Umum berkaitan dengan bangunan

b) Data mengenai karakteristik material alami yang dapat menurunkan suhu didalam ruangan

3.3.1 Metode pengumpulan data primer

1. Observasi

Data primer didapatkan dari observasi / pengamatan langsung pada lapangan. Data tersebut diperlukan untuk mengevaluasi perubahan suhu pada objek, serta mengetahui kondisi tapak eksisting dan permasalahan yang ada di sekitar tapak. Alat yang dibutuhkan pada saat observasi lapangan yaitu :

a. Alat tulis beserta media tulis kertas untuk mencatat hasil pengukuran.

b. Kamera untuk dokumentasi foto dan hasil pengukuran.

c. Meteran untuk mengukur luas ruangan

d. Alat ukur berupa *HOB0 Data Logger and humidity* untuk mengukur suhu ruang.

e. Portable Digital Anemometer untuk mengukur kecepatan aliran udara didalam ruang.

f. Denah Massa Rempah 1 dan 2 untuk mengetahui posisi tata letak ruang untuk memudahkan pemetaan pengukuran dan pencatatan.

3.3.2 Metode pengumpulan data sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan yaitu :

1. Studi literatur

Pada penelitian ini terdapat beberapa literatur yang digunakan diantaranya yaitu yang pertama adalah literatur berupa buku-buku yang berkaitan dengan sains teknologi pada bangunan contohnya adalah buku dari szokolay yang berjudul *Thermal Design of Building* yang banyak membahas mengenai bagaimana karakteristik material mempengaruhi besar kecil nya perubahan suhu yang masuk ke dalam ruangan, dan buku fisika bangunan dari Prasasto Satwiko yang membahas mengenai prinsip-prinsip fisika bangunan. Selain itu terdapat literatur mengenai peraturan persyaratan kenyamanan termal pada ruangan. Literatur ini berguna sebagai tolak ukur batas suhu yang nyaman untuk pengguna ruang. Selain literatur berupa buku, literatur yang diambil juga berupa jurnal yang sudah pernah melakukan studi serupa dengan penelitian ini. literatur berupa jurnal digunakan sebagai panduan metode penelitian pada tahap analisis dan tinjauan lapangan. Seluruh literatur yang digunakan berkaitan studi pengaruh bukaan terhadap pendinginan alami ruang ini secara keseluruhan digunakan sebagai panduan untuk membantu proses berjalannya penelitian ini.

2. Studi Komparasi

Studi komparasi merupakan data yang didapat dari hasil komparasi desain dan penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya. Data ini didapat dari jurnal penelitian, buku, dan juga internet.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Data merupakan hal yang sangat penting dan dibutuhkan dalam suatu penelitian. Data yang telah didapat dari hasil observasi, kuesioner, dan studi literatur kemudian diolah dengan cara :

1. Dokumentasi

Dokumentasi berupa foto ruang *workshop*, foto ventilasi beserta ventilasi dan pembayang internal dan material pelengkap bangunan. Saat melakukan dokumentasi, disertai pencatatan untuk mengetahui jenis material, dimensi, dan posisi peletakan material yang digunakan pada

masing-masing bangunan. Foto dan gambar sekaligus juga menjadi bukti dari objek yang diteliti.

2. Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan berupa luasan ruangan yang akan diteliti, luas bukaan, temperatur udara di dalam dan di luar bangunan yang semuanya dilakukan bersamaan selama 30 hari. Pengambilan data pengukuran dilakukan selama 24 jam. Instrumen penelitian menggunakan *HOBO Data Logger*. *HOBO Data Logger* digunakan untuk mengukur temperatur atau suhu dan kelembaban atau humidity yang selain fungsi tersebut alat ini juga sudah memiliki fungsi data logger yang berfungsi untuk memantau temperatur dan kelembaban pada suatu tempat dari waktu ke waktu dan menyimpan ke dalam alat tersebut yang nantinya akan digunakan dalam pengolahan data. Data yang tersimpan dari hasil pemantauan alat ini dapat disinkronkan ke dalam komputer dengan software bawaan dari alat ini. Sedangkan *Anemometer* digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran udara di dalam ruang.

Pengukuran menggunakan *HOBO Data Logger* dilakukan pada 3 titik di masing-masing sampel ruang terpilih di lantai 1 massa rempah 1 maupun 2. Pengukuran dilakukan pada ketinggian titik 2m dari permukaan lantai karena untuk memudahkan peletakan alat pengukuran. Pengukuran di luar bangunan dilakukan pada ketinggian 2m dari permukaan tanah di lantai 1 di depan jendela/ bukaan tiap sampel ruangan terpilih.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel menurut Sugiyono (2011) variabel penelitian adalah suatu sifat atau nilai dari orang, obyek atau kegiatan tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari lalu dapat ditarik sebuah kesimpulan. Variabel penelitian merupakan fokus yang dilakukan dalam suatu penelitian. Variabel penelitian pada penelitian ini yaitu variabel bebas merupakan variabel sebab dilakukan penelitian, dan variabel terikat yaitu variabel akibat yang merupakan hasil dari penelitian.

Variabel pada penelitian ini teridir dari :

1. Variabel bebas adalah ketebalan material , orientasi ruang, layout ruang, ukuran ruangan, luas selubung permukaan, *Thermal properties material* dan luas lantai pada ruang yang akan diambil sampel suhu dan ukurannya.
2. Variabel terikat adalah suhu di dalam ruang.

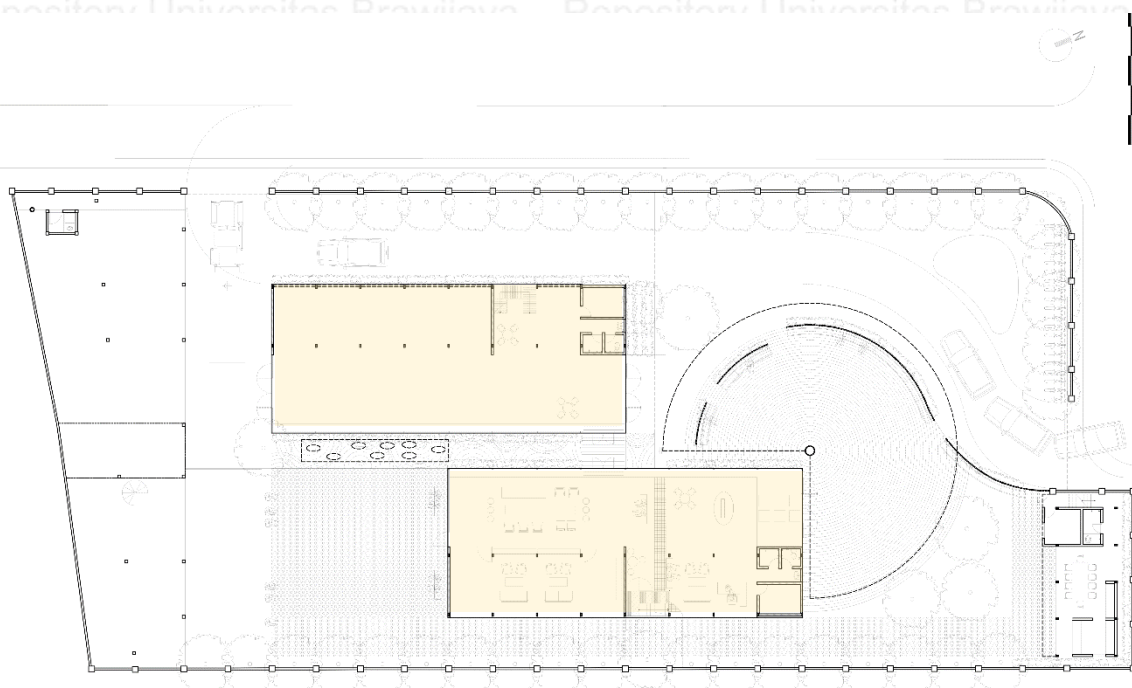
3.6 Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi merupakan jumlah keseluruhan dari unit massa bangunan yang memenuhi kriteria dan ciri-cirinya, yang kemudian akan dianalisis. Pemilihan populasi penelitian yaitu massa rempah 1 dan rempah 2.

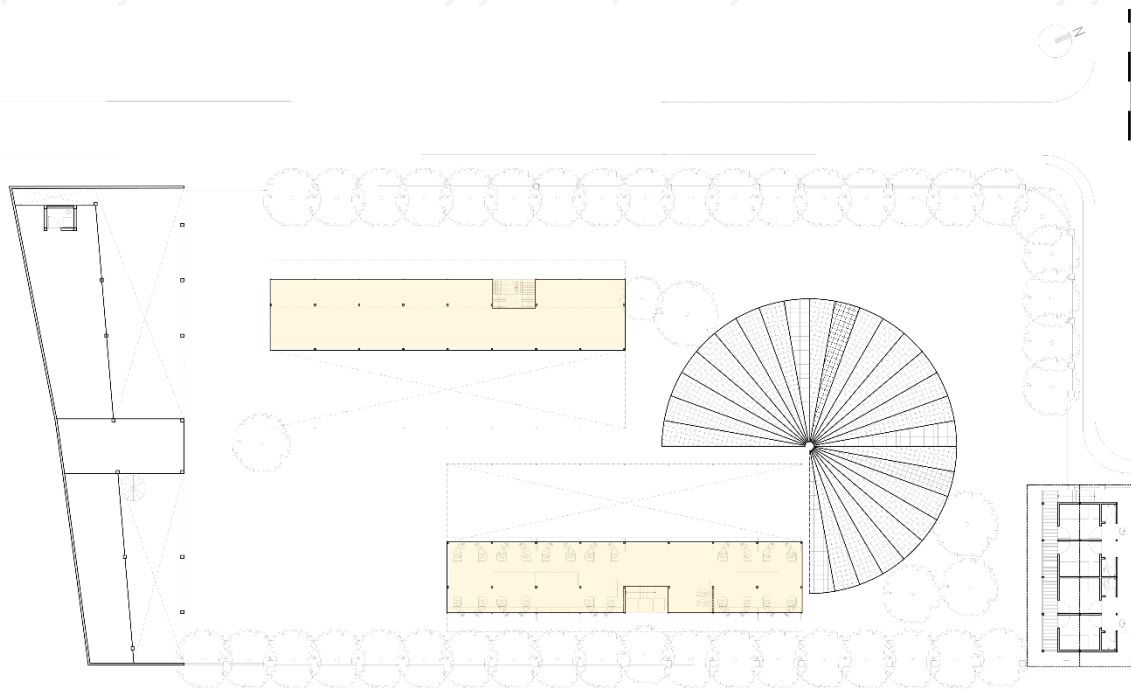
2. Sampel

Massa rempah 1 dan 2 pada kompleks rempah rumah karya masing-masing terdiri dari 3 lantai. Evaluasi yang akan dilakukan pada beberapa ruang dengan pertimbangan arah orientasi matahari, mata angin, dan letak material yang berbeda-beda pada masing-masing massa bangunan. Sampel yang akan dievaluasi yaitu pada lantai 1 di setiap masa bangunan .

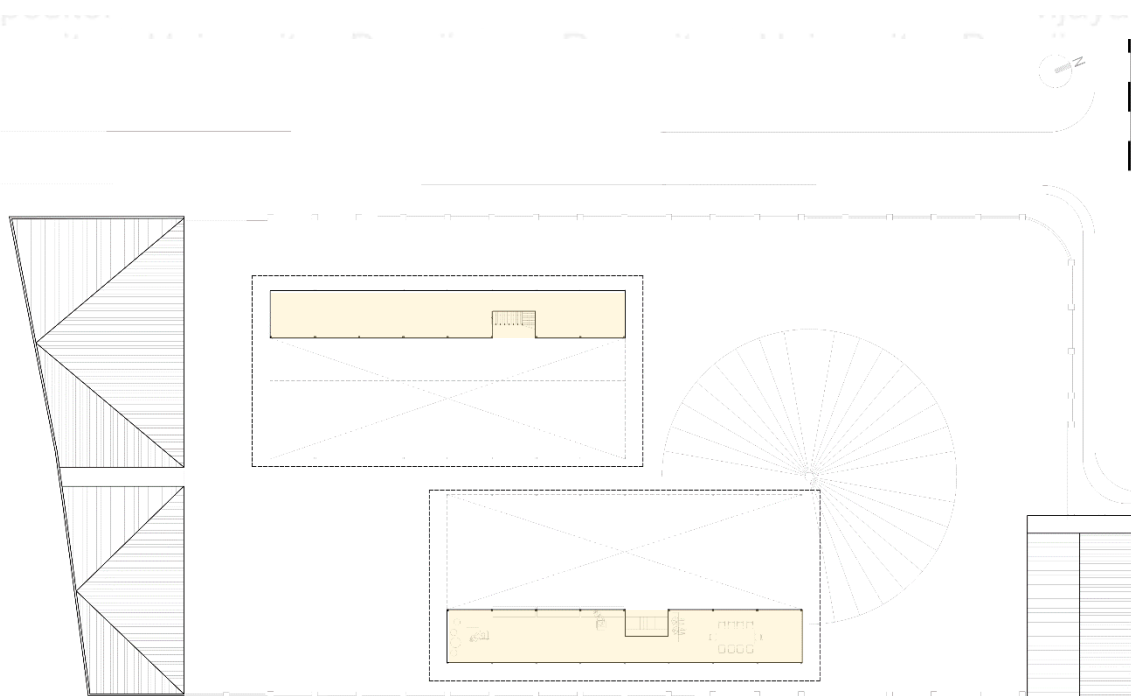


Gambar 3.2 Denah lantai 1 Rempah Rumah Karya

Sumber : Tim Tiga Arsitek



Gambar 3.3 Denah lantai 2 Rempah Rumah Karya
Sumber : TimTiga Arsitek



Gambar 3.4 Denah lantai 3 Rempah Rumah Karya
Sumber : TimTiga Arsitek

3.7 Metode Analisis Data

Metode Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini yakni metode analisa deskriptif dengan pendekatan kuantitatif, yakni merupakan tahapan-tahapan kegiatan dari menganalisa data dalam objek penelitian yang dijabarkan melalui narasi dan simulasi komputer. Terdapat tiga jenis metode dalam menganalisa data yang akan diterapkan dalam penelitian ini, yakni:

1. Analisa Visual

Analisa Visual yakni analisa pada objek diamati berdasarkan elemen fisiknya, bagaimana elemen fisik bangunan tersebut dalam mengantisipasi kondisi iklim yang ada. Analisa visual akan dikaitkan dengan teori yang telah ditetapkan, dan setelahnya dapat ditarik sebuah kesimpulan mengenai karakteristik elemen pada bangunan utama Rempah Rumah Karya. Analisa ini dapat menggunakan alat berupa foto dokumentasi, sketsa, gambar kerja maupun tabel untuk mendukung dan memperjelas dalam meneliti objek.

2. Analisa Simulasi

Analisa simulasi yakni analisa mengenai kenyamanan suhu yang ada pada bangunan utama Rempah Rumah Karya dengan menggunakan media program khusus yakni *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. Piranti lunak ini sudah digunakan secara komersil untuk membantu evaluasi ataupun perencanaan bangunan atau pun kawasan. Pengembangnya adalah Dr. Andrew 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 ini. Analisa simulasi ini sebagai pembuktian tingkat kenyamanan suhu objek penelitian. Proses simulasi ini memerlukan beberapa unsur dalam prosesnya, yakni:

a) Analisa Pengukuran.

Analisa pengukuran yakni berupa pengukuran suhu pada bangunan utama Rempah Rumah Karya pada tiap – tiap ruangan yang ada menggunakan alat ukur *HOBO Data Logger*. Pada tiap ruangan akan dibuat titik – titik ukur berdasarkan grid, (Desyana, *et al.*, 2014). Dan pada tiap titik ukur akan diletakkan alat ukur pengukuran suhu, dengan ketinggian 2m diatas lantai. Hasil pengukuran dari alat ukur tersebut kemudian dijadikan *input* data iklim. Proses *input* data iklim tersebut dilakukan dengan menggunakan program *weather management*.

b) Analisa Simulasi Modeling Sketchup

Model ini berdasarkan rekayasa bangunan objek yang akan di teliti secara 3 dimensi. Setiap objek tiga dimensi yang dibuat dianggap sebagai sebuah zona yang memiliki properti material yang nantinya digunakan sebagai dasar analisis termal.

c) Kelengkapan Instrumen Simulasi

Kelengkapan ini berupa data iklim yang digunakan maupun waktu penelitian.

3.8 Instrumen Penelitian

Dalam mempermudah pengambilan data dan menganalisa data, diperlukan alat-alat yang mendukung sebagai berikut:

1. Kamera

Alat ini digunakan sebagai alat dokumentasi secara visual kondisi lokasi bangunan dan bukaan bangunan, kamera yang di gunakan dalam penelitian dapat berupa kamera yang ada pada telepon seluler atau *handphone*.

2. Alat tulis

Sebagai alat mencatat proses hingga hasil penelitian dapat berupa, pensil, pulpen, kertas atau buku, penggaris, dan sebagainya.

3. Teori

Sebagai dasar menganalisa data, teori yang digunakan sesuai dengan teori yang telah ditentukan sebelumnya

4. Program Software

a. *Software Autodesk Ecotect Analisis 5.5*

Sebagai alat mensimulasi data yang telah diolah dalam *software*.

b. *Software Sketchup 2015*

Sebagai alat *software* dalam membuat modeling objek dalam bentuk 3D.

c. *Software AutoCad 2015*

Software sebagai alat dalam membuat modeling objek dalam bentuk 2D

d. *Adobe Photoshop CS5*

Sebagai alat Software dalam pendukung pembuatan modeling objek

e. *Microsoft Word*

Sebagai pembantu penulis dalam penyusunan maupun memaparkan penulisan penelitian

f. *Microsoft Excel*

Sebagai pembantu penulis dalam menganalisa data yang akan digunakan oleh penulis, dalam bentuk angka. Tabel maupun grafik.

5. Termometer Analog “*HOBO Data Logger*”

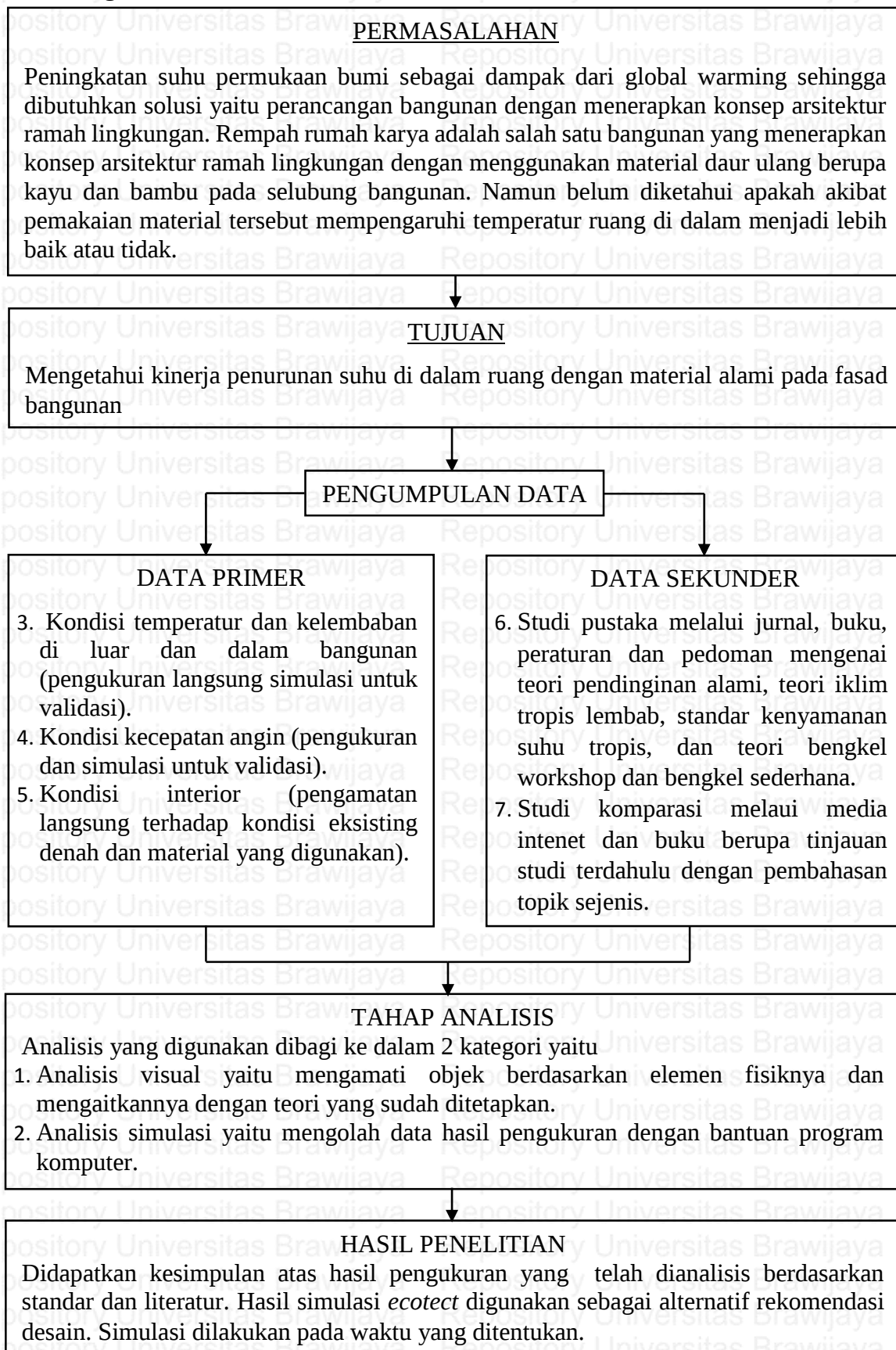
Pengukur termal digital *Hobo Data Logger* merupakan alat pengukur termometer dan kelembaban digital dengan merekam sebanyak 52.000 sampel pengukuran. Dapat merekam hasil termometer dan kelembaban disetiap detik. Output dapat diperoleh dari perangkat antarmuka USB untuk diproses di Hoboware Pro Software. Alat ini telah melalui uji kualitas termal lapangan dan telah diuji di laboratorium kalibrasi dengan sertifikat NIST (*Nasional Institute of Standart and Technology*).

3.9 Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat keterbatasan penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada dua buah bangunan yang dijadikan sampel penelitian.
2. Bangunan yang dibuat dalam ecotect dibuat sesederhana mungkin dan diupayakan menyerupai eksisting. Permainan fasad (berupa pori-pori pada fasad) yang dianggap kurang mempengaruhi kinerja termal diabaikan.
3. Elemen ruang luar (vegetasi dan bangunan sekitar) dianggap tidak ada, karena tujuan penelitian ini difokuskan pada kinerja selubung bangunan dimana antar bangunan diperbandingkan.
4. Simulasi hanya dilakukakn pada bangunan model single building (tidak menyertakan kawasan).
5. Elemen ruang dianggap kosong, namun tetap mempertimbangkan batas-batas ruang di sekitarnya serta penempatan komponen fasade.
6. Hasil rekomendasi simulasi ecotect tidak lepas dari keterbatasan yang dimiliki oleh perangkat simulasi desain.

3.10 Kerangka Metode Penelitian



Gambar 3.5 Diagram metode penelitian

hanya 90 m dan wilayah tertinggi berada di kecamatan tawangmangu yang mencapai 2000 m diatas permukaan laut. Berdasarkan data dari 6 stasiun pengukur yang berada di Kabupaten Karanganyar, curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari dan Maret. Sedangkan yang terendah pada bulan juli, dan Agustus.

4.1.2 Objek bangunan

A. Sejarah Rempah Rumah Karya



Gambar 4.3 Perspektif Rempah Rumah Karya

Rempah Rumah Karya terletak di Jl. Adi Sucipto, Tegal Mulyo Rt 002 Rw 004 Gajahan, Colomadu Karanganyar, Surakarta. Rempah Rumah Karya merupakan kantor Tim Tiga Arsitek beserta penyisipan fungsi galeri yang terbuka untuk komunitas dan untuk umum. Rempah Rumah Karya dibangun mulai tahun 2009 dan mulai digunakan pada bulan juli 2011.

Pembangunan bangunan Rempah Rumah Karya berawal dari keinginan pemilik bangunan yaitu paulus mintarga untuk membangun gudang baru dan memindahkan barang-barang sisa bangunan di gudang lama yang masa kontraknya telah habis. Dia kemudian berinisiatif untuk menjadikan barang sisa bangunan tersebut untuk digunakan kembali sebagai material utama pembangunan gudang baru. Pembangunan dilakukan pada tahun 2009 dengan memanfaatkan kurang lebih 90% material bekas yang ia miliki dengan proses pembangunan selama 2 tahun. Namun setelah dalam perkembangannya, pak paulus

mintarga mengubah fungsi awalnya dari untuk gudang material menjadi kantor Tim Tiga dan sebagai galeri umum. Selain ditempati untuk kepentingan perusahaan, Rempah Rumah Karya juga dapat dikunjungi oleh orang umum saat ada kegiatan workshop oleh insane kreatif.

Dengan berdirinya Rempah Rumah Karya ini menjadi salah satu sarana dalam menghidupi kegiatan kesenian daerah dengan pemikiran dan tindakan yang bernafas divergensi budaya. Filosofi rempah rempah sendiri adalah Rempah Rumah Karya ini ingin memberikan konvergensi budaya yang akan melenturkan daya sentrifugal kesenian, sehingga tidak lagi terlalu mementingkan daerahisme, sukuisme, dan partikularisme yang berlebihan. Dengan adanya Rempah Rumah Karya ini para seniman yang berakar pada sub-kultur perlu mencari peluang bagi sikap keluwesan penikmat seni negeri kita yang Heterogen dan terbagi-bagi dalam stratifikasi sosial yang beragam.

Rempah Rumah Karya memiliki visi yaitu tuk ing omah sumbabah, house of oasis, yang berarti rumah yang dengan semangat gotong royong menjadi sumber inspirasi, inovasi, kreativitas, dan pemberdayaan dalam meningkatkan kualitas produktivitas untuk meningkatkan kesejahteraan bersama.

Misi Rempah Rumah Karya, rempah rumah karya bagi anak bangsa. Pemberdayaan lokalisasi dan potensi bangsa Indonesia sebagai bangsa Indonesia sebagai bangsa pengrajin dengan cita rasa keanekaragaman budaya yang tinggi. Wadah bagi professional dan komunitas-komunitas kreatif untuk saling berbagi, menguatkan dan bersinergi dalam tindak nyata. Rumah yang memiliki organ creative outlet untuk memasarkan produk “ Good Indonesian Design ” ke pasar dunia serta rumah untuk residen dan edukasi.

Cakupan kerja kreatif rempah rumah karya menjelajah bidang :

- 1)Rancang bangun struktur-material
- 2)Arsitektur dan desain interior
- 3)Desain furniture
- 4)Desain produk
- 5)Art and craft
- 6)Inventarisasi material local-natural yang berkesinambungan
- 7)Mekatronika dan informatika
- 8)Energy alternative berwawasan lingkungan dan
- 9)Edukasi

Organ kerja Rempah Rumah karya memiliki organ kerja yang operasionalnya dijalankan secara mandiri, demikian juga dengan struktur organisasinya yang berdiri sendiri secara otonom. Creative Outlet, Kre+O adalah conceived store yang dimaksudkan sebagai tempat memasarkan output Rempah Rumah Karya yang berwujud produk desain. Namun Kre+O mempunyai cakupan yang lebih luas, sebagai took-rantai dalam memasarkan produk “Good Indonesian Design” ke pasar dunia.

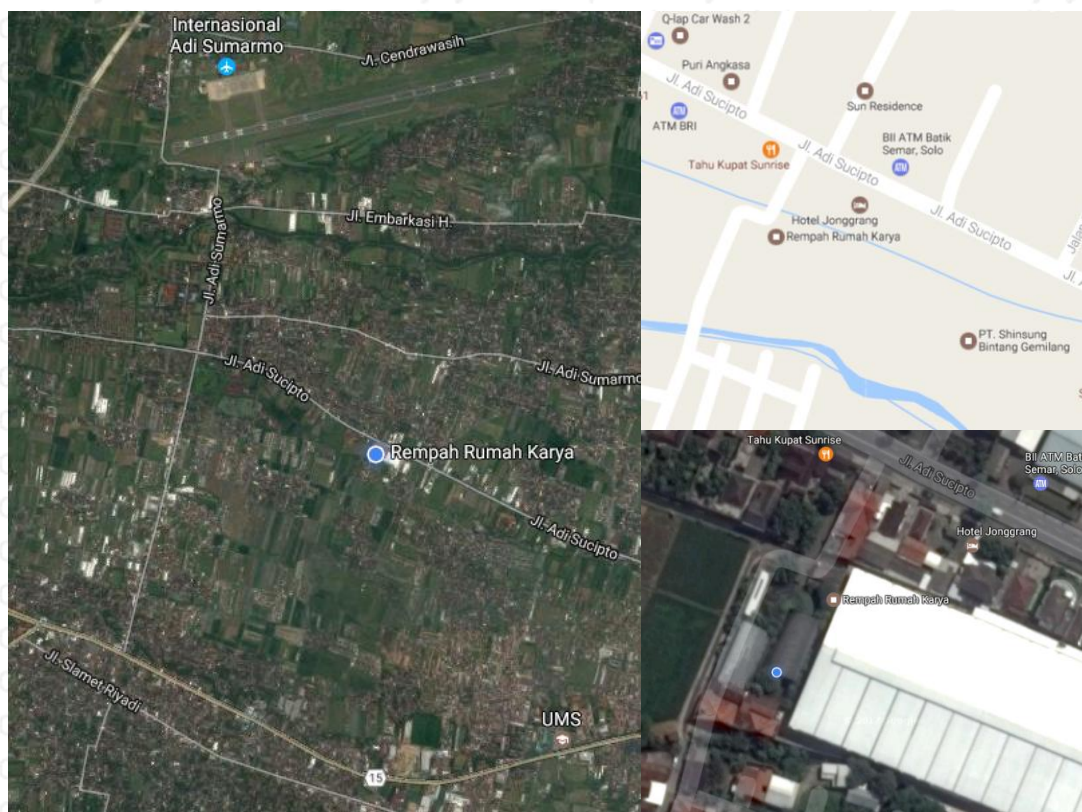
Rempahmaya, padanan dari Rempah virtual, jelas adalah organ yang mengupload unplugged activities Rempah Rumah Karya ke dimensi maya. Namun seperti halnya Kre+O, Rempah Rumah Karya juga memiliki cakupan cakupan yang lebih luas menjadikan dirinya sebagai portal lokal yang mewadahi segala aktivitas dalam dimensi kepedulian yang menjadi focus garapan Rempah Rumah Karya, dalam atmosfir dunia maya.

Komunitas Kreatif Rempah yang diwadahi dalam Rempah Rumah Karya, saat ini terdiri dari :

1. Latar, komunitas arsitek yang meniatkan format pelatihan arsitektural kontekstual bagi calon arsitek muda, yang praktis namun mengakar dalam kenyataan hidup local kita. Akan ada 2 kali program dalam setahun yang mengambil titik tolak Rempah Rumah Karya sebagai base camp.
2. Kampung kita, sebuah komunitas multi disiplin yang melakukan kajian terhadap kampung dan kampung kota untuk melestarikan keberagaman nusantara. Kampung dengan keberagaman karakter sekaligus potensi yang bersifat mendasar dari sumber kerakyatan dan berpegang pada nilai gotong royong. Menempatkan kampung sebagai tempat pembelajaran sekaligus tempat untuk menmpa keilmuan dan berempati, dengan mempelajari kampung sebagai “artefak fisik”, dan “artefak mentalis” (galih w pangarsa) dengan belajar bersama dengan warganya menjalin jejaring social. Melakukan belajar bersama dengan warga lewat menghargai kearifan lokalnya dengan model kemauan untuk maju, melakukan pendampingan dengan warga kampung untuk lebih maju dari modal yang dimiliki. Kampung kita mengusahakan untuk mengkomunikasikan dengan dunia luar untuk usaha mengembangkan potensi dari segi ekonomi, social, budaya maupun dari segi lainnya. Menghasilkan produk dari potensi kampung, pembenahan, pembelajaran, dari bersama dan untuk warga kampung.
3. Temu Desainer, adalah komunitas informal para desainer disekitar Yogyakarta – Surakarta yang antara lain diwakili oleh Satya Brahmana, menghimpun dari praktisi industry, dosen hingga mahasiswa, yang diniatkan sebagai wadah komunikasi dan pertukaran gagasan dibidang desain.

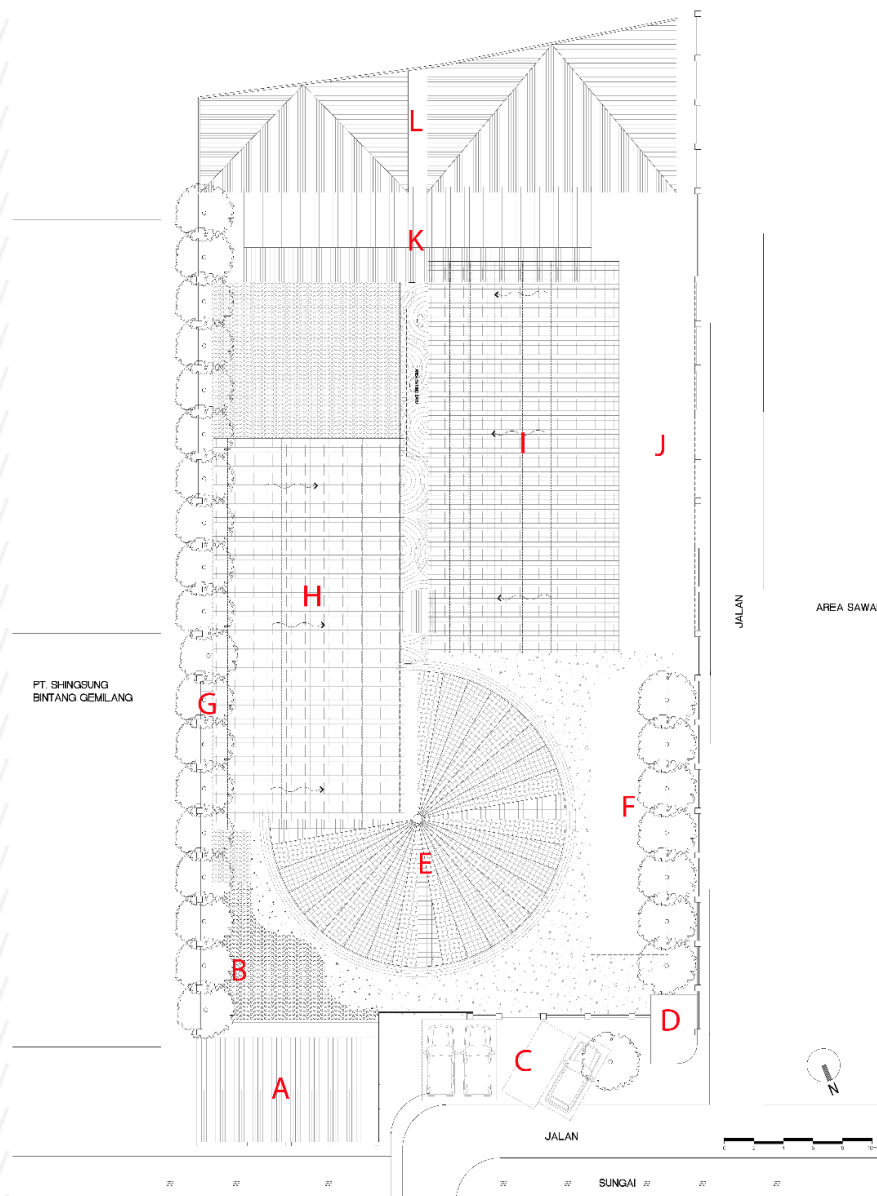
B. Kondisi eksisting Rempah Rumah Karya

Rempah rumah karya terletak di kabupaten Karanganyar, tepatnya di jalan Adi Sucipto No.56, Paulan, Colomadu, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah.



Gambar 4.4 Lokasi Rempah Rumah Karya
Sumber; google.com

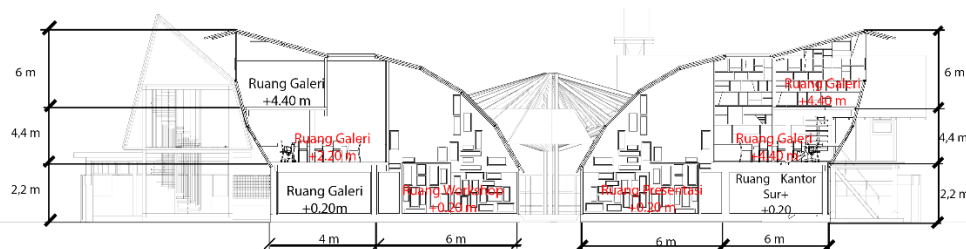
Komplek Rempah Rumah Karya berdiri pada lahan seluas kurang lebih 2,500 m². Komplek Reumah Rempah Karya ini dikelilingi oleh beberapa fungsi bangunan diantaranya, sebelah utara berbatasan jalan lokal dan sungai, sebelah timur berbatasan dengan pabrik PT. Shingsung Bintang Gemilang, sebelah selatan berbatasan dengan pemukiman desa Kasuran. Komplek bangunan ini memiliki beberapa massa yang mempunyai fungsi yang berbeda beda.



KETERANGAN

- | | |
|--|---------------------------|
| A : Mes penginapan dan pantry | G : Parkir motor karyawan |
| B : Parkir motor pengunjung | H : Rempah 1 |
| C : Parkir mobil pengunjung dan karyawan | I : Rempah 2 |
| D : Mushalla dan pos jaga | J : Gudang |
| E : Ruang Komunal | K : Kantor Tim Tiga |
| F : Ruang Perpustakaan | L : Gudang Besi |

Gambar 4. 5 Siteplan Rempah Rumah Karya
Sumber : Tim Tiga Arsitek



Gambar 4.6 Potongan tapak rempah rumah karya

4.1.3 Objek penelitian

A. Kondisi Eksisting Rempah 1

Masa Rempah 1 terletak di sisi timur tapak yang berbatasan langsung dengan pabrik PT. Shingsung Bintang Gemilang. Orientasi bangunan menghadap utara ke selatan dan sisi terpanjang menghadap barat dan timur. Bangunan yang terdiri dari 3 lantai ini memiliki luas lantai sebesar 434,47 m². Posisi masa di tapak lebih condong ke utara dibandingkan dengan masa Rempah 2 dan lebih dekat dengan akses masuk utama ke dalam tapak.

Tampak Rempah 1 adalah sebagai berikut:

Terdapat 4 akses pintu masuk menuju Rempah 1. Pintu masuk utama terletak di sisi utara bangunan, pintu masuk pendukung berada di sisi timur dan selatan, dan pintu masuk yang menghubungkan masa Rempah 1 dan 2 terdapat di sisi barat bangunan.



Gambar 4.7 Tampak depan (utara) rempah 1

Fasad utara diselubungi oleh batu bata dari ruang kamar mandi dan gudang yang terletak di lantai 1, kaca yang terletak pada pintu masuk, dan dinding berpori yang terdiri dari plat besi yang disusun diatas jaring besi yang merupakan bagian yang paling mendominasi pada sisi ini. Atapnya menggunakan struktur baja yang berbentuk menurun dari arah timur ke barat. Pembayang matahari eksternal mengelilingi bangunan mengikuti bentukan atap dengan lebar tritisan 1m.



Gambar 4.8 Tampak belakang (selatan) rempah 1

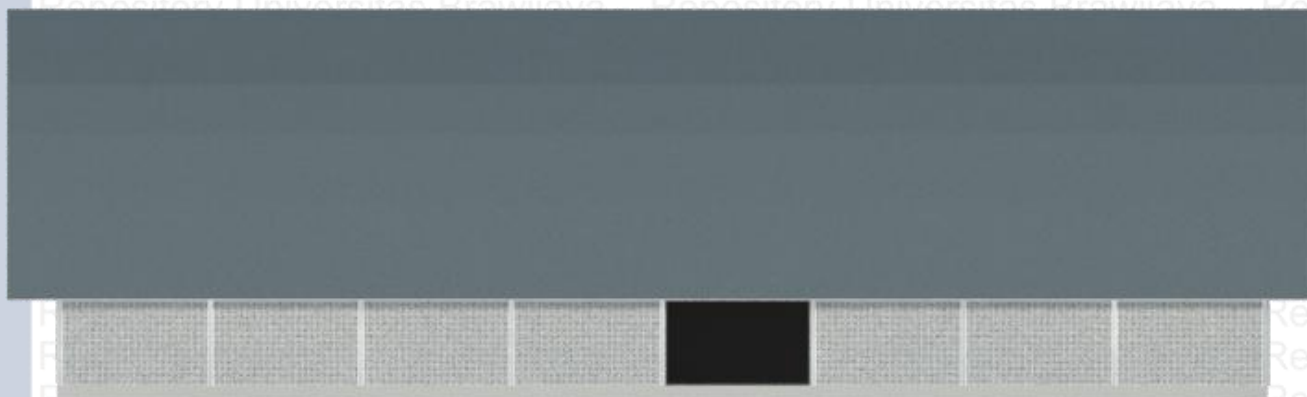
Fasad selatan didominasi oleh material kayu bilah yang terpasang di lantai 1 sampai lantai 3. Namun pada sisi pojok kanan menggunakan material plat besi dan kaca yang disusun secara acak, hal ini dikarenakan pada area tersebut terdapat ruang kerja pegawai rempah rumah karya.



Gambar 4.9 Tampak samping (timur) rempah 1

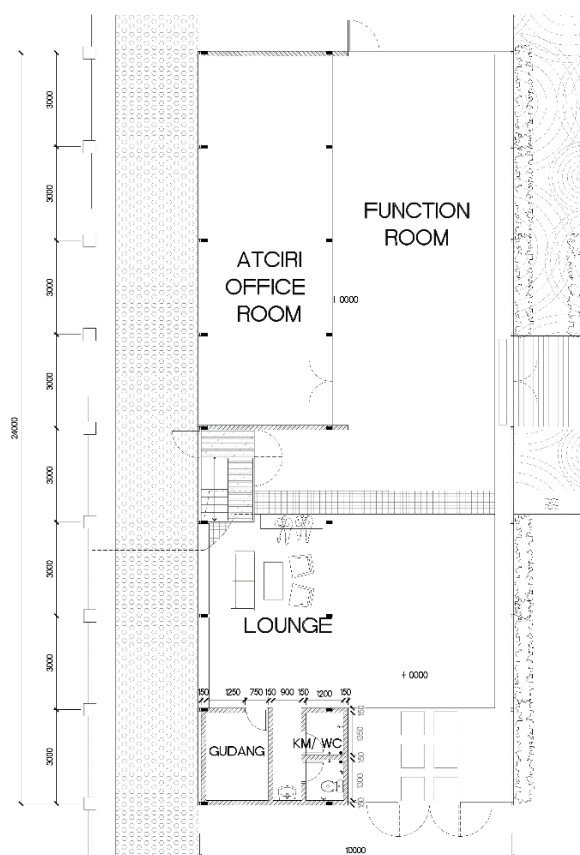
Fasad timur bangunan didominasi oleh bukaan berupa jendela dan dinding berpori yang terletak di lantai 2 dan 3. Jendela menggunakan tipe *awning* dengan dimensi kusen 54cm x

108cm. Dinding berpori terbuat dari bilah bambu yang disusun membentuk sebuah frame dengan dimensi 54cm x 108cm.



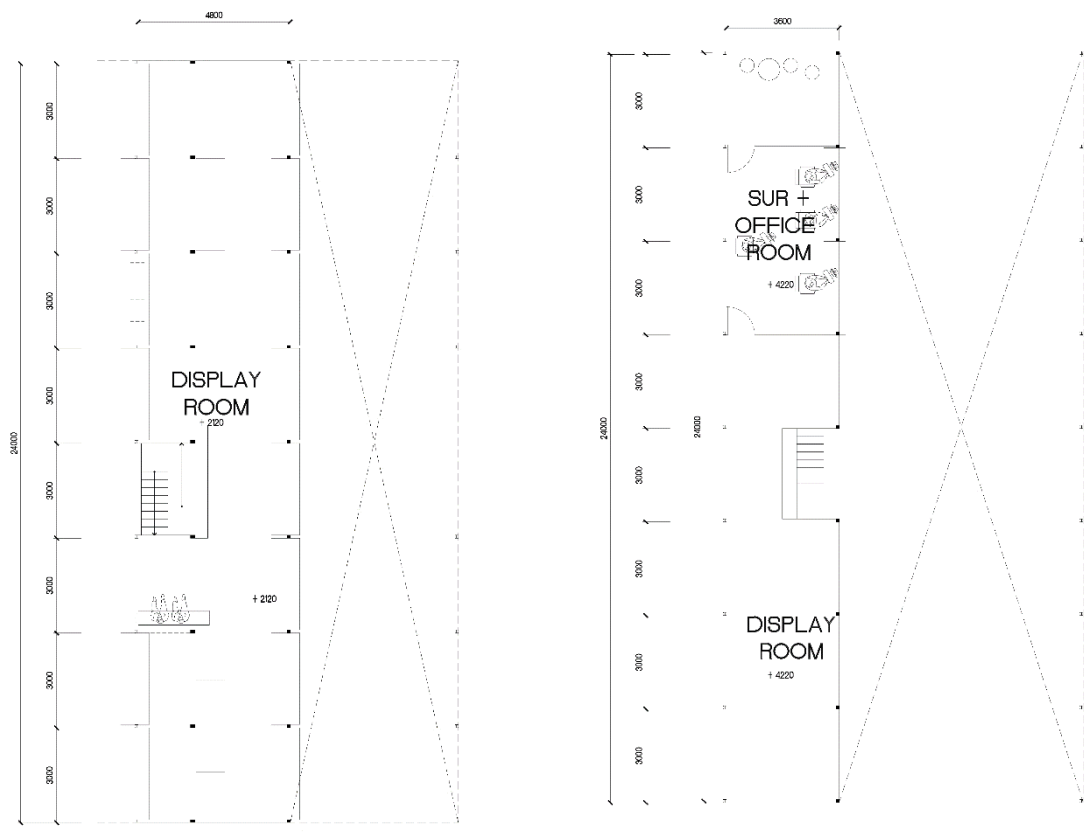
Gambar 4.10 Tampak samping (barat) rempah 1

Fasad barat bangunan tertutupi oleh atap yang menggunakan struktur baja dengan alas besi wermes dengan dimensi 15cm x 15cm. Material atap terdiri dari alas berupa bambu tirai yang dilapisi oleh aspal dan ditutupi oleh terpal.



Gambar 4. 11 Denah lantai 1 bangunan rempah 1

Pada masa Rempah 1 lebih difungsikan sebagai area publik dan privat. Fasilitas yang tersedia pada area publik berupa ruang tamu, ruang presentasi, dan ruang display barang hasil karya. Sedangkan fasilitas pada area privat terdiri dari ruang kerja tim artciri pada lantai 1, dan ruang kerja tim surplus pada lantai 3. Area service terdapat di lantai 1 yang terdiri dari kamar mandi dan gudang. Sirkulasi pada masa Rempah 1 menggunakan sistem linier dengan akses sirkulasi vertikal berupa tangga.

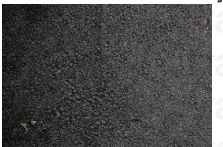


Gambar 4.12 Denah lantai 2 dan 3 bangunan rempah 1

Sumber : Tim Tiga arsitek

Posisi bukaan pada denah lantai 1 terletak di sisi utara berupa dinding berpori yang terdiri dari plat kaca dan besi yang disusun secara acak, dan pada sisi barat berupa jaring besi dengan pembayangan internal berupa bambu bilah. Fokus penelitian pada gedung ini berada pada lantai 1.

Tabel 4.1 Thermal properties material selubung bangunan rempah 1

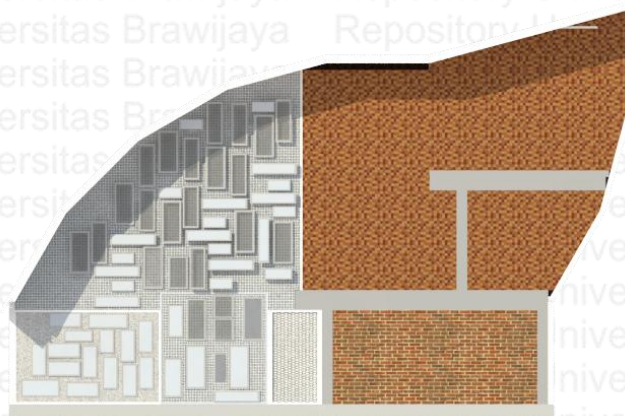
Material	Gambar	Ketebalan (mm)	Density (Kg/m ³)	Conductivity (W.m/K)	Specific Heat (J/Kg.K)
Atap					
Terpal		10	935	0,414	2301
Aspal		10	1700	1,2	1700
Bambu		15	600	0,2	1660
Dinding					
Bambu		15	600	0,2	1660

B. Kondisi Eksisting Rempah 2

Masa rempah 2 terletak di sisi barat tapak dan berbatasan langsung dengan jalan lokal. Bangunan yang terdiri dari 3 lantai ini memiliki total luas lantai sebesar 434,47 m². Orientasi bangunan tersebut menghadap ke arah utara-selatan dengan sisi terpanjang menghadap ke barat-timur.

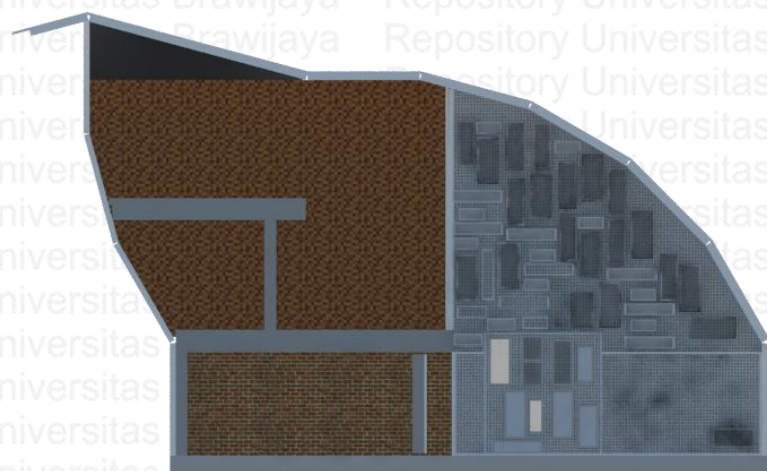
Tampak Masa Rempah 2 sebagai berikut :

Terdapat 3 akses pintu masuk menuju rempah 2. Pintu utama terletak di sisi utara bangunan, pintu pendukung terletak di sisi timur yang menghubungkan masa rempah 1 dengan rempah 2 dan pintu selatan yang menghubungkan dengan bengkel perakitan dan kantor tim 3 arsitektur.



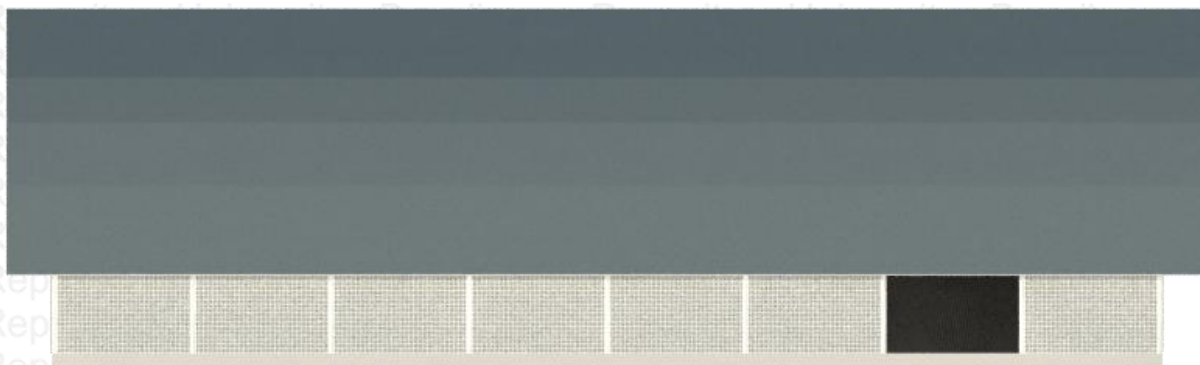
Gambar 4. 13 Tampak depan (utara) rempah 2

Fasad utara diselubungi oleh material kayu pada lantai mezanin 2 dan 3, sedangkan pada lantai satu dibagian pintu masuk utama menggunakan kaca dan lempengan besi. Pemakaian batu bata ekspos digunakan pada dinding ruang kamar mandi di lantai satu. Struktur atap menggunakan baja yang memiliki kemiringan satu arah ke arah timur. Pembayang matahari eksternal mengelilingi bangunan mengikuti bentukan atap dengan lebar tritisan 1m.



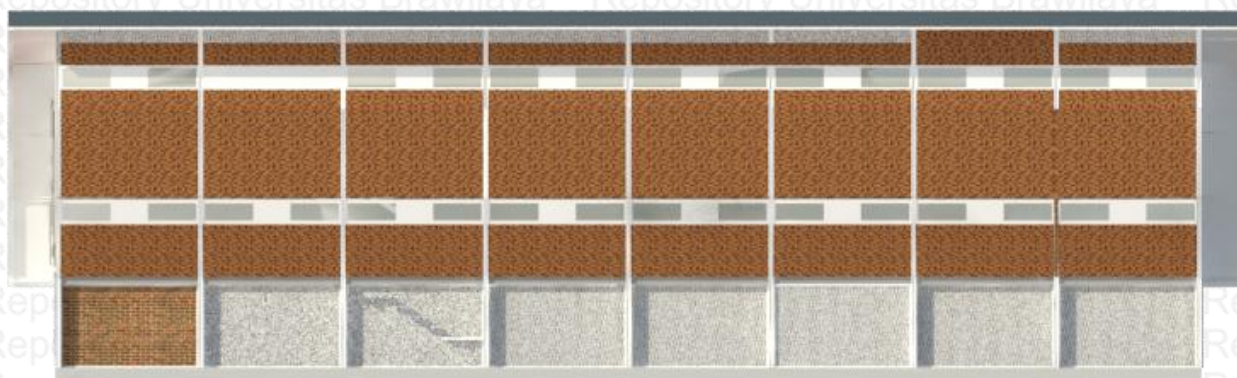
Gambar 4. 14 Tampak belakang (selatan) rempah 2

Fasad selatan didominasi oleh material kayu pada bagian lantai mezanin 2 dan 3. Sedangkan pada bagian pintu masuk menggunakan material kaca dan besi lempeng yang disusun pada jaring-jaring pintu.



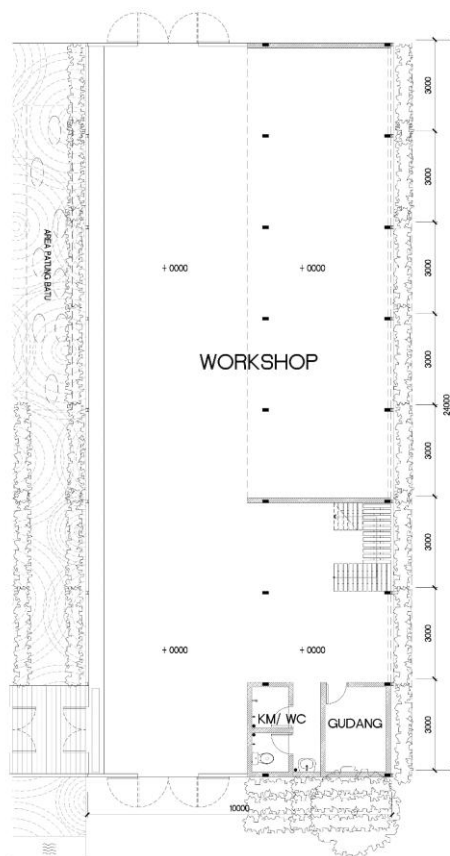
Gambar 4. 15 Tampak samping (timur) rempah 2

Fasad timur dilingkupi oleh penutup atap yang menggunakan struktur baja yang terdiri dari terpal pada lapisan terluar, kemudian aspal yang diletakkan diatas bambu bilah (*Krepyak*) dan besi wermes dengan dimensi 15cm x 15cm sebagai alas.



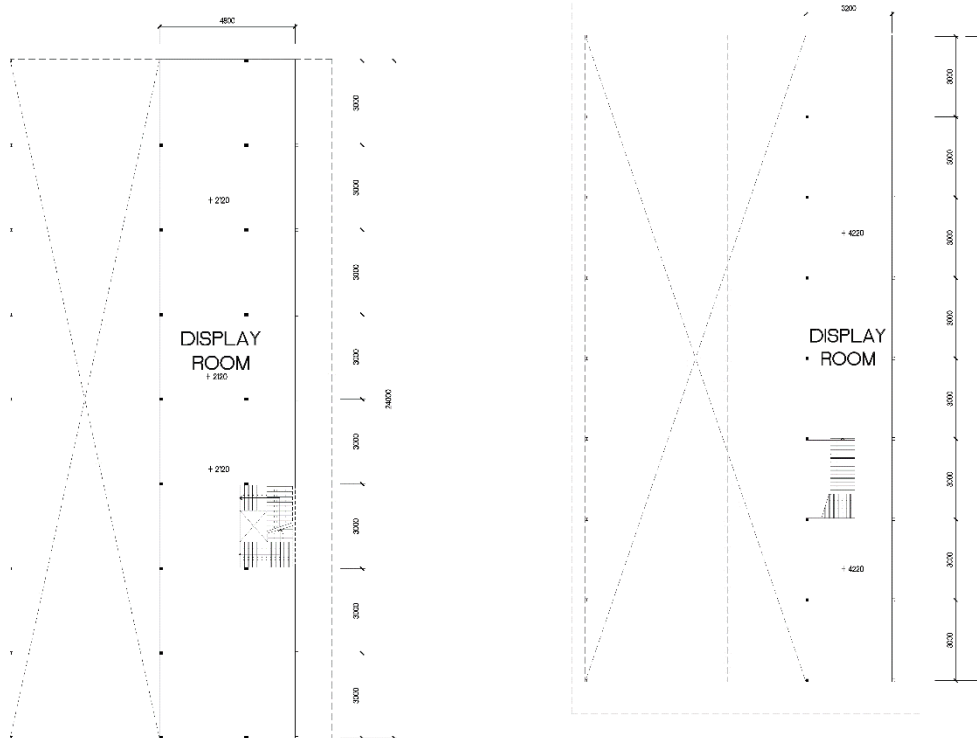
Gambar 4. 16 Tampak samping (timur) rempah 2

Fasad barat didominasi oleh material kayu yang melingkupi bangunan dari lantai 2 – 3. Pada lantai selubung bangunan hanya berupa jaring kawat dan batu bata ekspos yang terdapat di bagian ruang kamar mandi. Sedangkan bukaan yang digunakan berupa jendela hidup dengan dimensi 50cm x 110cm yang terletak masing-masing di lantai 2 dan 3 dengan jumlah tiap lantai nya 16 kusen jendela.



Gambar 4.17 Denah lantai 1 bangunan rempah 2

Fungsi bangunan rempah dua adalah sebagai area workshop dan display barang karya. Fungsi bangunan ini bersifat publik, dimana area publik yang berupa workshop terletak di lantai 1 dan area display terletak di lantai 2 dan 3. Area service terletak di lantai 1 berupa gudang dan kamar mandi. Sirkulasi pada bangunan ini menggunakan sistem linier, sedangkan sirkulasi vertikal menggunakan tangga. Posisi bukaan terletak di sisi utara berupa dinding berpori yang dilapisi oleh material plat kaca dan besi. Pada sisi timur dan barat bukaan berupa jaring-jaring besi, namun pada sisi timur bukaan terhalang oleh gudang luar yang terletak di sisi timur bangunan rempah 2. Sedangkan pada sisi selatan bukaan memiliki kesamaan pada sisi utara.



Gambar 4.18 denah lantai 2 dan 3 bangunan rempah 2

Denah lantai 2 dan 3 pada bangunan rempah 2 bersifat mezanin. Posisi bukaan pada denah lantai 2 terletak di sisi timur berupa jendela hidup dengan dimensi ukuran 55 cm x 110 cm menggunakan material besi alumunium. Pada denah lantai 3 posisi bukaan terletak di sisi timur berupa jendela hidup dengan dimensi ukuran 55 cm x 110 cm menggunakan material besi alumunium.

Tabel 4.2 Thermal properties material pada selubung bangunan rempah 2

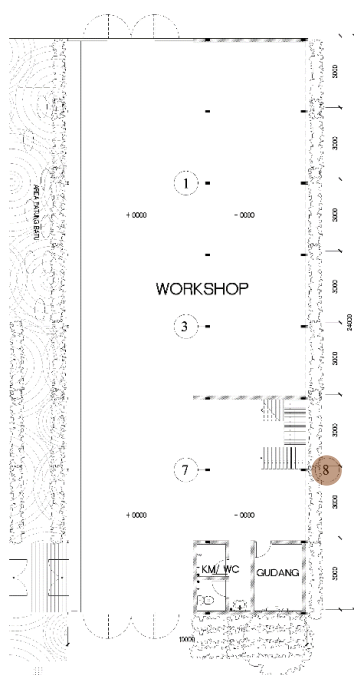
Material	Gambar	Ketebalan (mm)	Density (Kg/m ³)	Conductivity (W.m/K)	Specific Heat (J/Kg.K)
Atap					
Terpal		10	935	0,414	2301
Aspal		10	1700	1,2	1700
Bambu		15	600	0,2	1660
Dinding					

kayu		50	825	0,209	2385
------	---	----	-----	-------	------

1.2 Hasil Pengukuran

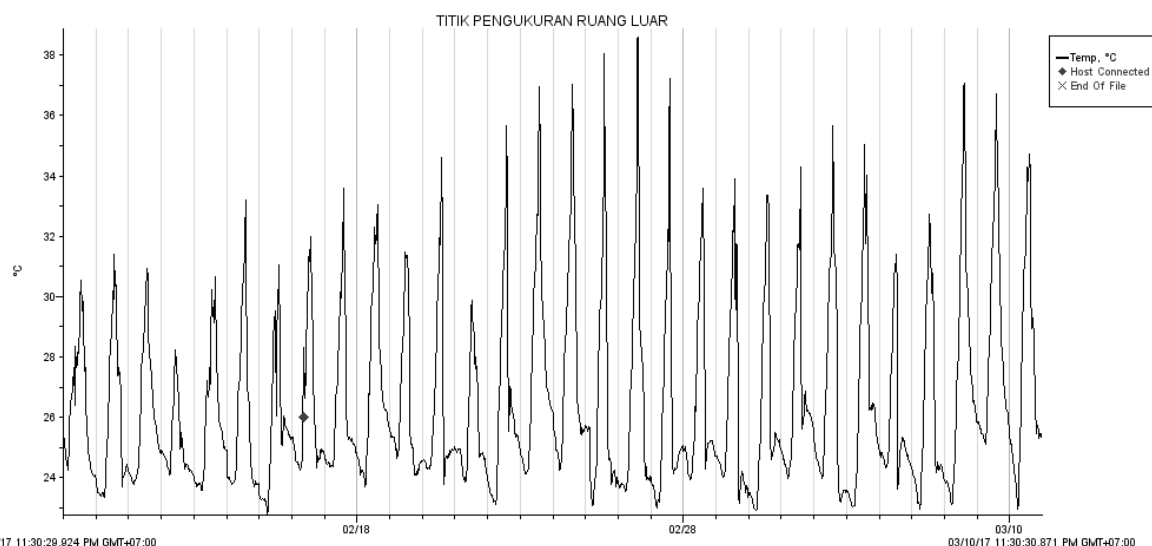
1.2.1 Objek penelitian ruang luar

Pengukuran suhu ruang luar dilakukan pada tanggal 9 februari – 10 maret 2017 dengan cuaca rata-rata mendung setiap harinya. Alat yang digunakan adalah *Hobo Data Logger* yang memiliki fungsi untuk merekam pergerakan suhu dan kelembaban dengan interval waktu yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan, dimana pada kasus ini interval pengambilan data diatur setiap 30 menit selama 24 jam.



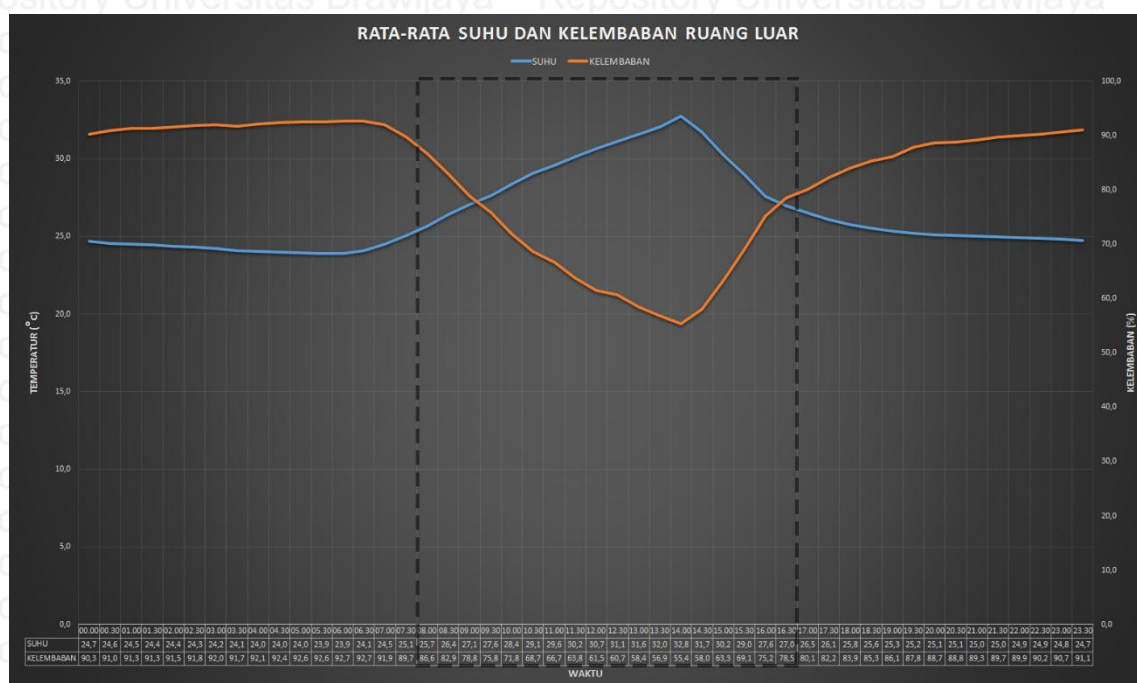
Gambar 4.19 Layout titik pengukuran suhu ruang luar

Peletakan titik pengukuran berada pada ruang gudang yang terletak di sisi barat dari masa rempah 2. Hal ini dikarenakan posisi ini tidak terhalang/terlindungi oleh pohon-pohon maupun obyek peneduh lainnya yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran suhu ruang luar. Titik 8 adalah titik pengukuran yang merepresentasikan dari pengukuran suhu ruang luar.



Gambar 4.20 Hasil pengukuran suhu ruang luar selama 30 hari

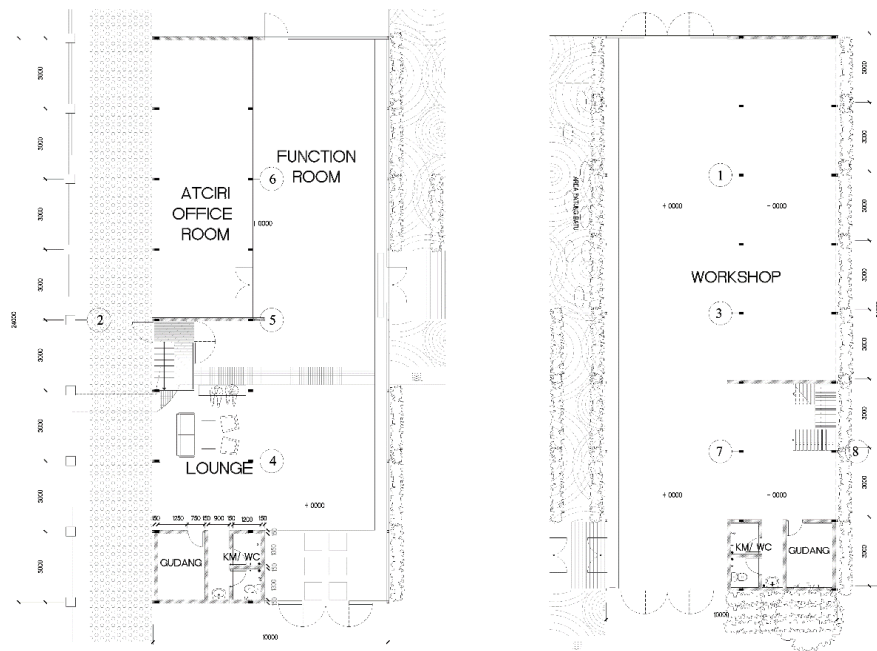
Dari hasil pengukuran tersebut, didapat data suhu rata-rata tertinggi selama 30 hari terjadi pada tanggal 24 februari atau hari ke 16 waktu pengukuran dengan rata-rata suhu selama 24 jam sebesar $27,9^{\circ}\text{C}$, dan selama rentang waktu bekerja yang dimulai dari jam 8 – 17 (waktu efektif) sebesar $31,6^{\circ}\text{C}$. Rata-rata suhu terendah terjadi pada tanggal 12 februari atau pada hari ke-4 pengukuran dengan rata-rata suhu selama 24 jam sebesar $25,2^{\circ}\text{C}$ dan selama rentang waktu efektif sebesar $26,2^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.21 Grafik rata-rata suhu dan kelembaban ruang luar

4.2.2 Objek penelitian ruang dalam

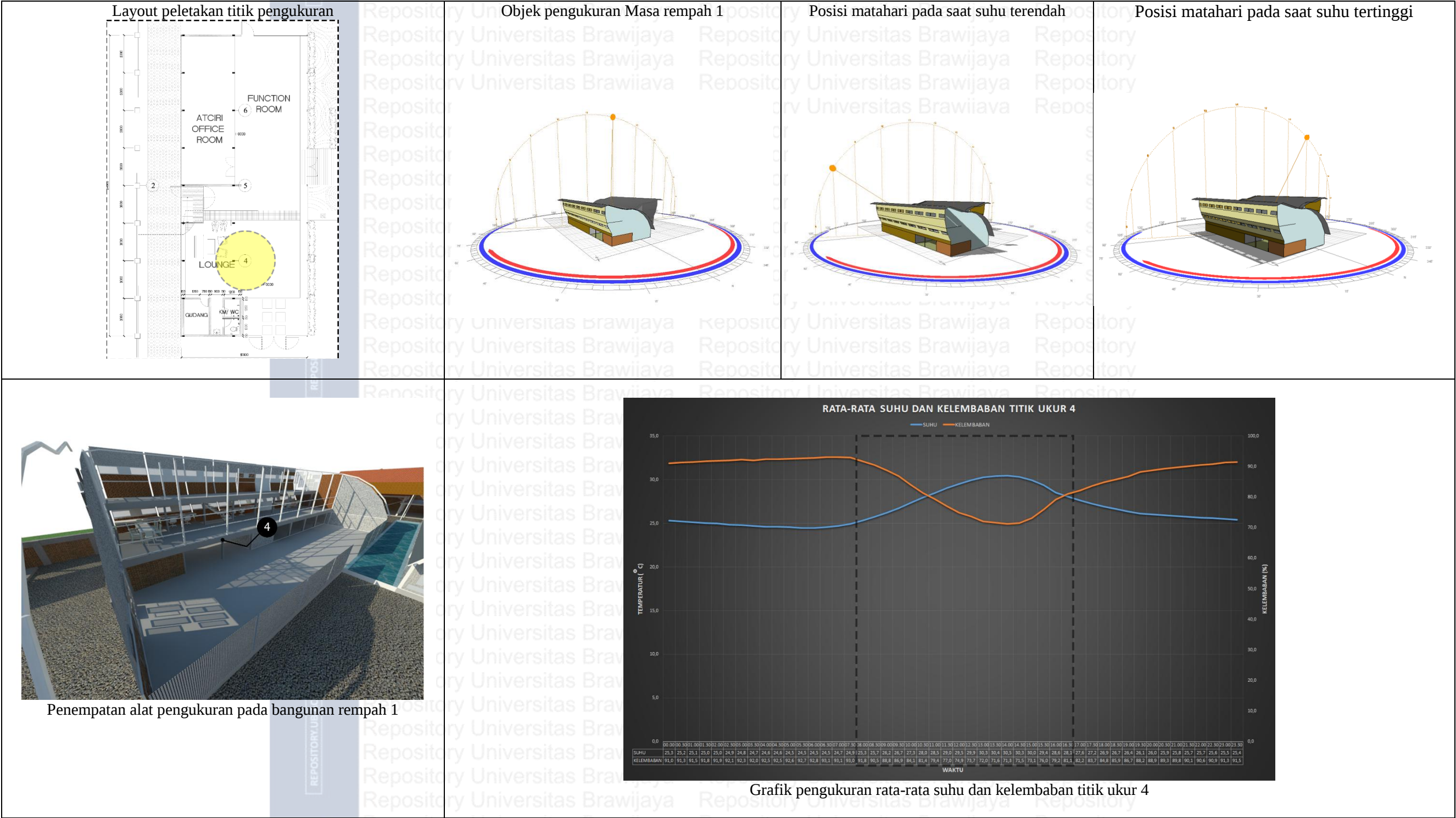
Pengambilan dan pengukuran temperatur, dan kelembaban, pada masa rempah 1 dan 2 yang dilakukan selama 30 hari. Pengukuran ini dilakukan pada 9 februari – 10 Maret dengan cuaca rata-rata mendung setiap harinya. Pengukuran tersebut dilakukan dengan interval waktu pengukuran sama yaitu pada pukul 08.00 - 16.30.



Gambar 4.22 Layout peletakan titik pengukuran suhu ruang dalam dan luar
Sumber : Tim Tiga Arsitektur

A. Rempah 1

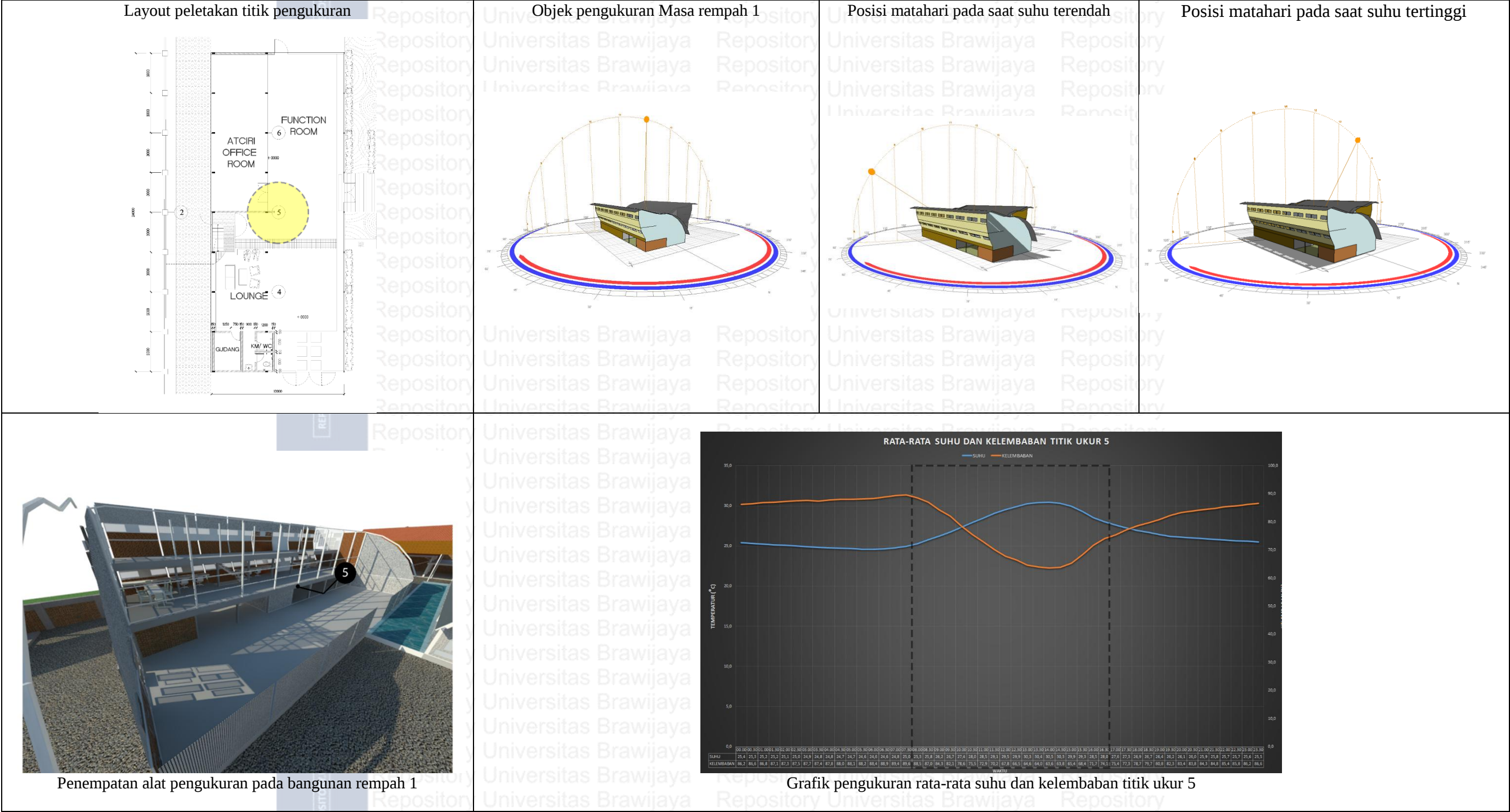
1. Titik pengukuran 4



Gambar 4.23 Analisa hasil titik pengukuran 4

Titik ukur 4 terletak di sisi utara bangunan rempah 1 yang merupakan ruang tunggu pengunjung atau tamu dari rempah rumah karya. Ruangan ini berbatasan langsung dengan pintu masuk utama bangunan rempah 1 dan memiliki void bukaan pada sisi timur. Rata-rata suhu pada titik ukur ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 28,5 °C. Suhu tertinggi terjadi pada waktu 14.00 dengan besaran suhu sebesar 30,5°C. Suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan besaran suhu 25,3°C. Pergerakan temperatur udara mengalami perubahan rata-rata sebesar 0,4°C. Kelembaban rata-rata titik ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 79,1 %. Kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 08.00 dengan kelembaban sebesar 91,8%. Kelembaban terendah terjadi pada pukul 14.00 dengan besaran sebesar 71,3%.

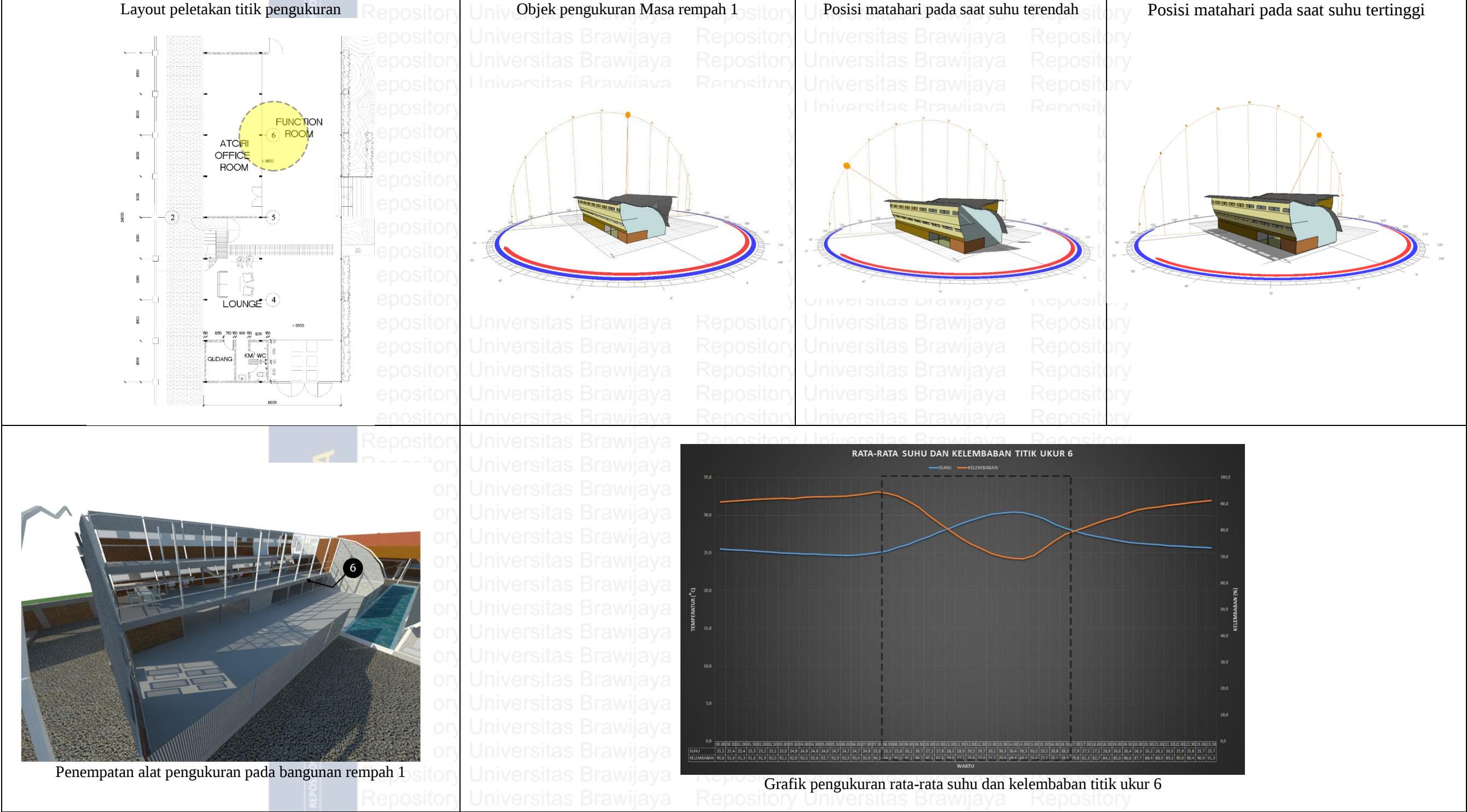
2. Titik pengukuran 5

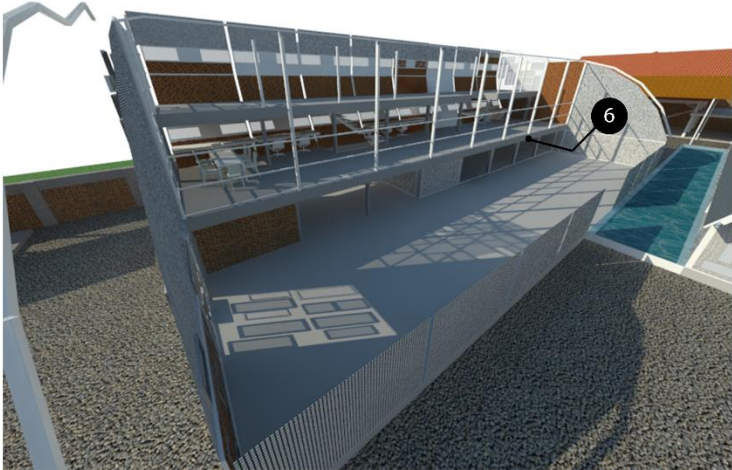


Gambar 4.24 Analisis hasil titik pengukuran 5

Titik ukur 5 terletak di sisi utara bangunan rempah 1 yang merupakan ruang presentasi yang biasa digunakan ketika ada acara talkshow, open house, ataupun acara presentasi lainnya. Titik ukur ini terletak di sisi utara dari ruang presentasi dan berbatasan langsung dengan pintu keluar yang terhubung dengan masa rempah 2. Rata-rata suhu pada titik ukur ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 28,5 °C. Suhu tertinggi terjadi pada pukul 14.00 dengan besaran suhu sebesar 30,5°C. Suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan besaran suhu 25,8°C. Pergerakan temperatur udara mengalami perubahan rata-rata sebesar 0,4°C. Kelembaban rata-rata titik ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 72,7%. Kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 08.00 dengan kelembaban sebesar 88,5%. Kelembaban terendah terjadi pada pukul 14.00 dengan besaran sebesar 63,6%.

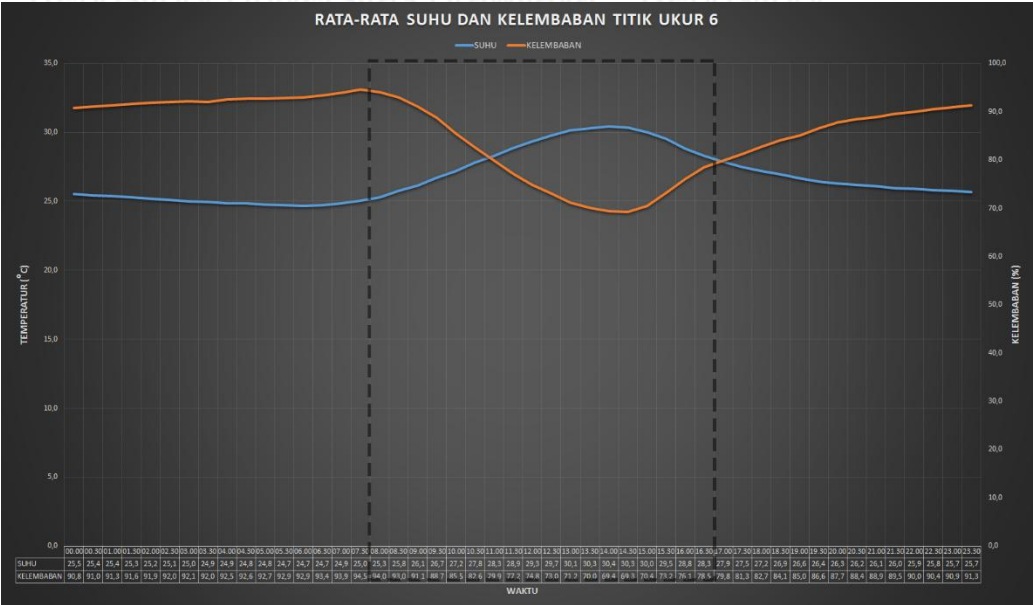
3. Titik pengukuran 6





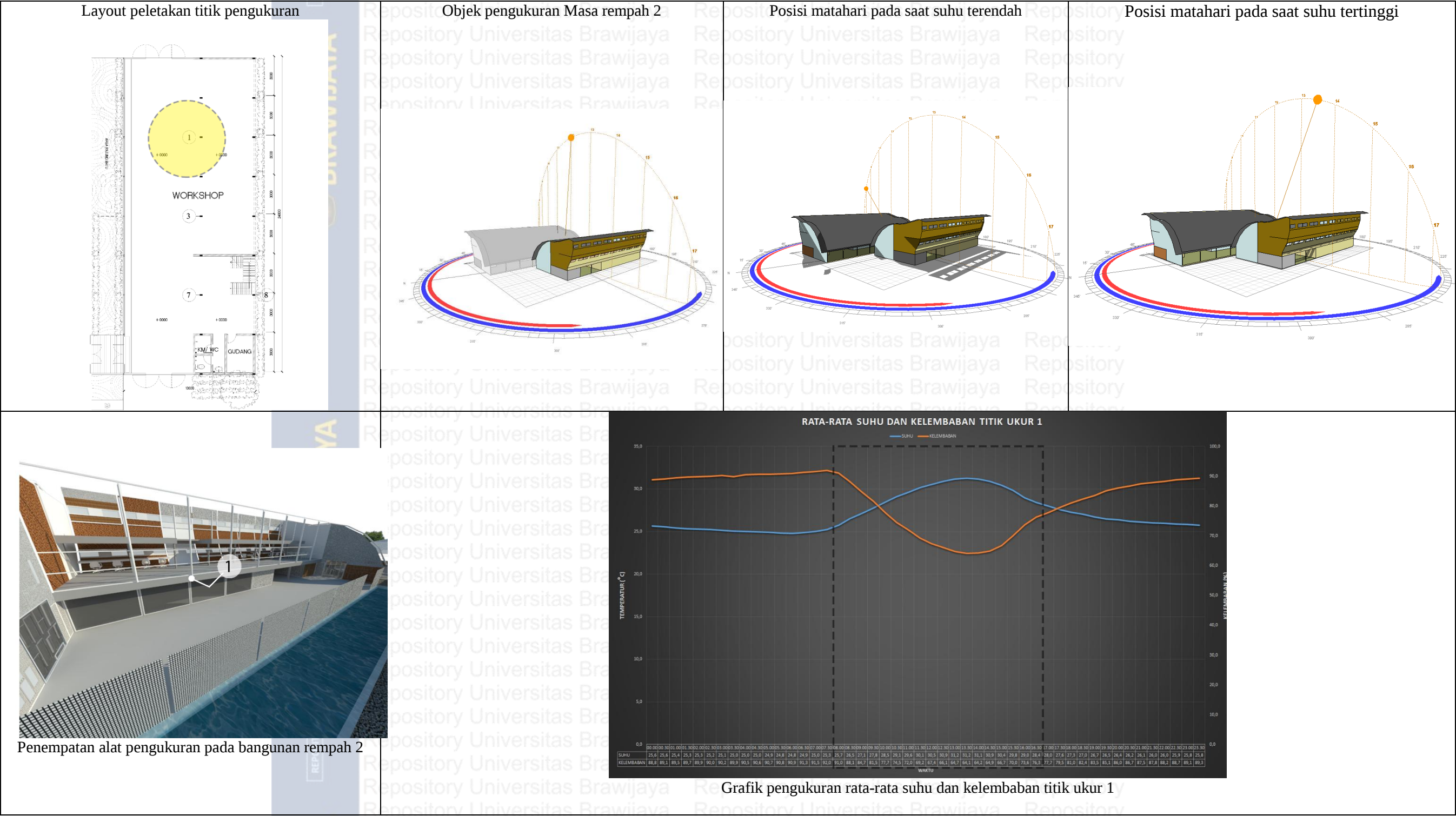
Penempatan alat pengukuran pada bangunan rempah 1

RATA-RATA SUHU DAN KELEMBABAN TITIK UKUR 6



WAKTU	TEMPERATUR (°C)	KELEMBABAN (%)
08.00	25.3	94.0
08.05	25.4	93.8
08.10	25.5	93.6
08.15	25.6	93.4
08.20	25.7	93.2
08.25	25.8	93.0
08.30	25.9	92.8
08.35	26.0	92.6
08.40	26.1	92.4
08.45	26.2	92.2
08.50	26.3	92.0
08.55	26.4	91.8
09.00	26.5	91.6
09.05	26.6	91.4
09.10	26.7	91.2
09.15	26.8	91.0
09.20	26.9	90.8
09.25	27.0	90.6
09.30	27.1	90.4
09.35	27.2	90.2
09.40	27.3	90.0
09.45	27.4	89.8
09.50	27.5	89.6
09.55	27.6	89.4
10.00	27.7	89.2
10.05	27.8	89.0
10.10	27.9	88.8
10.15	28.0	88.6
10.20	28.1	88.4
10.25	28.2	88.2
10.30	28.3	88.0
10.35	28.4	87.8
10.40	28.5	87.6
10.45	28.6	87.4
10.50	28.7	87.2
10.55	28.8	87.0
11.00	28.9	86.8
11.05	29.0	86.6
11.10	29.1	86.4
11.15	29.2	86.2
11.20	29.3	86.0
11.25	29.4	85.8
11.30	29.5	85.6
11.35	29.6	85.4
11.40	29.7	85.2
11.45	29.8	85.0
11.50	29.9	84.8
11.55	30.0	84.6
12.00	30.1	84.4
12.05	30.2	84.2
12.10	30.3	84.0
12.15	30.4	83.8
12.20	30.5	83.6
12.25	30.6	83.4
12.30	30.7	83.2
12.35	30.8	83.0
12.40	30.9	82.8
12.45	31.0	82.6
12.50	31.1	82.4
12.55	31.2	82.2
13.00	31.3	82.0
13.05	31.4	81.8
13.10	31.5	81.6
13.15	31.6	81.4
13.20	31.7	81.2
13.25	31.8	81.0
13.30	31.9	80.8
13.35	32.0	80.6
13.40	32.1	80.4
13.45	32.2	80.2
13.50	32.3	80.0
13.55	32.4	79.8
14.00	32.5	79.6
14.05	32.6	79.4
14.10	32.7	79.2
14.15	32.8	79.0
14.20	32.9	78.8
14.25	33.0	78.6
14.30	33.1	78.4
14.35	33.2	78.2
14.40	33.3	78.0
14.45	33.4	77.8
14.50	33.5	77.6
14.55	33.6	77.4
15.00	33.7	77.2
15.05	33.8	77.0
15.10	33.9	76.8
15.15	34.0	76.6
15.20	34.1	76.4
15.25	34.2	76.2
15.30	34.3	76.0
15.35	34.4	75.8
15.40	34.5	75.6
15.45	34.6	75.4
15.50	34.7	75.2
15.55	34.8	75.0
16.00	34.9	74.8
16.05	35.0	74.6
16.10	35.1	74.4
16.15	35.2	74.2
16.20	35.3	74.0
16.25	35.4	73.8
16.30	35.5	73.6
16.35	35.6	73.4
16.40	35.7	73.2
16.45	35.8	73.0
16.50	35.9	72.8
16.55	36.0	72.6
17.00	36.1	72.4
17.05	36.2	72.2
17.10	36.3	72.0
17.15	36.4	71.8
17.20	36.5	71.6
17.25	36.6	71.4
17.30	36.7	71.2
17.35	36.8	71.0
17.40	36.9	70.8
17.45	37.0	70.6
17.50	37.1	70.4
17.55	37.2	70.2
18.00	37.3	70.0
18.05	37.4	69.8
18.10	37.5	69.6
18.15	37.6	69.4
18.20	37.7	69.2
18.25	37.8	69.0
18.30	37.9	68.8
18.35	38.0	68.6
18.40	38.1	68.4
18.45	38.2	68.2
18.50	38.3	68.0
18.55	38.4	67.8
19.00	38.5	67.6
19.05	38.6	67.4
19.10	38.7	67.2
19.15	38.8	67.0
19.20	38.9	66.8
19.25	39.0	66.6
19.30	39.1	66.4
19.35	39.2	66.2
19.40	39.3	66.0
19.45	39.4	65.8
19.50	39.5	65.6
19.55	39.6	65.4
20.00	39.7	65.2
20.05	39.8	65.0
20.10	39.9	64.8
20.15	40.0	64.6
20.20	40.1	64.4
20.25	40.2	64.2
20.30	40.3	64.0
20.35	40.4	63.8
20.40	40.5	63.6
20.45	40.6	63.4
20.50	40.7	63.2
20.55	40.8	63.0
21.00	40.9	62.8
21.05	41.0	62.6
21.10	41.1	62.4
21.15	41.2	62.2
21.20	41.3	62.0
21.25	41.4	61.8
21.30	41.5	61.6
21.35	41.6	61.4
21.40	41.7	61.2
21.45	41.8	61.0
21.50	41.9	60.8
21.55	42.0	60.6
22.00	42.1	60.4
22.05	42.2	60.2
22.10	42.3	60.0
22.15	42.4	59.8
22.20	42.5	59.6
22.25	42.6	59.4
22.30	42.7	59.2
22.35	42.8	59.0
22.40	42.9	58.8
22.45	43.0	58.6
22.50	43.1	58.4
22.55	43.2	58.2
23.00	43.3	58.0
23.05	43.4	57.8
23.10	43.5	57.6
23.15	43.6	57.4
23.20	43.7	57.2
23.25	43.8	57.0
23.30	43.9	56.8
23.35	44.0	56.6
23.40	44.1	56.4
23.45	44.2	56.2
23.50	44.3	56.0
23.55	44.4	55.8
24.00	44.5	55.6
24.05	44.6	55.4
24.10	44.7	55.2
24.15	44.8	55.0
24.20	44.9	54.8
24.25	45.0	54.6
24.30	45.1	54.4
24.35	45.2	54.2
24.40	45.3	54.0
24.45	45.4	53.8
24.50	45.5	53.6
24.55	45.6	53.4
25.00	45.7	53.2
25.05	45.8	53.0
25.10	45.9	52.8
25.15	46.0	52.6
25.20	46.1	52.4
25.25	46.2	52.2
25.30	46.3	52.0
25.35	46.4	51.8
25.40	46.5	51.6
25.45	46.6	51.4
25.50	46.7	51.2
25.55	46.8	51.0
26.00	46.9	50.8
26.05	47.0	50.6
26.10	47.1	50.4
26.15	47.2	50.2
26.20	47.3	50.0
26.25	47.4	49.8
26.30	47.5	49.6
26.35	47.6	49.4
26.40	47.7	49.2
26.45	47.8	49.0
26.50	47.9	48.8
26.55	48.0	48.6
27.00	48.1	48.4
27.05	48.2	48.2
27.10	48.3	48.0
27.15	48.4	47.8
27.20	48.5	47.6
27.25	48.6	47.4
27.30	48.7	47.2
27.35	48.8	47.0
27.40	48.9	46.8
27.45	49.0	46.6
27.50	49.1	46.4
27.55	49.2	46.2
28.00	49.3	46.0
28.05	49.4	45.8
28.10	49.5	45.6
28.15	49.6	45.4
28.20	49.7	45.2
28.25	49.8	45.0
28.30	49.9	44.8
28.35	50.0	44.6
28.40	50.1	44.4
28.45	50.2	44.2
28.50	50.3	44.0
28.55	50.4	43.8
29.00	50.5	43.6
29.05	50.6	43.4
29.10	50.7	43.2
29.15	50.8	43.0
29.20	50.9	42.8
29.25	51.0	42.6
29.30	51.1	42.4
29.35	51.2	42.2
29.40	51.3	42.0
29.45	51.4	41.8
29.50	51.5	41.6
29.55	51.6	41.4
30.00	51.7	41.2
30.05	51.8	41.0
30.10	51.9	40.8
30.15	52.0	40.6
30.20	52.1	40.4
30.25	52.2	40.2
30.30	52.3	40.0
30.35	52.4	39.8
30.40	52.5	39.6
30.45	52.6	39.4
30.50	52.7	39.2
30.55	52.8	39.0
31.00	52.9	38.8
31.05	53.0	38.6
31.10	53.1	38.4
31.15	53.2	38.2
31.20	53.3	38.0
31.25	53.4	37.8
31.30	53.5	37.6
31.35	53.6	37.4
31.40	53.7	37.2
31.45	53.8	37.0
31.50	53.9	36.8
31.55	54.0	36.6
32.00	54.1	36.4
32.05	54.2	36.2
32.10	54.3	36.0
32.15	54.4	35.8
32.20	54.5	35.6
32.25	54.6	35.4
32.30	54.7	35.2
32.35	54.8	35.0
32.40	54.9	34.8
32.45	55.0	34.6
32.50	55.1	34.4
32.55	55.2	34.2
33.00	55.3	34.0
33.05	55.4	33.8
33.10	55.5	33.6
33.15	55.6	33.4
33.20	55.7	33.2
33.25	55.8	33.0
33.30	55.9	32.8
33.35	56.0	32.6
33.40	56.1	32.4
33.45	56.2	32.2
33.50	56.3	32.0
33.55	56.4	31.8
34.00	56.5	31.6
34.05	56.6	31.4
34.10	56.7	31.2
34.15	56.8	31.0
34.20	56.9	30.8
34.25	57.0	30.6
34.30	57.1	30.4
34.35	57.2	30.2
34.40	57.3	30.0
34.45	57.4	29.8
34.50	57.5	29.6
34.55	57.6	29.4
35.00	57.7	29.2
35.05	57.8	29.0
35.10	57.9	28.8
35.15	58.0	28.6
35.20	58.1	28.4
35.25	58.2	28.2
35.30	58.3	28.0
35.35	58.4	27.8
35.40	58.5	27.6
35.45	58.6	27.4
35.50	58.7	27.2
35.55	58.8	27.0
36.00	58.9	26.8
36.05	59.0	26.6
36.10	59.1	26.4
36.15	59.2	26.2
36.20	59.3	26.0
36.25	59.4	25.8
36.30	59.5	25.6
36.35	59.6	25.4
36.40	59.7	25.2
36.45	59.8	25.0
36.50	59.9	24.8
36.55	60.0	24.6
37.00	60.1	24.4
37.05	60.2	24.2
37.10	60.3	24.0
37.15	60.4	23.8
37.20	60.5	23.6
37.25	60.6	23.4
37.30	60.7	23.2
37.35	60.8	23.0
37.40	60.9	22.8
37.45	61.0	22.6
37.50	61.1	22.4
37.55	61.2	22.2
38.00	61.3	22.0
38.05	61.4	21.8
38.10	61.5	21.6
38.15	61.6	21.4
38.20	61.7	21.2
38.25	61.8	21.0
38.30	61.9	20.8
38.35	62.0	20.6
38.40	62.1	20.4
38.		

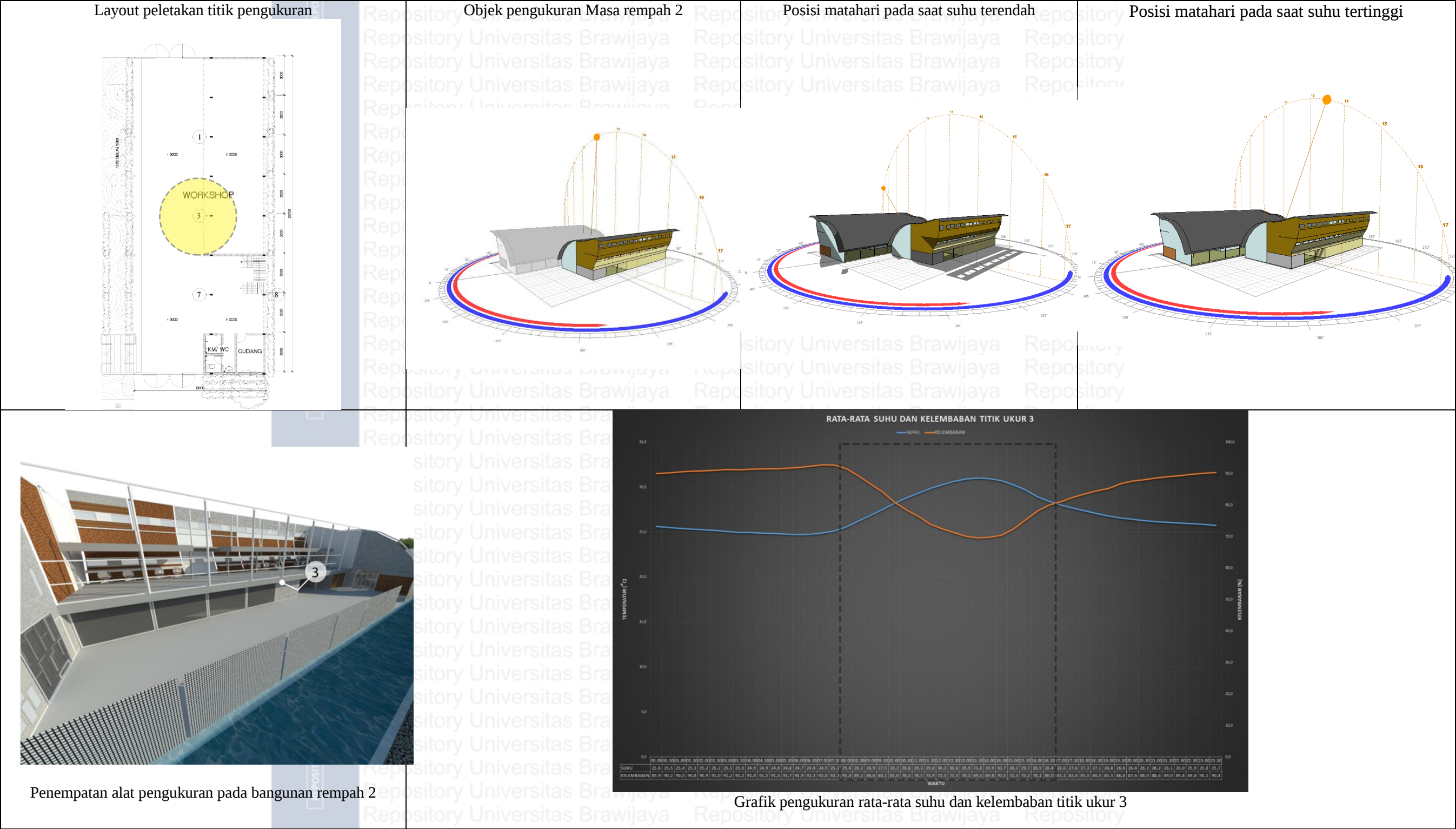
B. Rempah 2
1. Titik pengukuran 1



Gambar 4.26 Analisis hasil titik pengukuran 1

Titik ukur 1 terletak di sisi selatan bangunan rempah 2 yang merupakan ruang workshop pengunjung. Titik ukur ini terletak di tengah ruang workshop dan berbatasan langsung dengan pintu keluar rempah 2 yang terhubung dengan bengkel karya. Rata-rata suhu pada titik ukur ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 29,3°C. Suhu tertinggi terjadi pada waktu 13.00-13.30 dengan besaran suhu sebesar 31,2°C. Suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan besaran suhu 25,7°C. Pergerakan temperatur udara mengalami perubahan rata-rata sebesar 0,5°C. Kelembaban rata-rata titik ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 73,2%. Kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 08.00 dengan kelembaban sebesar 91%. Kelembaban terendah terjadi pada pukul 14.00 dengan besaran sebesar 64,1%.

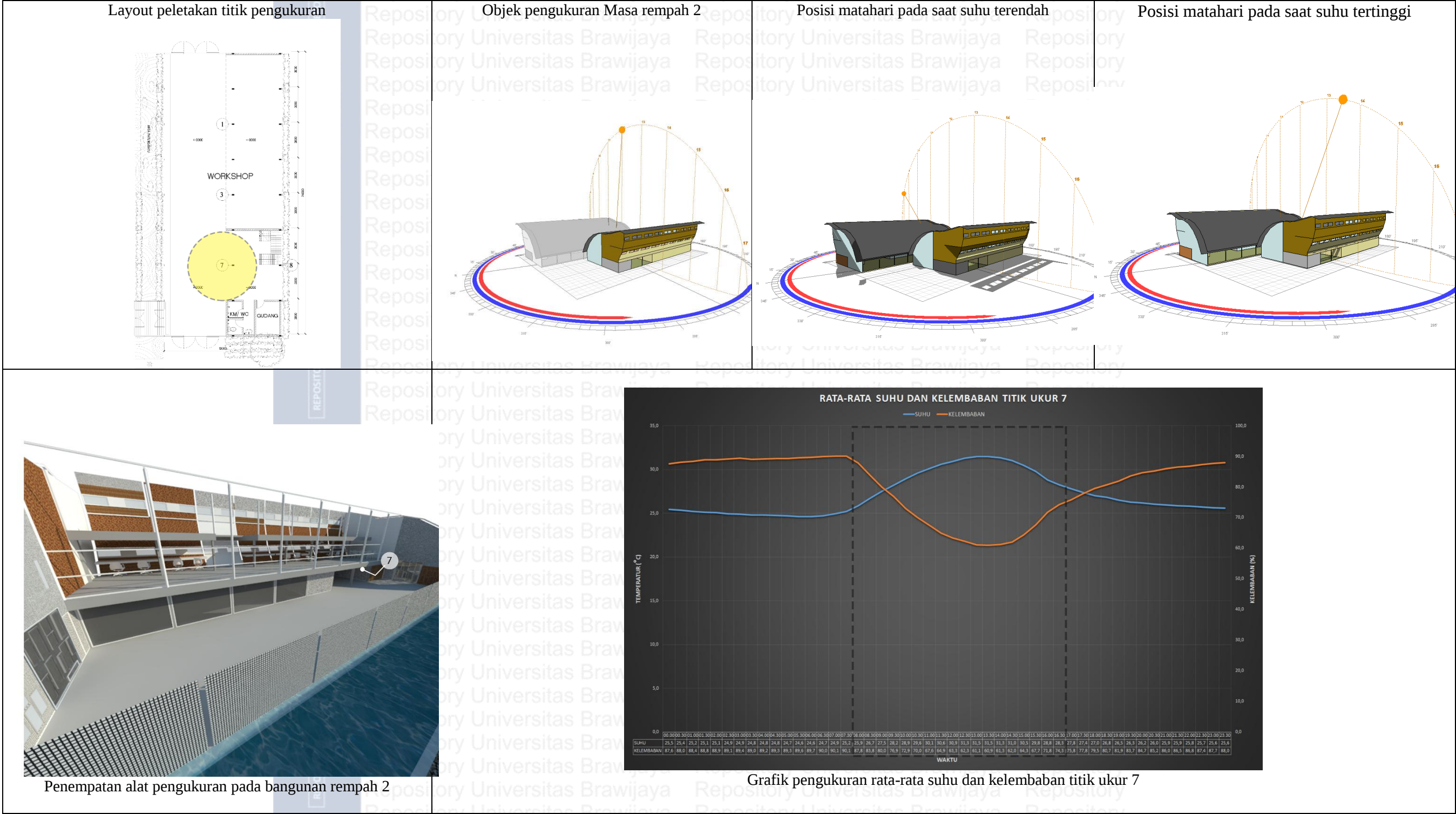
2. Titik pengukuran 3



Gambar 4.27 Analisis hasil titik pengukuran 3

Titik ukur 3 terletak di tengah bangunan rempah 2 yang merupakan ruang workshop pengunjung. Titik ukur ini terletak di utara ruang workshop. Rata-rata suhu pada titik ukur ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 29,1°C. Suhu tertinggi terjadi pada waktu 13.30 dengan besaran suhu sebesar 31°C. Suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan besaran suhu sebesar 25,6°C. Pergerakan temperatur udara mengalami perubahan rata-rata sebesar 0,5°C. Kelembaban rata-rata titik ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 77,3%. Kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 08.00 dengan kelembaban sebesar 91,4%. Kelembaban terendah terjadi pada pukul 13.30 dengan besaran sebesar 69,5%.

3. Titik pengukuran 7



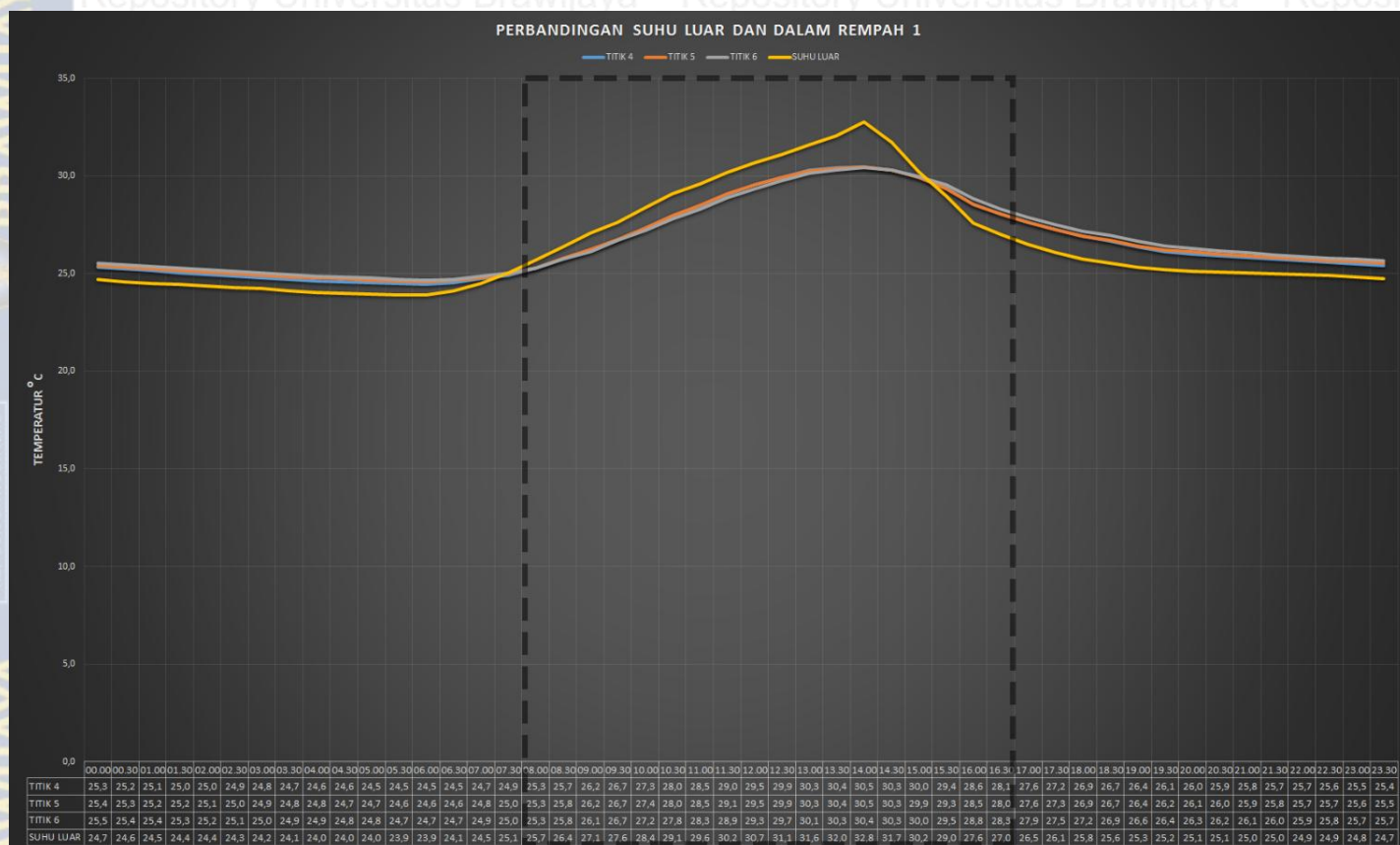
Gambar 4.28 Analisis hasil titik pengukuran 7

Titik ukur 7 terletak di sisi utara bangunan rempah 2 yang merupakan ruang galeri. Rata-rata suhu pada titik ukur ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 29,6°C. Suhu tertinggi terjadi pada waktu 13.30 dengan besaran suhu sebesar 31,5°C. Suhu terendah terjadi pada pukul 08.00 dengan besaran suhu 25,9°C. Pergerakan temperatur udara mengalami perubahan rata-rata sebesar 0,5°C. Kelembaban rata-rata titik ini selama waktu kerja (08.00-16.30) adalah 69,6%. Kelembaban tertinggi terjadi pada pukul 08.00 dengan kelembaban sebesar 87,8%. Kelembaban terendah terjadi pada pukul 13.30 dengan besaran sebesar 60,9%.

4.2.3 Rata-rata hasil pengukuran

A. Temperatur Udara

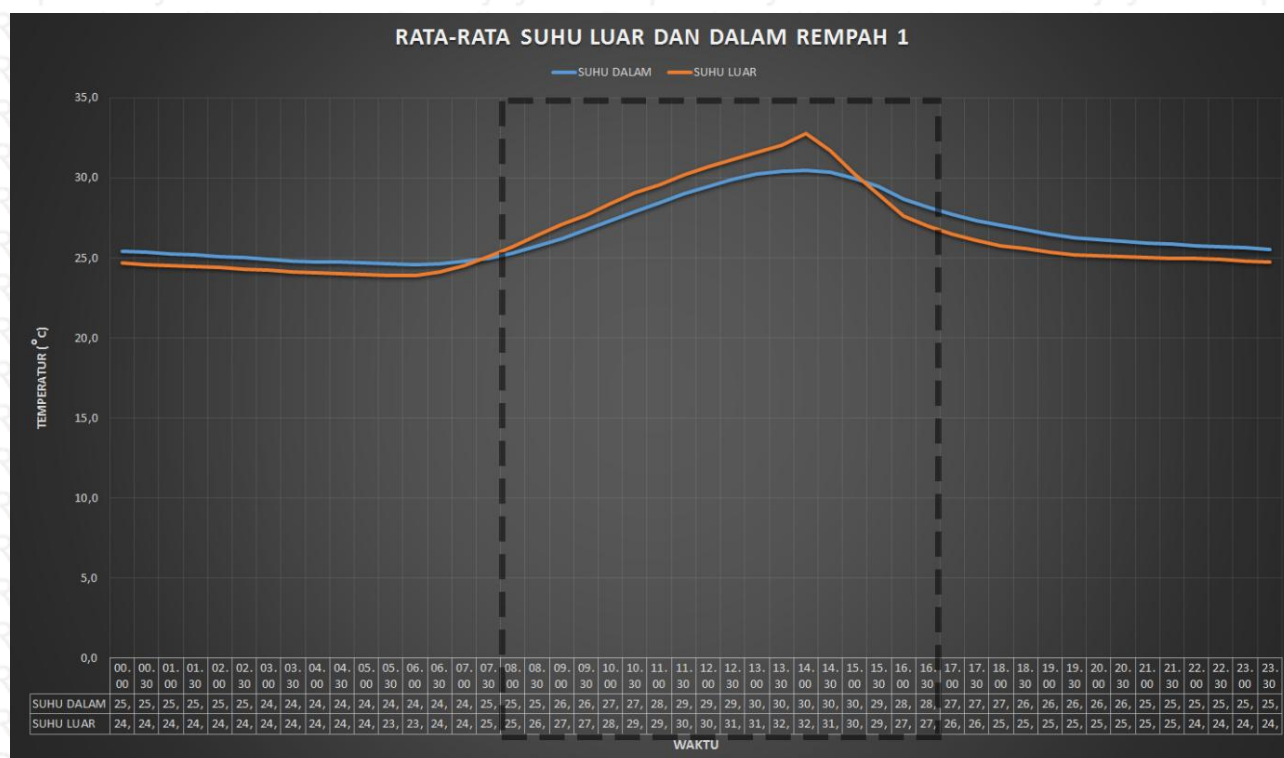
Hasil pengukuran temperatur udara bangunan rempah 1:



Gambar 4.29 Grafik perbandingan suhu ruang luar dan dalam rempah 1

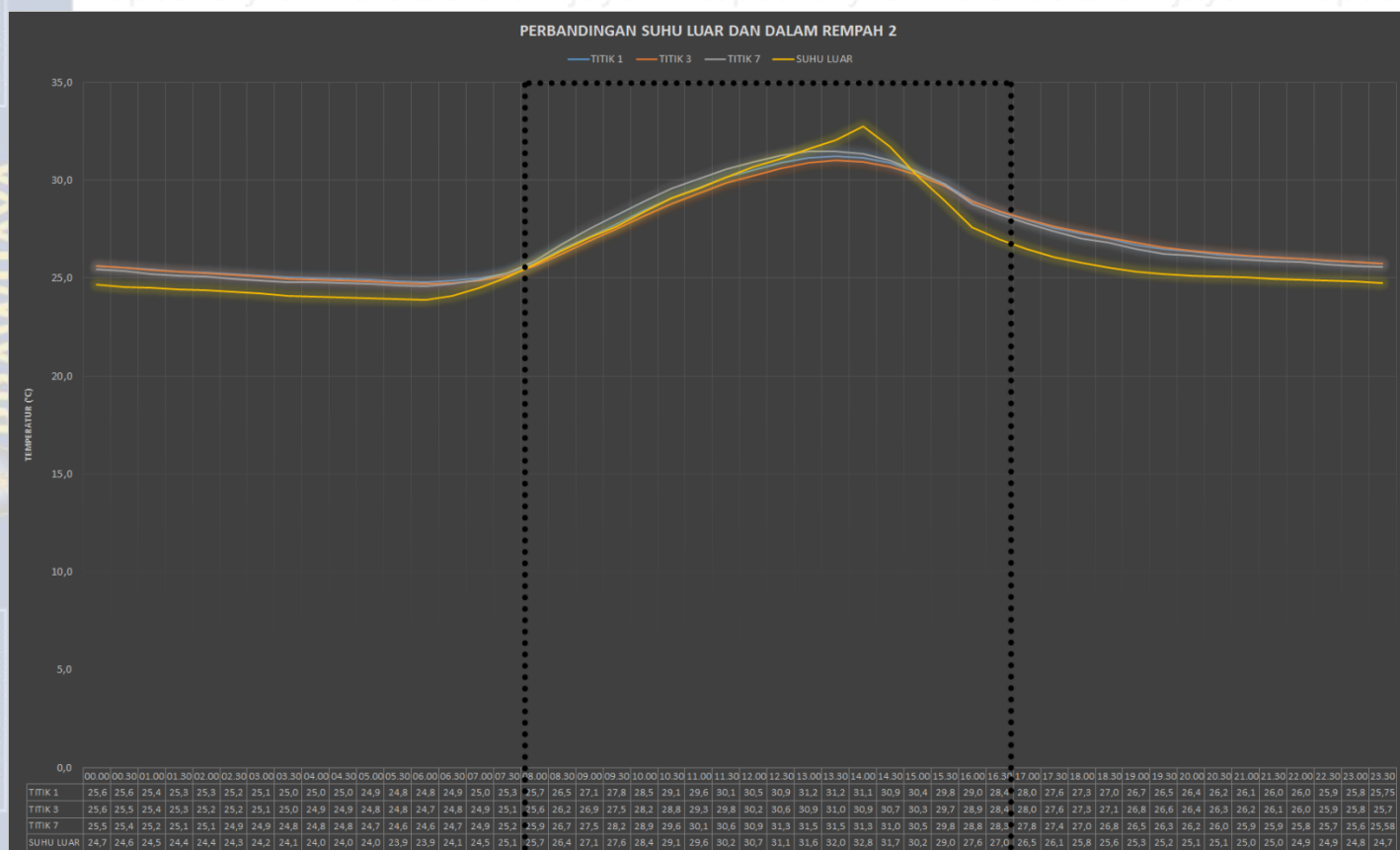
Dari hasil pengukuran tersebut, pada bangunan Rempah 1 titik ukur 4, 5, 6 berada di dalam ruang. Rata-rata suhu ruang dalam selama 24 jam memiliki besaran suhu yaitu 26,7°C, sedangkan rata-rata suhu selama 8 jam (waktu kerja) memiliki besaran suhu yaitu 28,5°C. Rata-rata suhu ruang luar selama 24 jam memiliki besaran suhu yaitu 26,5°C, sedangkan rata-rata suhu selama 8 jam (waktu kerja) memiliki besaran suhu yaitu 29,3°C. Temperatur tertinggi ruang dalam selama waktu kerja (08.00 – 16.30) berada pada titik ukur 4 dan 5 pada jam 14.00 dengan besaran suhu 30,5°C. Titik ukur ini berada pada sisi utara dan tengah ruang bangunan rempah 1 yang berlokasi di ruang tunggu. Temperatur terendah ruang dalam terjadi pada semua titik ukur masa rempah 1 yaitu pada jam 08.00 dengan besaran suhu 25,3°C. Temperatur ruang luar tertinggi selama waktu kerja terjadi pada jam 14.00 dengan besaran suhu sebesar 32,8°C dan temperatur terendah terjadi pada jam 08.00 dengan besaran suhu sebesar 25,7°C. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa ruang dalam memiliki temperatur udara lebih rendah dari pada ruang luar

dengan rata-rata perbedaan suhu $0,8^{\circ}\text{C}$. Temperatur puncak antara ruang luar dan dalam terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 14.00, namun terjadi perbedaan besaran suhu yaitu suhu luar memiliki suhu lebih tinggi daripada suhu dalam dengan perbedaan $2,3^{\circ}\text{C}$. Sedangkan temperatur terendah terjadi pada pukul yang sama yaitu 08.00. Suhu dalam memiliki besaran suhu lebih rendah dari ruang luar dengan perbedaan suhu sebesar $0,4^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.30 Grafik rata-rata suhu ruang luar dan dalam rempah 1

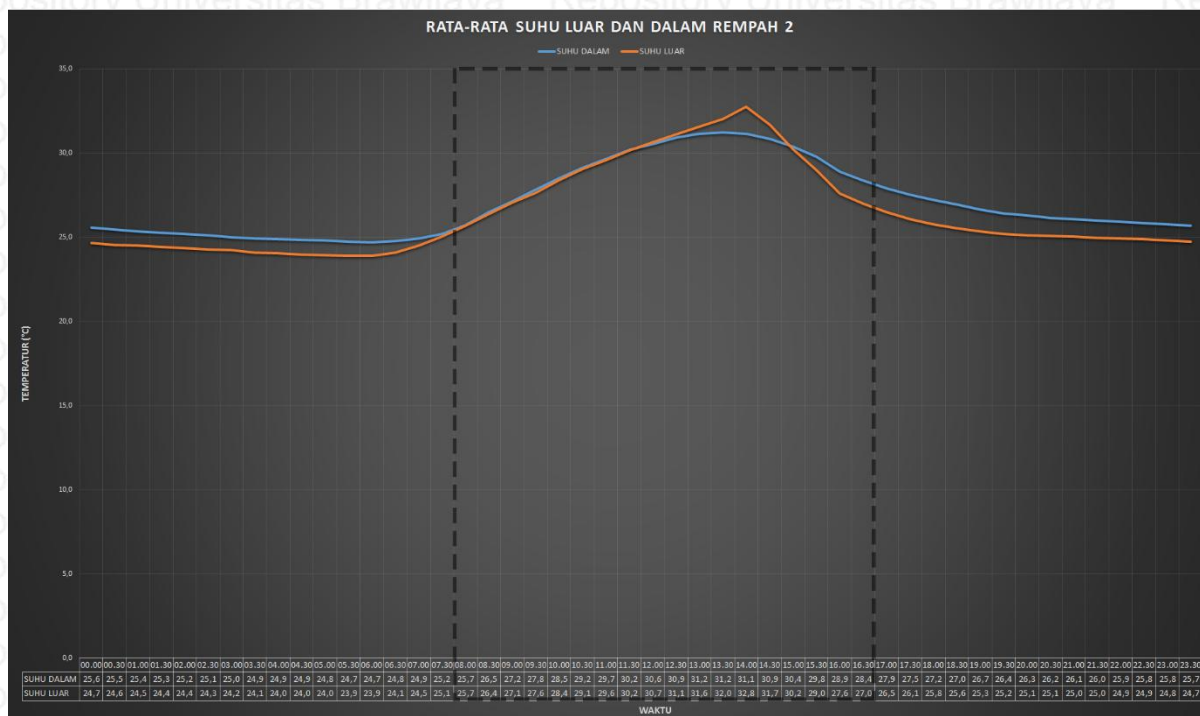
Hasil pengukuran temperatur udara bangunan rempah 2:



Gambar 4.31 Grafik perbandingan suhu ruang luar dan dalam rempah 2

Dari hasil pengukuran tersebut, pada bangunan Rempah 2 titik ukur 1, 3, 7 berada di dalam ruang. Rata-rata suhu ruang dalam selama 24 jam memiliki besaran suhu yaitu $27,1^{\circ}\text{C}$, sedangkan rata-rata selama 8 jam (waktu kerja) $29,3^{\circ}\text{C}$. Rata-rata suhu ruang luar selama 24 jam memiliki besaran suhu yaitu $26,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan rata-rata selama 8 jam (waktu kerja) $29,3^{\circ}\text{C}$. Temperatur tertinggi ruang dalam berada pada titik ukur 7 pada jam 13.30 - 13.30 dengan besaran suhu $31,5^{\circ}\text{C}$. Titik ukur ini berada pada sisi paling utara dari bangunan rempah 2 yang berlokasi di ruang galeri. Temperatur terendah ruang dalam berada pada titik ukur 3 pada jam 08.00 dengan besaran suhu $25,6^{\circ}\text{C}$. Ruang ini berlokasi di tengah-tengah bangunan tepatnya berada di ruang galeri. Temperatur ruang luar tertinggi terjadi pada pukul 14.00 dengan besaran suhu sebesar $32,8^{\circ}\text{C}$ dan temperatur terendah terjadi pada jam 08.00 dengan besaran suhu sebesar $25,7^{\circ}\text{C}$. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa ruang dalam memiliki temperatur udara yang sama dengan ruang luar. Temperatur puncak antara ruang luar dan dalam terjadi pada waktu yang berbeda dan besaran suhu yang berbeda dengan perbedaan suhu sebesar $1,3^{\circ}\text{C}$. Temperatur terendah terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 08.00, namun terjadi

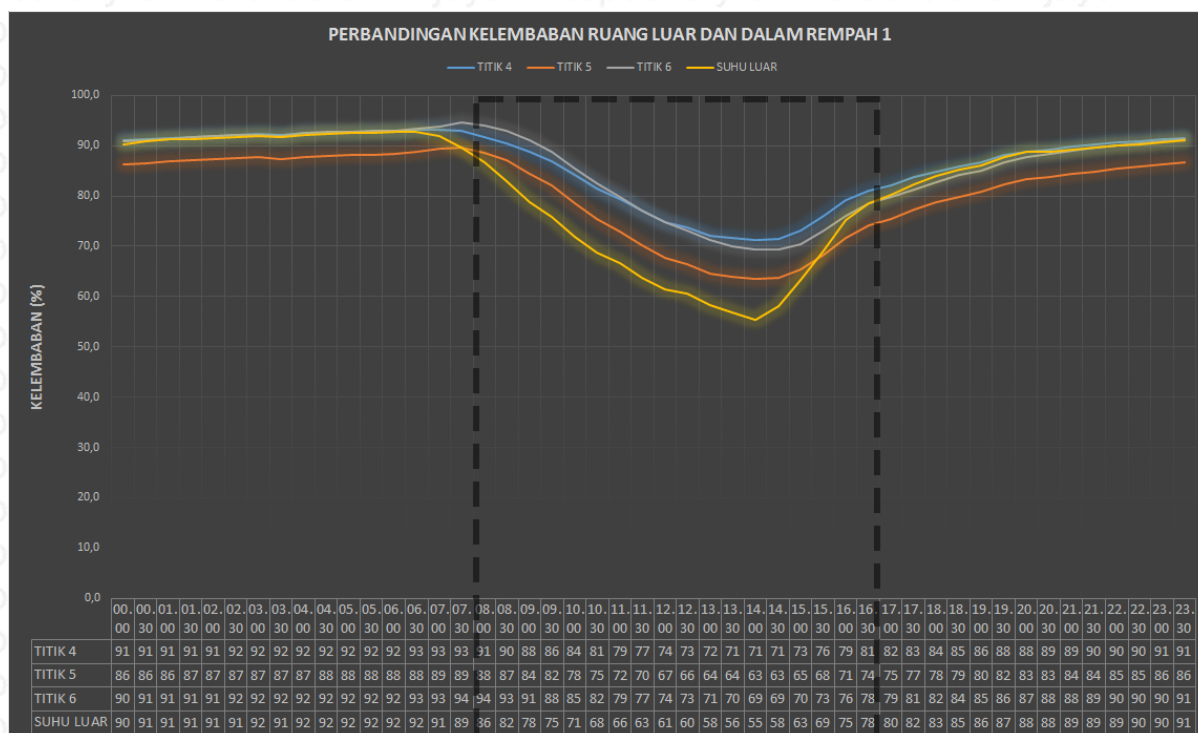
sedikit perbedaan besaran suhu yaitu suhu dalam memiliki besaran yang lebih rendah dari pada ruang luar dengan perbedaan suhu $0,1^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.32 Grafik rata-rata suhu ruang luar dan dalam rempah 2

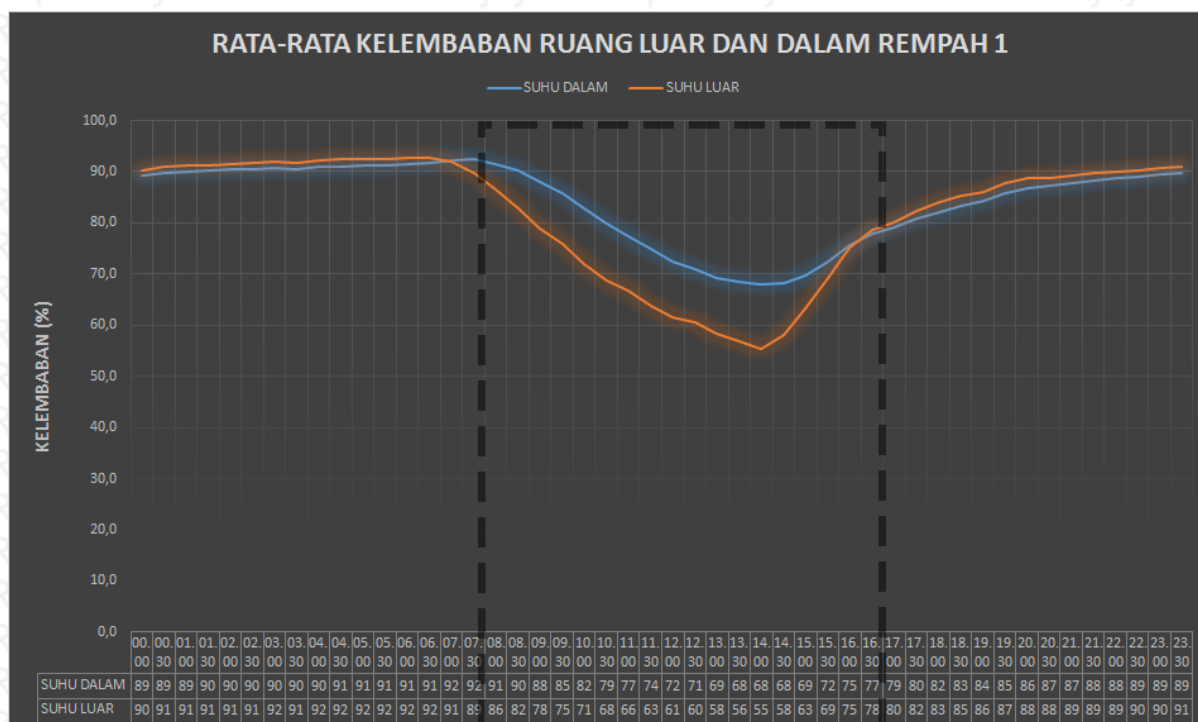
B. Kelembaban

Hasil pengukuran kelembaban udara bangunan rempah 1:



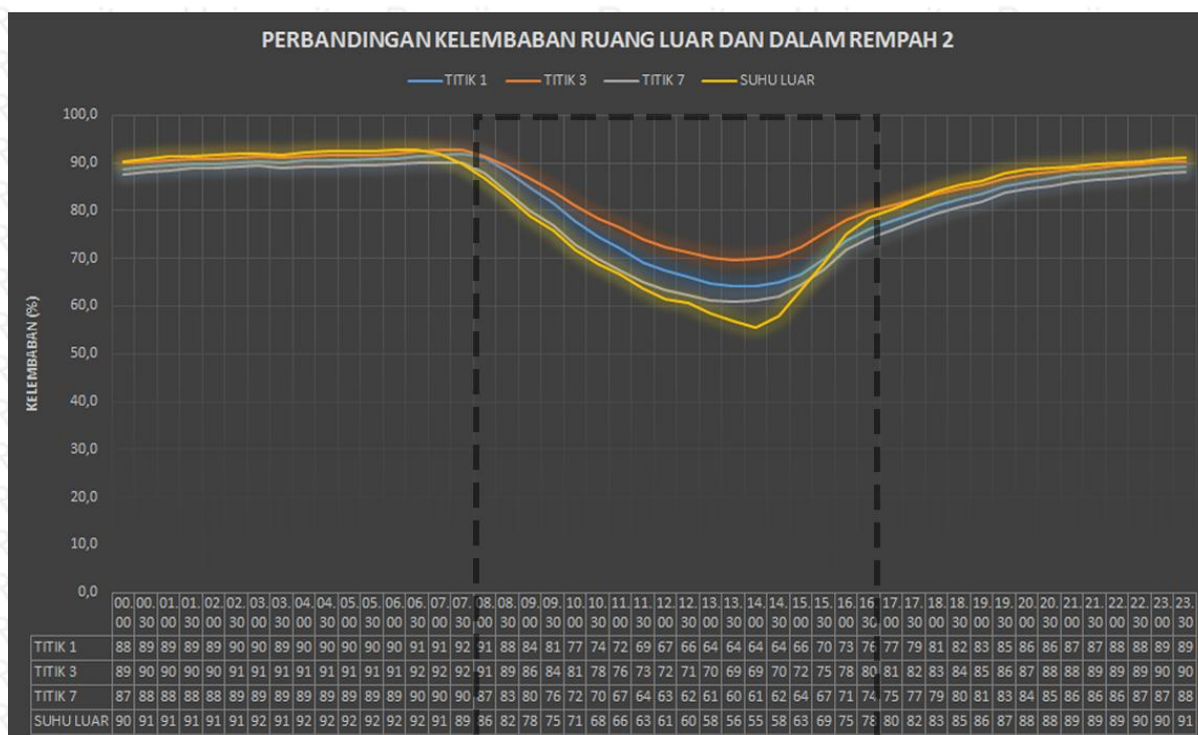
Gambar 4.33 Grafik perbandingan kelembaban ruang luar dan dalam rempah 1

Dari hasil pengukuran Rempah 1, kelembaban udara luar selama rentang waktu 24 jam memiliki rata-rata kelembaban sebesar 81,7%, sedangkan selama rentang waktu kerja 8 jam (08.00-16.30) memiliki kelembaban sebesar 68,4%. Kelembaban udara dalam selama rentang waktu 24 jam memiliki rata-rata kelembaban sebesar 84,1%, sedangkan selama rentang waktu kerja memiliki kelembaban sebesar 76,9% . Kelembaban ruang dalam paling tinggi terukur pada titik 6 dengan kelembaban sebesar 94% pada pukul 08.00. Titik ini terletak di sisi selatan dan merupakan ruang presentasi pada masa rempah 1. Kelembaban ruang dalam terendah terukur pada titik 5 dengan kelembaban sebesar 63,6% pada pukul 14.00. titik ukur ini terletak di tengah bangunan dan merupakan ruang presentasi. Kelembaban luar tertinggi terukur pada pukul 08.00 dengan kelembaban sebesar 86,6%. Kelembaban luar terendah terukur pada pukul 14.00 dengan kelembaban sebesar 55,4%. Dari hasil pengukuran tersebut ruang dalam memiliki rata-rata kelembaban lebih tinggi dari ruang dalam dengan selisih 8,5%. Berdasarkan standar SNI T 03-6572-2001 batas normal kelembaban udara berkisar antara 55% - 60%, sehingga bangunan ini belum memenuhi kenyamanan standar karena melebihi ambang batas normal.



Gambar 4.34 Grafik rata-rata kelembaban luar dan dalam rempah 1

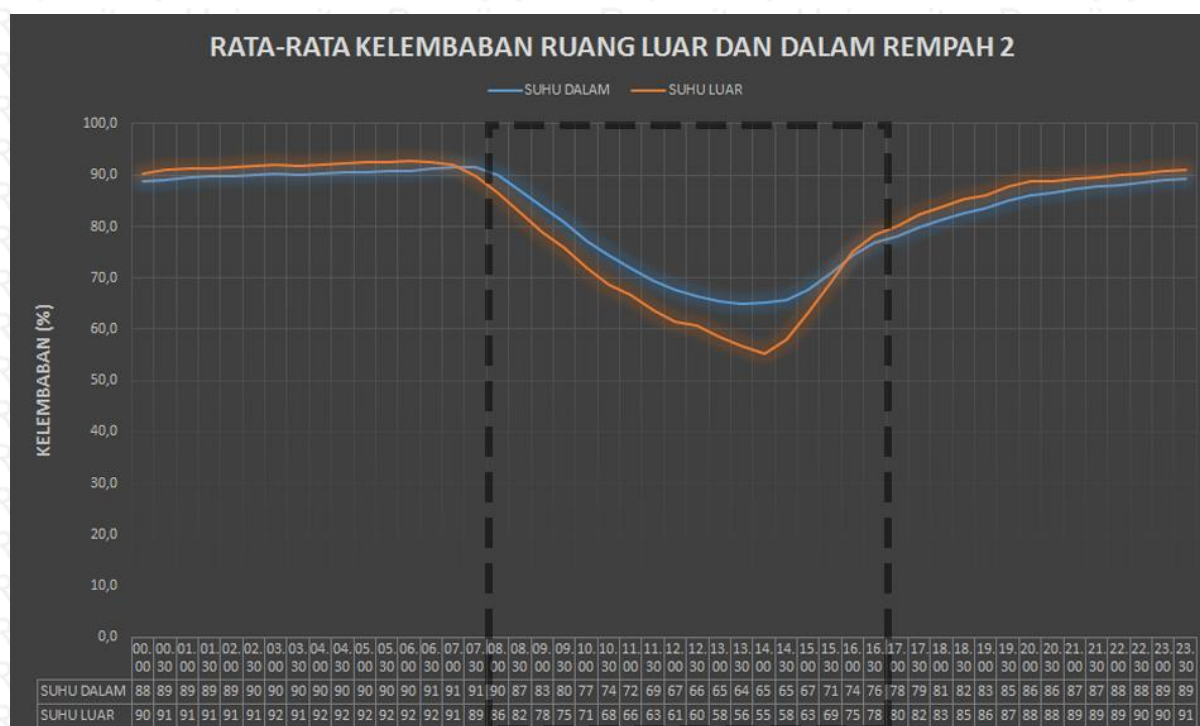
Hasil pengukuran kelembaban rempah 2:



Gambar 4.35 Grafik perbandingan kelembaban ruang luar dan dalam rempah 1

Dari hasil pengukuran Rempah 2, kelembaban udara luar selama rentang waktu 24 jam memiliki rata-rata kelembaban sebesar 81,7%, sedangkan selama rentang waktu kerja

8 jam (08.00-16.30) memiliki kelembaban sebesar 68,4%. Kelembaban ruang udara dalam selama rentang waktu 24 jam memiliki rata-rata 82,5%, sedangkan pada rentang waktu kerja memiliki besaran 73,3%. Kelembaban ruang dalam paling tinggi terukur pada titik 3 dengan besar kelembaban 91,4% pada pukul 08.00. Titik ini terletak di tengah bangunan dan merupakan ruang *workshop* pada masa rempah 2. Kelembaban ruang dalam terendah terukur pada titik 7 dengan kelembaban sebesar 60,9% pada pukul 13.30. Titik ini terletak di sisi utara masa rempah 2 yang merupakan ruang galeri. Kelembaban luar tertinggi terukur pada pukul 08.00 dengan kelembaban sebesar 86,6%. Kelembaban luar terendah terukur pada pukul 14.00 dengan kelembaban sebesar 55,4%. Dari hasil pengukuran tersebut ruang dalam memiliki rata-rata kelembaban lebih tinggi dari ruang luar dengan selisih kelembaban sebesar 4,9%. Berdasarkan standar SNI T 03-6572-2001 batas normal kelembaban udara berkisar antara 55% - 60%, sehingga bangunan ini belum memenuhi standar kenyamanan karena melebihi ambang batas normal.

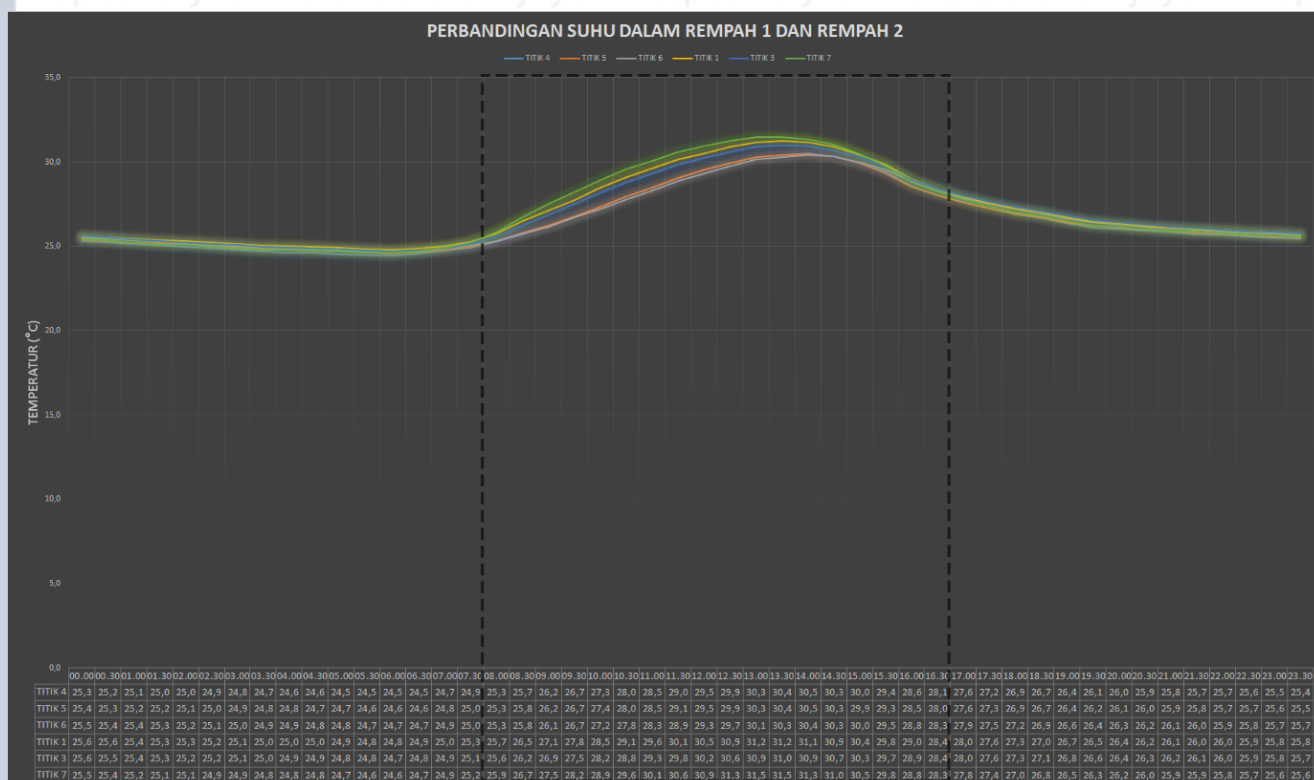


Gambar 4.36 Grafik rata-rata kelembaban ruang luar dan dalam rempah 2

4.2.4 Perbandingan masa rempah 1 dan 2

A. Temperatur udara

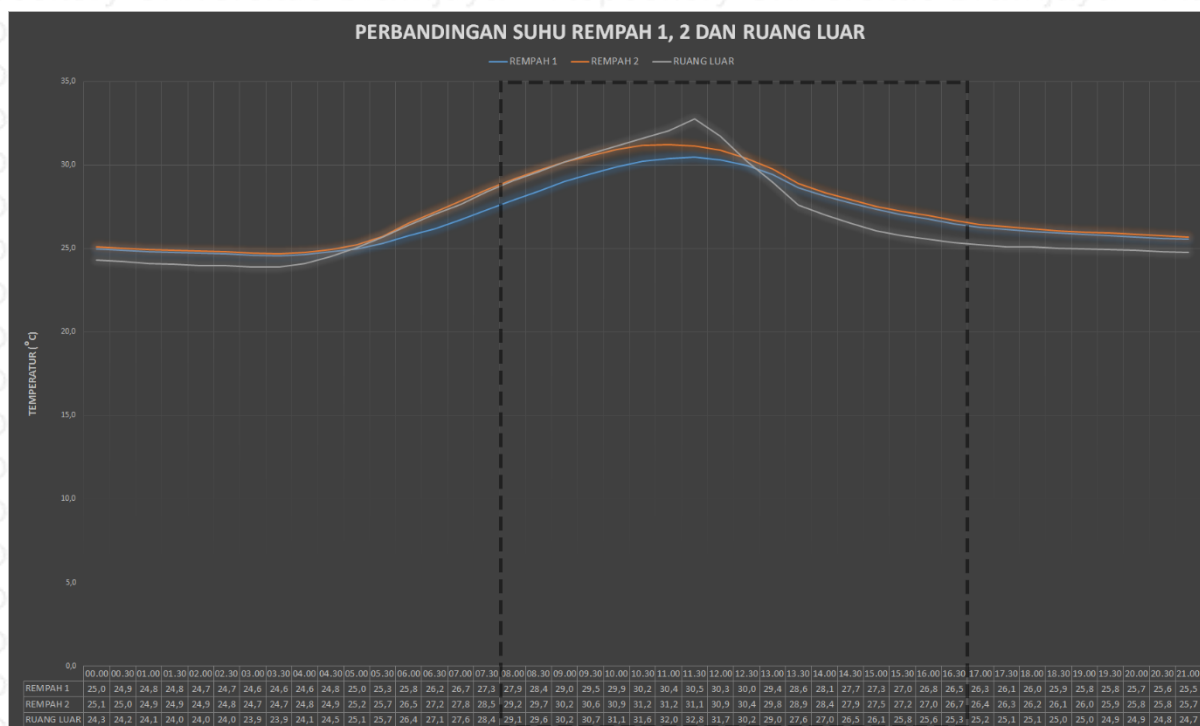
Perbandingan suhu ruang dalam :



Gambar 4.37 Grafik perbandingan pengukuran suhu ruang dalam rempah 1 dan 2

Pada bangunan Rempah 1 titik ukur ruang dalam adalah 4, 5, 6 sedangkan titik ukur 1, 3, 7 berada pada bangunan Rempah 2. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui, rata-rata suhu ruang dalam pada rentang waktu 1 hari memiliki besaran suhu yaitu 26,9°C, sedangkan pada rentang jam kerja memiliki rata-rata besaran suhu sebesar 28,9°C. Temperatur tertinggi berada pada titik ukur 7 pada jam 13.00 - 13.30 dengan besaran suhu sebesar 31,5°C. Titik ukur ini berada pada sisi paling utara dari bangunan rempah 2 yang merupakan area galeri. Temperatur terendah berada pada semua titik ukur masa rempah 1 pada jam 08.00 dengan besaran suhu 25,3°C.

Perbandingan rata-rata suhu ruang dalam dan ruang luar :



Gambar 4.38 Grafik perbandingan pengukuran suhu ruang dalam masa rempah 1, 2 dan ruang luar

Rata-rata suhu masa rempah 1 selama rentang waktu kerja adalah $28,5^{\circ}\text{C}$, masa rempah 2 adalah $29,3^{\circ}\text{C}$ dan ruang luar adalah $29,3^{\circ}\text{C}$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa masa rempah 1 memiliki rata-rata suhu lebih rendah dari rempah 2 dan ruang luar. Masa rempah 1 mampu menurunkan suhu luar sebesar $0,8^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan SNI T 03-6572-2001 rentang kenyamanan suhu berkisar antara $25,8^{\circ}\text{C} \sim 27,1^{\circ}\text{C}$. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa ruang dalam bangunan rempah 1 dan 2 belum memenuhi standar kenyamanan suhu karena melebihi ambang batas normal.

4.3 Simulasi Analisa Komputer

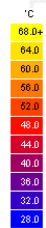
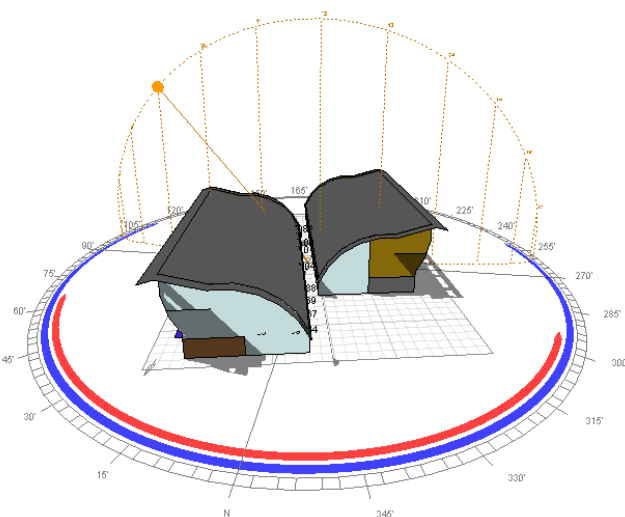
Simulasi dalam penelitian ini bertujuan sebagai instrumen untuk mengetahui kondisi kenyamanan pada suatu objek penelitian. Metode ini merupakan lanjutan dari pengujian lapangan. Adapun piranti lunak yang digunakan *Ecotect Analysis 2011*. Piranti lunak ini sudah digunakan secara komersil untuk membantu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

4.3.1 Simulasi Data Eksisting

Tahap awal adalah membuat zona bentukan eksisting bangunan termasuk bukaan, pintu dan jendela. Objek yang dibentuk merupakan objek penelitian.

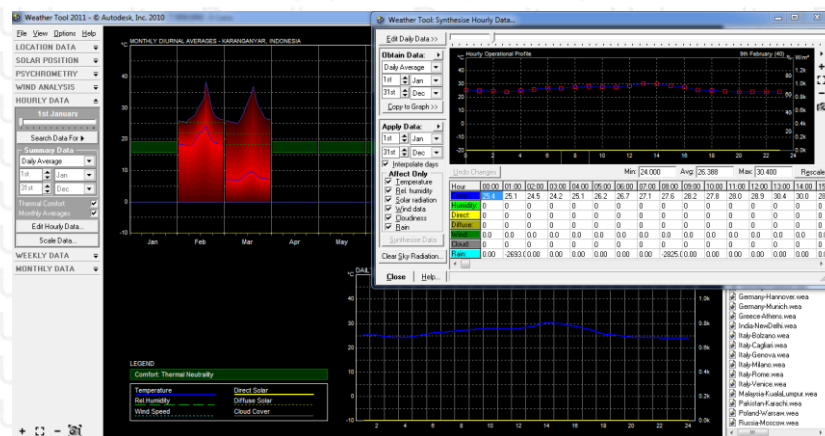
Setting zona, ukuran dan material menggunakan kondisi sebenarnya.

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
Value Range: 28.0 - 68.0 °C
(c) ECOTECT v5



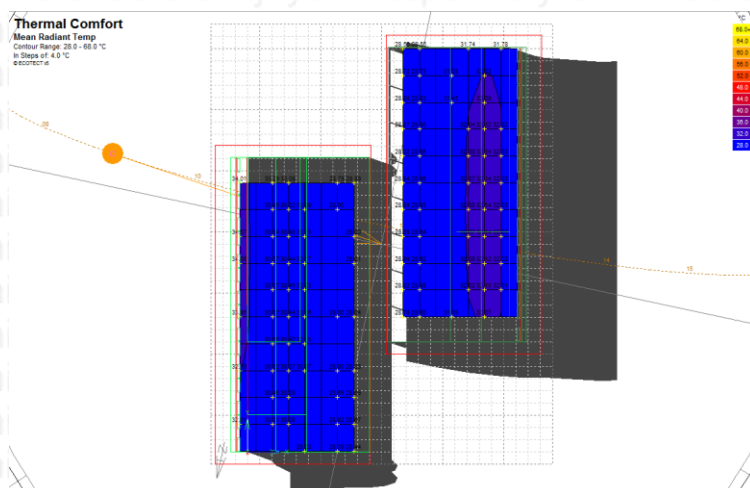
Gambar 4.39 Simulasi permodelan objek penelitian pada piranti ecotect

Tahap selanjutnya adalah 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 untuk meminimalisir kesalahan proses simulasi.



Gambar 4.40 weather data tool kabupaten Karanganyar

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



Gambar 4.41 Hasil pengukuran simulasi objek penelitian
Sumber : Data olahan pribadi

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

HOURLY TEMPERATURES - Saturday 24th February (55)

Zone: REMPAH 1-1

Avg. Temperature: 27.4 C (Ground 2.2 C)

Total Surface Area: 1250.424 m² (285.6% flr area).

Total Exposed Area: 1250.424 m² (285.6% flr area).

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

Total Window Area: 17.600 m² (4.0% flr area).

Total Conductance (AU): 3727 W/°K

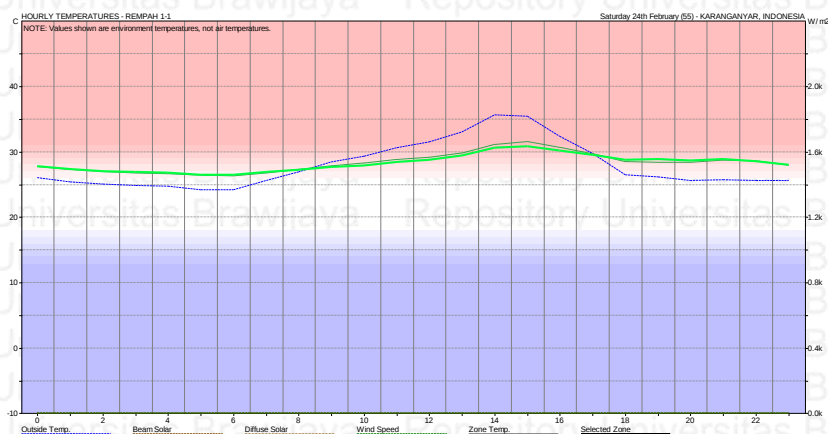
Total Admittance (AY): 5771 W/°K

Response Factor: 1.54

Tabel 4.3 hasil pengukuran simulasi masa rempah 1 tanggal 24 februari

Hour	Inside	Outside	Temp.dif
0	27.7	26.0	1.7
1	27.3	25.4	1.9
2	27.0	25.1	1.9
3	26.9	24.9	2.0
4	26.8	24.7	2.1
5	26.5	24.2	2.3
6	26.5	24.2	2.3
7	26.9	25.6	1.3
8	27.2	26.9	0.3
9	27.7	28.5	-0.8
10	27.9	29.3	-1.4
11	28.5	30.6	-2.1
12	28.8	31.5	-2.7
13	29.5	33.0	-3.5
14	30.7	35.7	-5.0

15	30.9	35.4	-4.5
16	30.2	32.4	-2.2
17	29.5	29.8	-0.3
18	28.8	26.5	2.3
19	28.9	26.2	2.7
20	28.7	25.6	3.1
21	28.9	25.7	3.2
22	28.5	25.6	2.9
23	28.0	25.6	2.4



Gambar 4.42 Hasil pengukuran simulasi ecotect masa rempah 1 tanggal 24 februari

HOURLY TEMPERATURES - Saturday 24th February (55)

HOURLY TEMPERATURES - Saturday 24th February (55)

Zone: REMPAH 2-2

Avg. Temperature: 27.4 C (Ground 2.2 C)

Total Surface Area: 1186.620 m² (271.0% flr area).

Total Exposed Area: 1186.558 m² (271.0% flr area).

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

Total Window Area: 17.600 m² (4.0% flr area).

Total Conductance (AU): 3186 W/°K

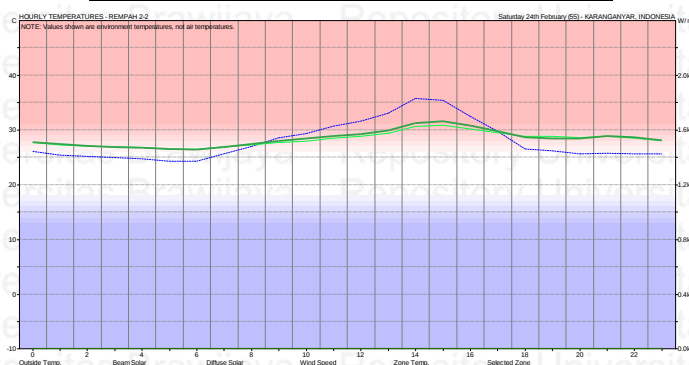
Total Admittance (AY): 4758 W/°K

Response Factor: 1.48

Tabel 4.4 hasil pengukuran simulasi masa rempah 2 tanggal 24 februari

Hour	Inside	Outside	Temp.dif
0	27.8	26.0	1.8
1	27.3	25.4	1.9
2	27.0	25.1	1.9
3	26.9	24.9	2.0
4	26.7	24.7	2.0
5	26.5	24.2	2.3

6	26.4	24.2	2.2
7	26.9	25.6	1.3
8	27.3	26.9	0.4
9	28.0	28.5	-0.5
10	28.3	29.3	-1.0
11	28.8	30.6	-1.8
12	29.2	31.5	-2.3
13	29.9	33.0	-3.1
14	31.2	35.7	-4.5
15	31.6	35.4	-3.8
16	30.8	32.4	-1.6
17	29.8	29.8	-0.0
18	28.6	26.5	2.1
19	28.4	26.2	2.2
20	28.4	25.6	2.8
21	28.8	25.7	3.1
22	28.7	25.6	3.1
23	28.1	25.6	2.5

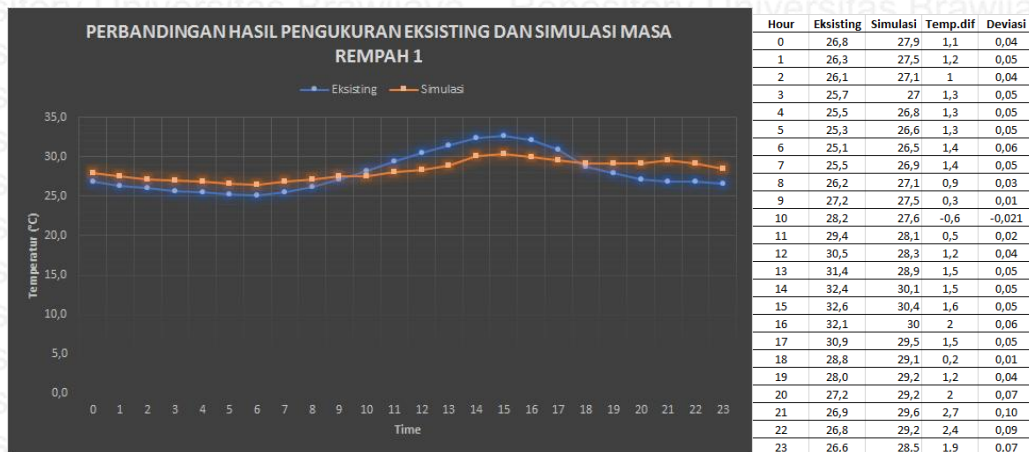


Gambar 4.43 Hasil pengukuran simulasi ecotect masa rempah 2 tanggal 24 februari

4.3.2 Validasi pengukuran lapangan dan simulasi

Dalam rangka membuktikan validitas penggunaan peranti Ecotect analysis 2011 terutama melalui prosedur simulasi maupun pengaturan kondisi pada iklim wilayah kota Karanganyar, maka dilakukan perhitungan perbandingan antara hasil pengukuran lapangan dengan simulasi. Berdasarkan Abdul Razak (dalam Nugroho, 2007), metode validasi dapat dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Simulasi dilakukan pada tanggal 24 februari karena merupakan rata-rata suhu luar dan suhu dalam tertinggi selama waktu pengukuran lapangan yaitu 1 bulan yang dimulai dari tanggal 9 februari sampai 10 mei 2017. Hasil pengukuran yang dijadikan perbandingan adalah rata-rata suhu titik pengukuran ruang dalam yaitu titik ukur 4,5,6 (rempah 1) dan titik ukur 1,3,7 (rempah 2) dengan hasil pengukuran suhu simulasi *software ecotect* 2011.

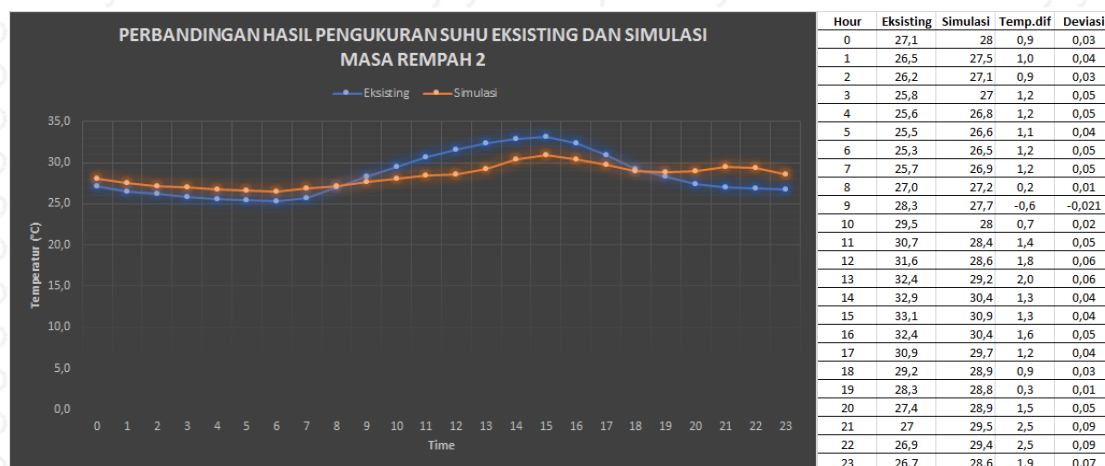
Masa rempah 1



Gambar 4.44 Grafik dan tabel Perbandingan hasil pengukuran eksisting dan simulasi rempah 1

Hasil perbandingan antara pengukuran lapangan (eksisting) dengan simulasi pada bangunan Rempah 1 menunjukkan rata-rata perbedaan temperatur sebesar $1,3^{\circ}\text{C}$ atau dengan besaran deviasi sebesar 4%. Perbedaan paling besar terjadi pada pukul 21.00 dengan besaran deviasi sebesar 10%. Perbedaan terkecil terjadi pada pukul 09.00 dengan besaran deviasi sebesar 1%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran simulasi dengan pengukuran lapangan memiliki selisih yang tidak jauh berbeda.

Masa Rempah 2



Gambar 4.45 Grafik dan tabel perbandingan hasil pengukuran eksisting dan simulasi rempah 2

Hasil pengukuran yang dijadikan perbandingan adalah rata-rata suhu titik pengukuran ruang dalam (titik ukur 4,5,6 pada rempah 2) dengan hasil pengukuran suhu simulasi *software ecotect 2011*. Hasil perbandingan antara pengukuran lapangan (eksisting) dengan simulasi

pada bangunan Rempah 2 menunjukkan rata-rata perbedaan temperatur sebesar $1,2^{\circ}\text{C}$ atau dengan besaran deviasi sebesar 4%. Perbedaan paling besar terjadi pada pukul 14 dengan besaran deviasi sebesar 6%. Perbedaan terkecil terjadi pada pukul 9 dengan besaran deviasi sebesar 0,4%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran simulasi dengan pengukuran lapangan memiliki selisih yang tidak jauh berbeda.

4.3.3 Simulasi rekomendasi desain

Pemakaian material pada bangunan dapat dilihat pada elemen-elemen bangunan, yaitu selubung bangunan (dinding dan atap) serta interior bangunan (lantai dan partisi). Pematahan laju panas di daerah tropis lembab menurut Santosa (1999) dilakukan dengan prinsip konstruksi yang mempunyai heat resistance (R) maksimal, conductivity value (C) minimal, dan heat transmittance (U-value) minimal. Adapun pengertian dari properties tersebut adalah sebagai berikut:

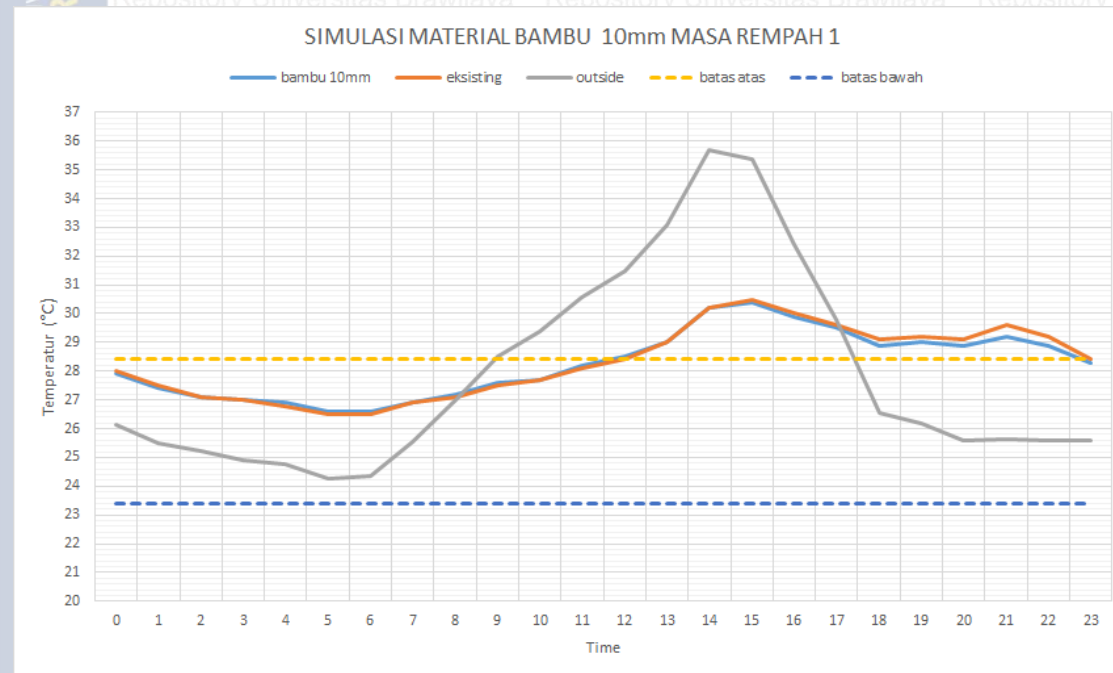
- Thermal Resistance (R) adalah total tahanan pada setiap lapisan elemen bangunan dan merupakan jumlah langsung tahanan dari masing-masing lapisan. Satuan $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$.
- Thermal Conductivity (C), adalah rata-rata aliran panas pada setiap permukaan dari ketebalan elemen bangunan dalam setiap unit perbedaan temperatur. Satuan $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$.
- Thermal Transmittance (U-value), adalah transmisi termal dalam setiap permukaan elemen bangunan persatuan waktu dalam setiap waktu perbedaan temperatur antara di luar dan di dalam bangunan. Satuan $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$.

Pada tahap ini dilakukan modifikasi objek penelitian, khususnya pada objek material. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan lapisan material alami yang mempunyai thermal properties yang bersifat isolator yang baik pada atap dan dinding objek penelitian.

A. Tahap pertama

Tahap pertama berupa modifikasi material dengan menggunakan metode penambahan lapisan material pada selubung atap dan dinding, yaitu dinding sisi timur pada rempah 1, dan sisi barat pada rempah 2. Penambahan lapisan material ini diletakkan di bagian dalam dengan tidak merubah zona dan material yang telah dipakai sebelumnya. Terdapat 8 material pilihan yang akan disimulasikan, masing-masing memiliki ketebalan yang sama yaitu 10mm.

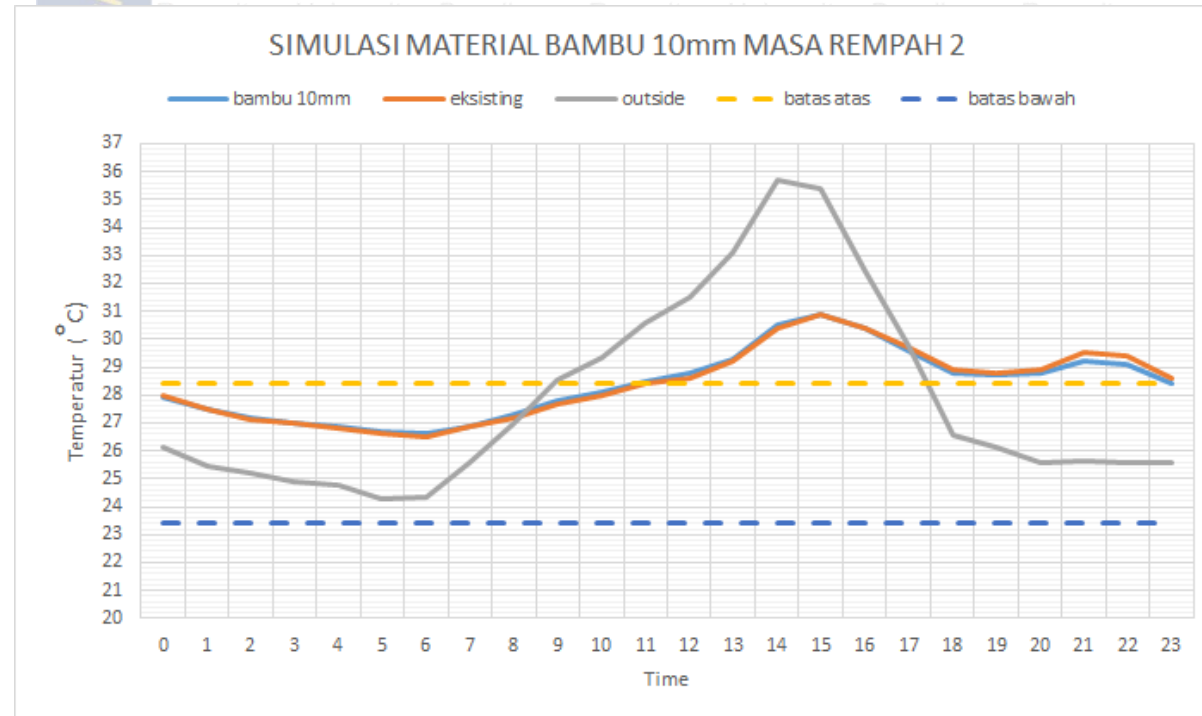
1. Material bambu 10mm
 - a. Masa rempah 1



Gambar 4.46 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material bambu pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material bambu dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama rentang waktu 24 jam sebesar $0,05^{\circ}\text{C}$, dan hanya terjadi sedikit kenaikan suhu rata-rata sebesar $0,01^{\circ}\text{C}$ pada rentang waktu efektif. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-12.

b. Massa rempah 2

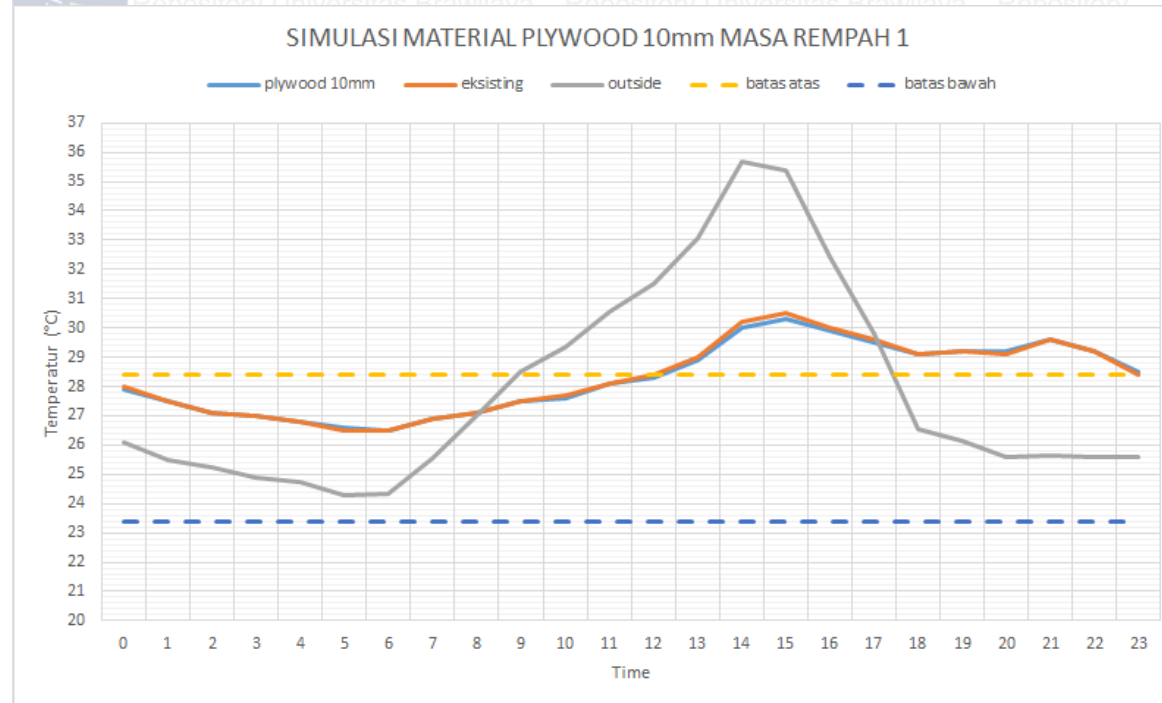


Gambar 4.47 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material bambu pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material bambu dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 tidak memberikan perbedaan pada rata-rata suhu selama 24 jam yaitu sebesar 28,37°C, justru selama rentang waktu efektif cenderung lebih panas dengan kenaikan rata-rata 0,07°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

2. Material Plywoods 10mm

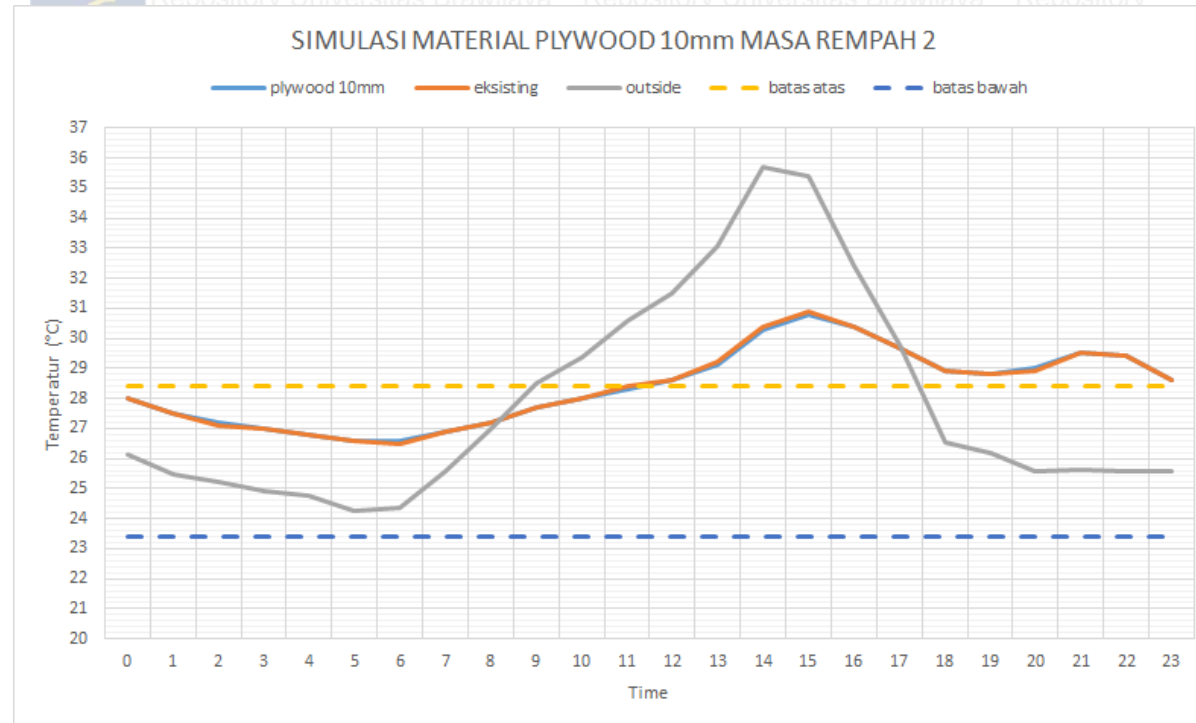
a. Massa rempah 1



Gambar 4.48 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material plywood pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material plywood dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam $0,03^{\circ}\text{C}$, dan mampu menurunkan rata-rata suhu selama rentang waktu efektif sebesar $0,09^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-12.

b. Massa rempah 2

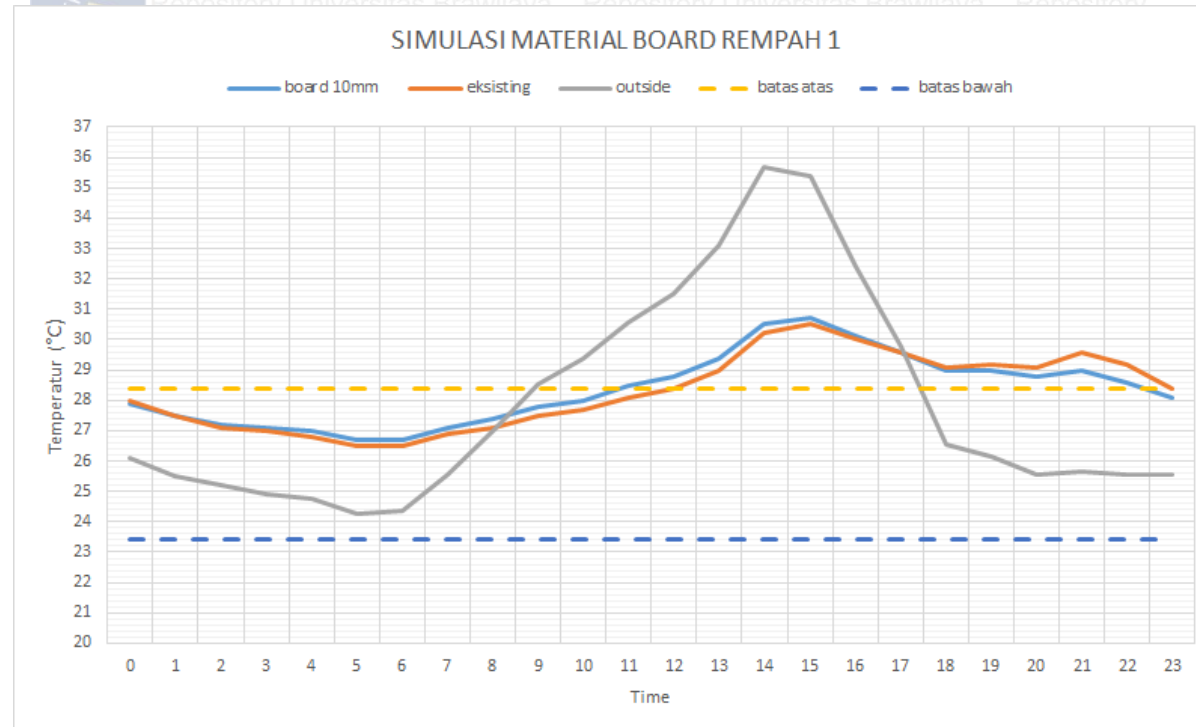


Gambar 4.49 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *plywood* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material plywood dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 tidak memberikan perbedaan pada suhu rata-rata selama 24 jam yaitu sebesar 28,37°C, sedangkan selama rentang waktu efektif mampu menurunkan suhu rata-rata 0,04°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

3. Material Board 10mm

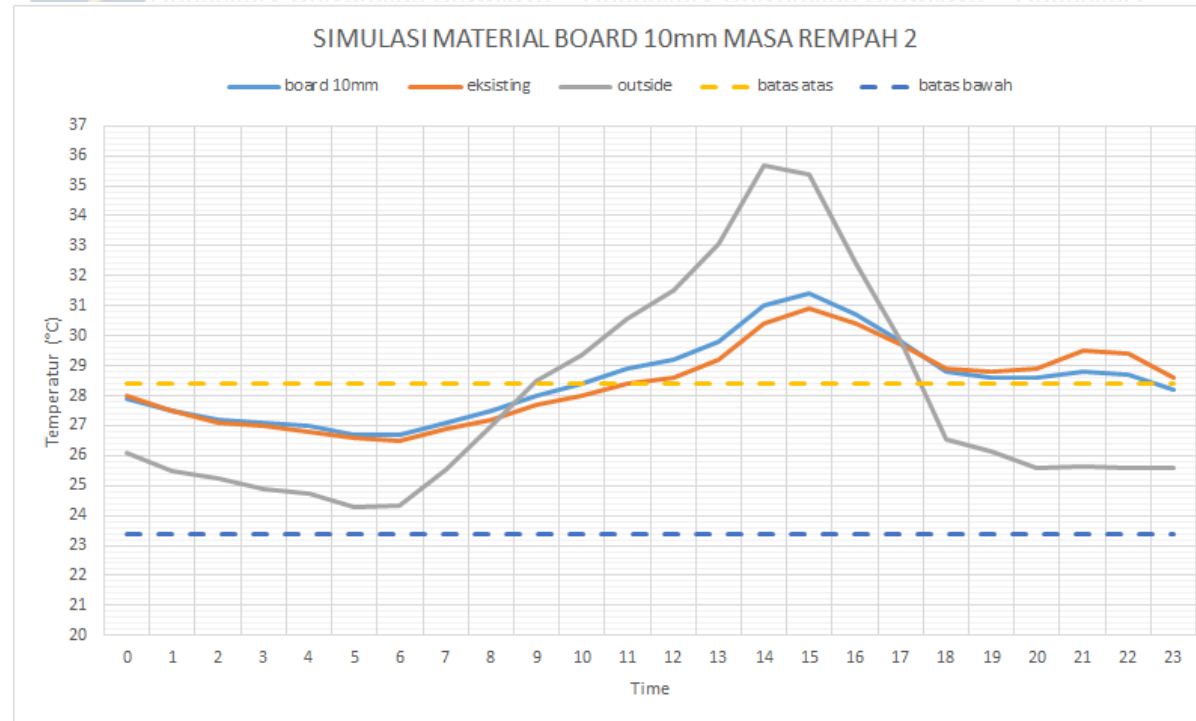
a. Massa rempah 1



Gambar 4.50 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material board pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material board dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat suhu rata-rata selama 24 jam menjadi naik sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$, dan menaikkan suhu rata-rata selama rentang waktu efektif sebesar $0,27^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-12.

b. Massa rempah 2

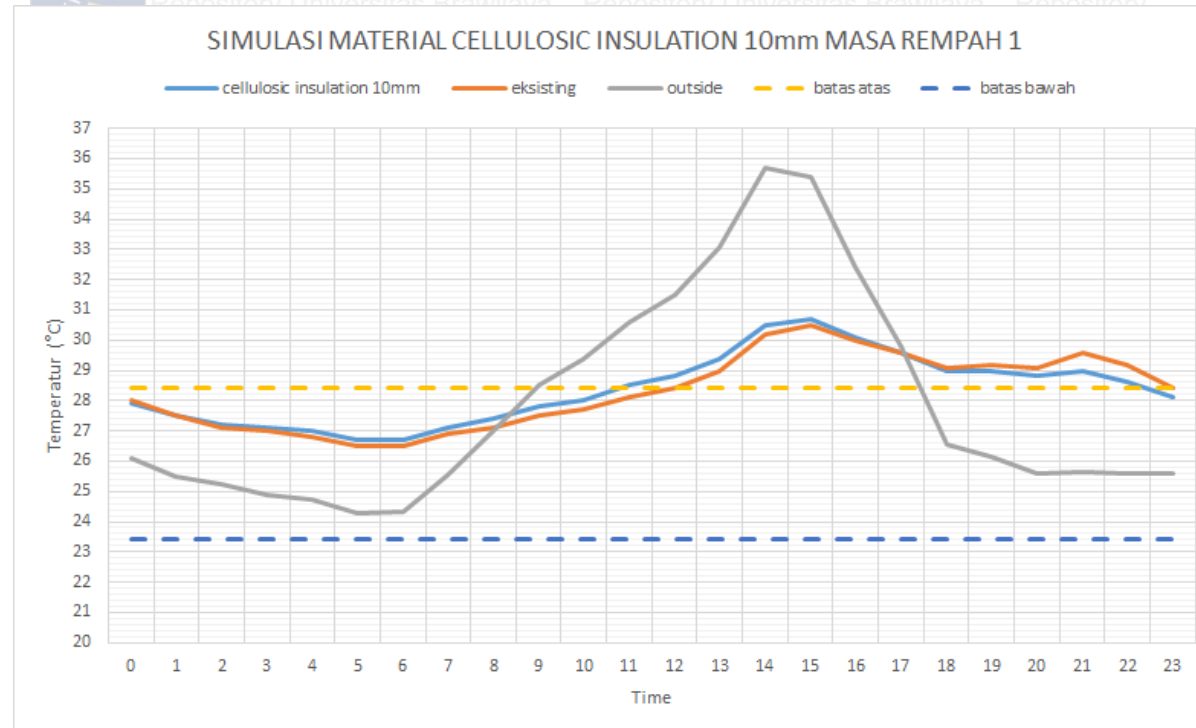


Gambar 4.51 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material board pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material board dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 menaikkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,11^{\circ}\text{C}$, dan juga menaikkan suhu rata-rata selama rentang waktu efektif sebesar $0,42^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-12.

4. Material Cellulosic Insulation 10mm

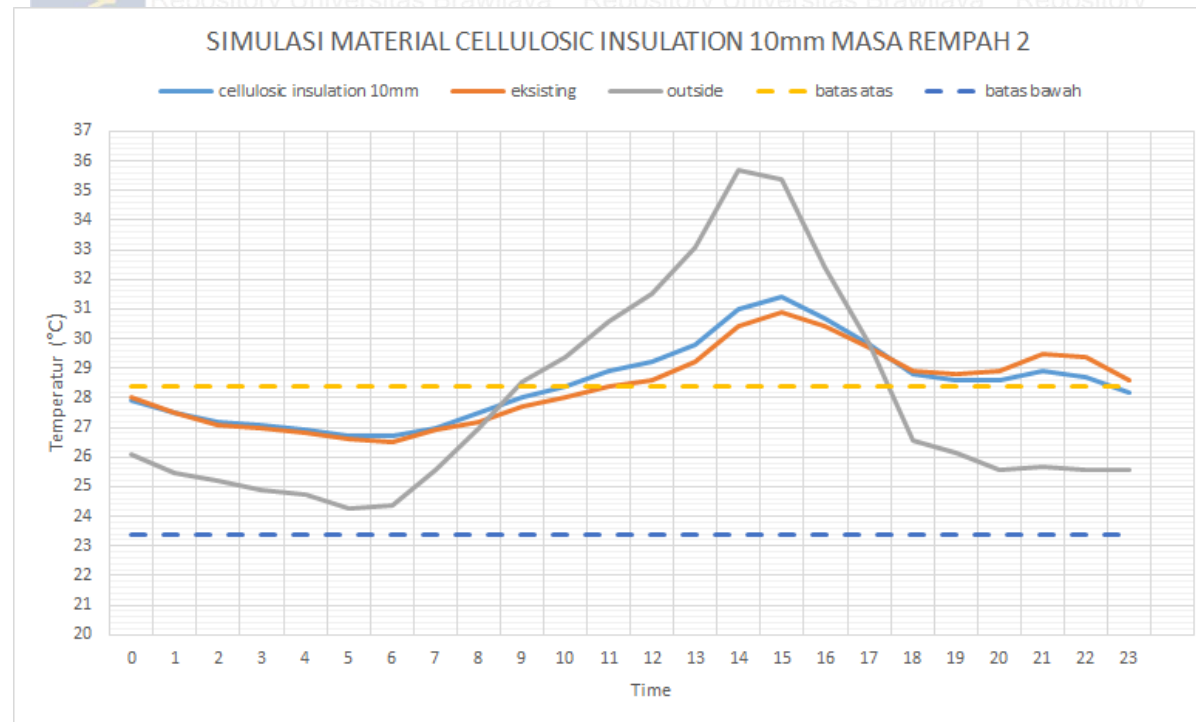
a. Massa rempah 1



Gambar 4.52 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *cellulosic insulation* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material Cellulosic insulation dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat suhu rata-rata selama 24 jam naik sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$ dan juga menaikkan suhu rata-rata selama rentang waktu efektif sebesar $0,27^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b. Massa rempah 2

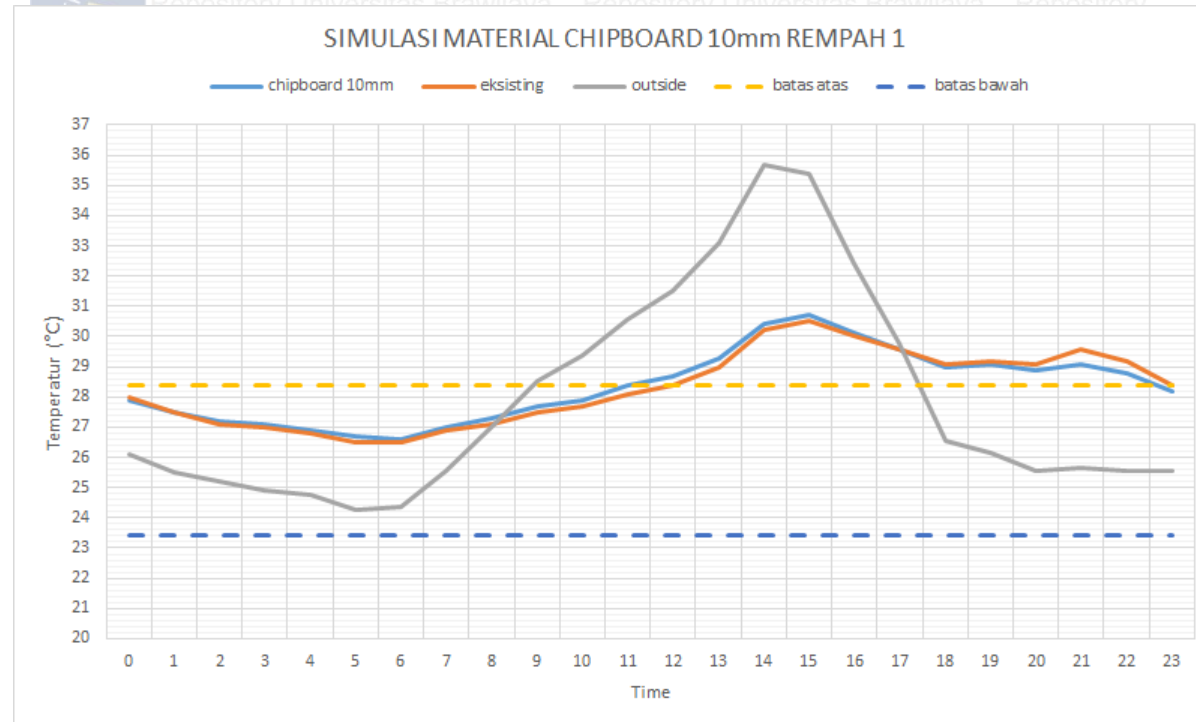


Gambar 4.53 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *cellulosic insulation* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *cellulosic insulation* dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 membuat suhu rata-rata selama 24 jam naik sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$, dan juga menaikkan rata-rata suhu selama rentang waktu efektif sebesar $0,42^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

5. Material Chipboard Perforated

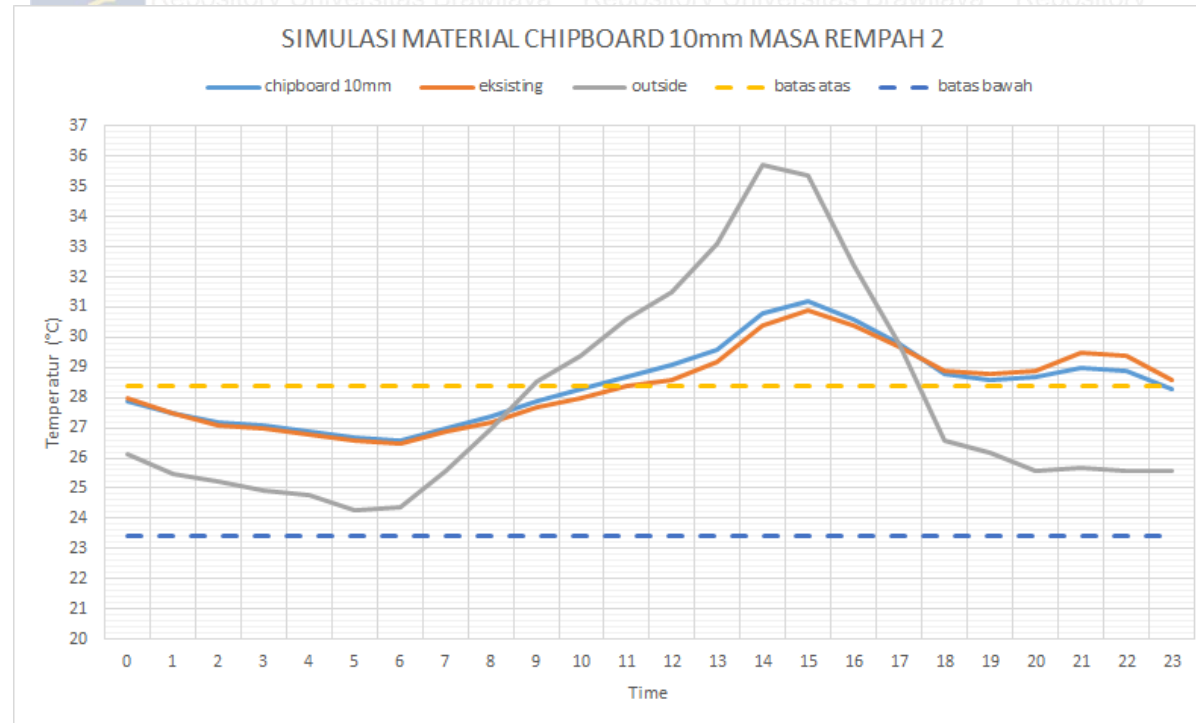
a. Massa rempah 1



Gambar 4.54 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *chipboard perforated* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material chipboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat suhu rata-rata selama 24 jam menjadi naik sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$ dan juga selama rentang waktu efektif sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b. Massa rempah 2

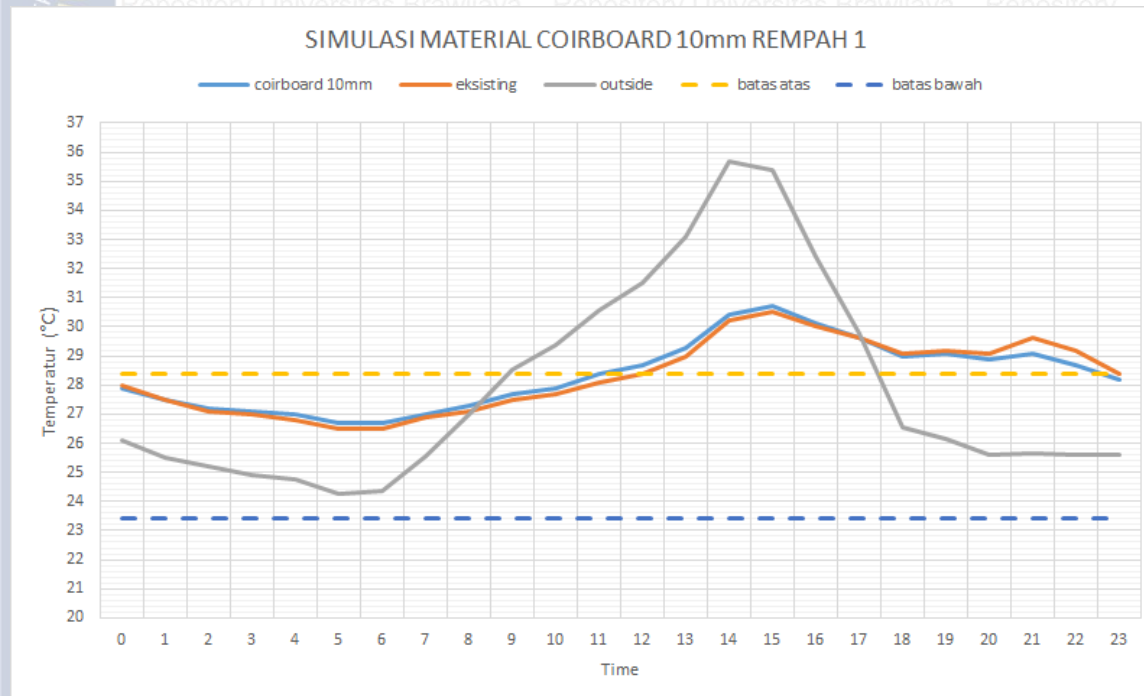


Gambar 4.55 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *chipboard perforated* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material chipboard perforated dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C dan juga selama rentang waktu efektif sebesar 0,19°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

6. Material Coirboard 10mm

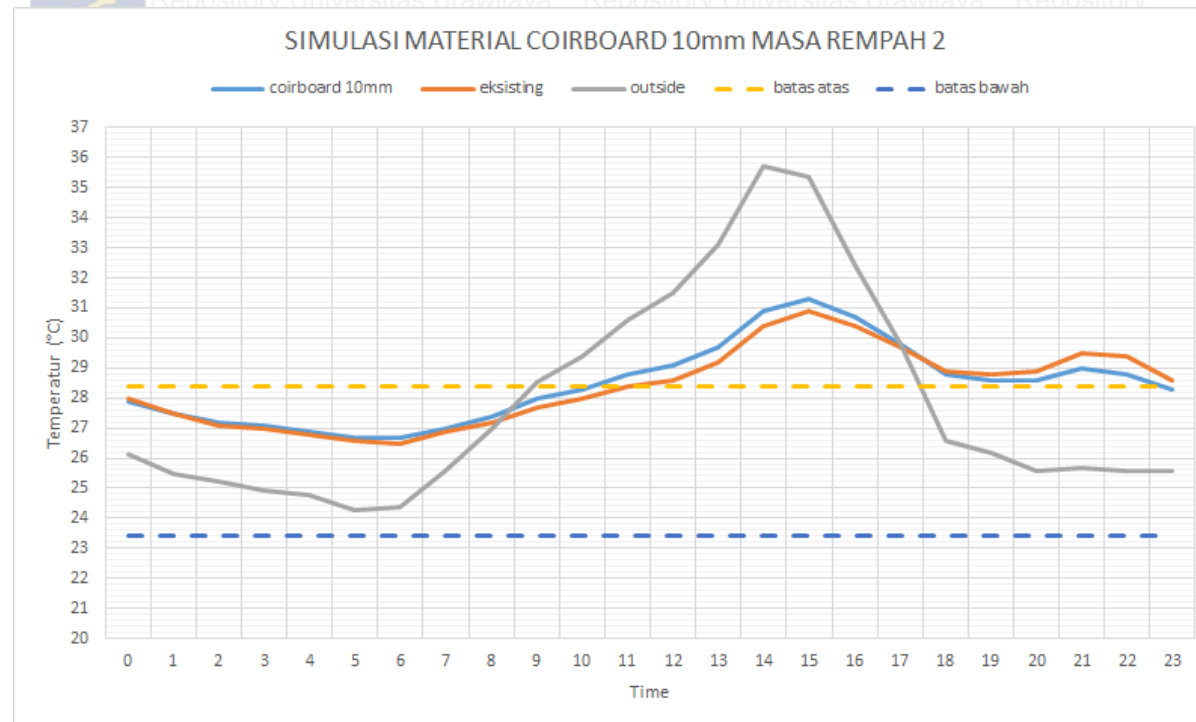
a. Massa rempah 1



Gambar 4.56 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *Coirboard* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material coirboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,05°C, dan juga selama rentang waktu efektif sebesar 0,2°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b. Massa rempah 2

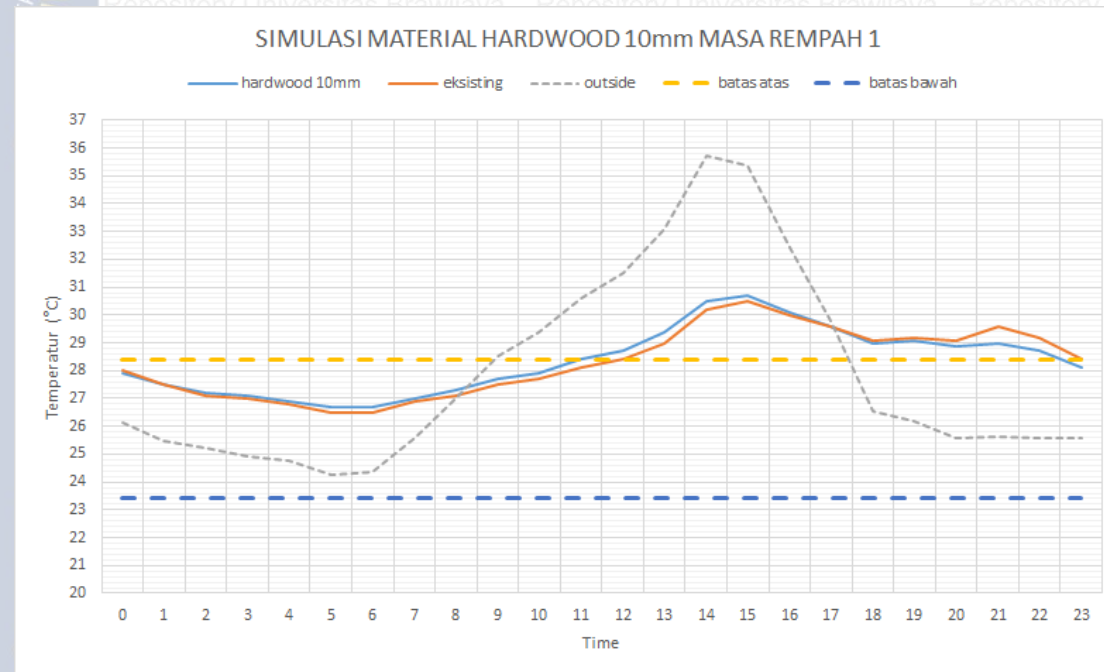


Gambar 4.57 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *Coirboard* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material coirboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,09°C, dan juga selama rentang waktu efektif sebesar 0,35°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

7. Material *hardwood*

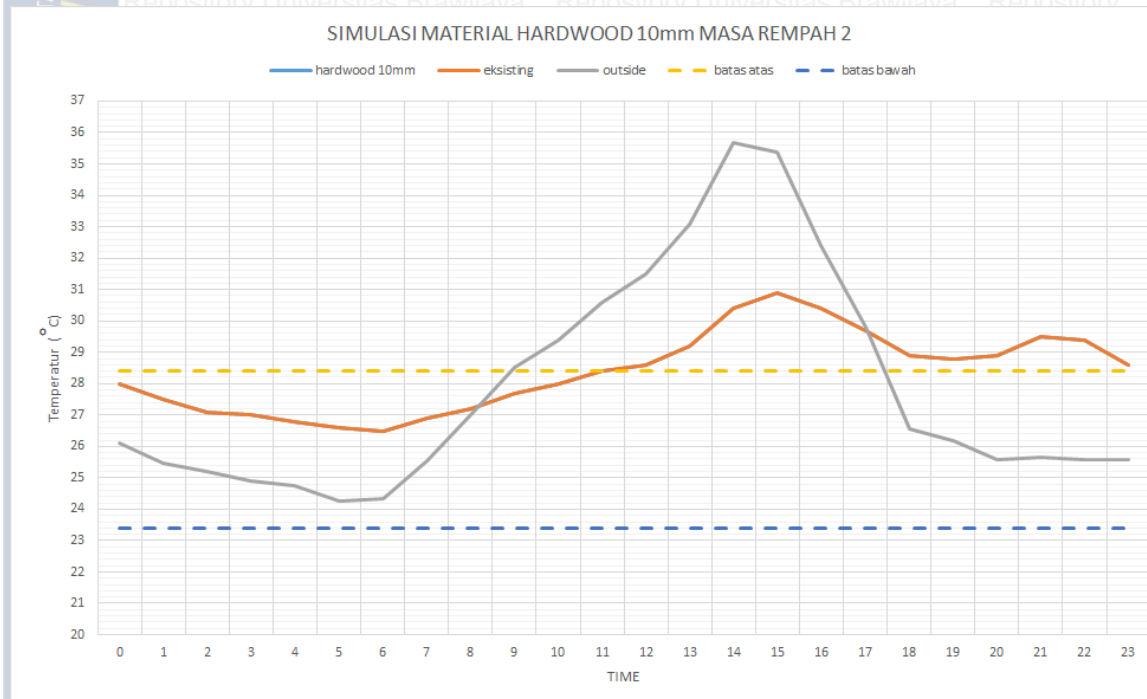
a. Massa rempah 1



Gambar 4.58 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *Hardwood* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *hardwood* dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,05^{\circ}\text{C}$ dan juga selama rentang waktu efektif sebesar $0,22^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11. Berikan nilai properties material pada selubung bangunan.

b. Massa rempah 2

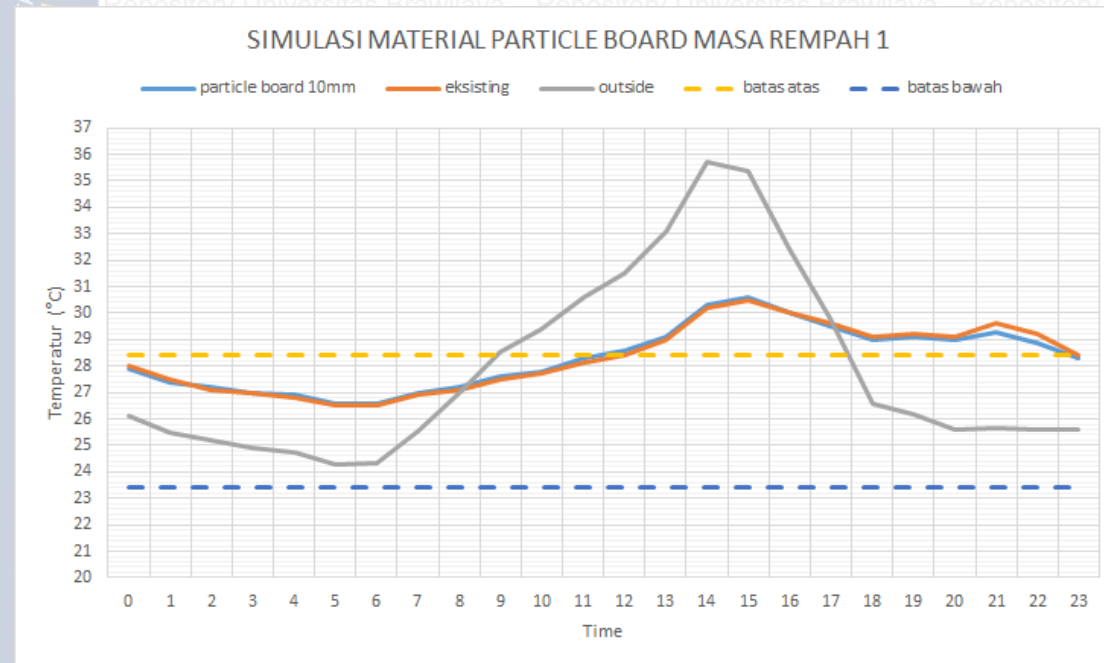


Gambar 4.59 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *Hardwood* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material hardwood dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 tidak memberikan perbedaan suhu rata-rata. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

8. Material Particle Board 10mm

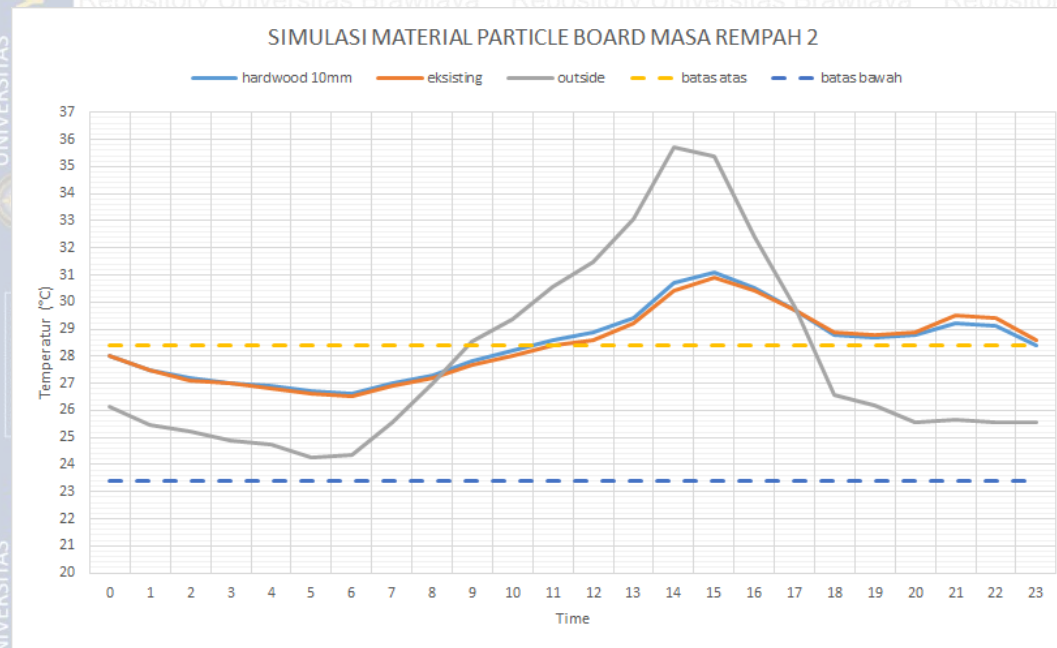
a. Massa rempah 1



Gambar 4.60 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *Particle board* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material particleboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,01°C dan juga selama rentang waktu efektif sebesar 0,09°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b. Massa rempah 2

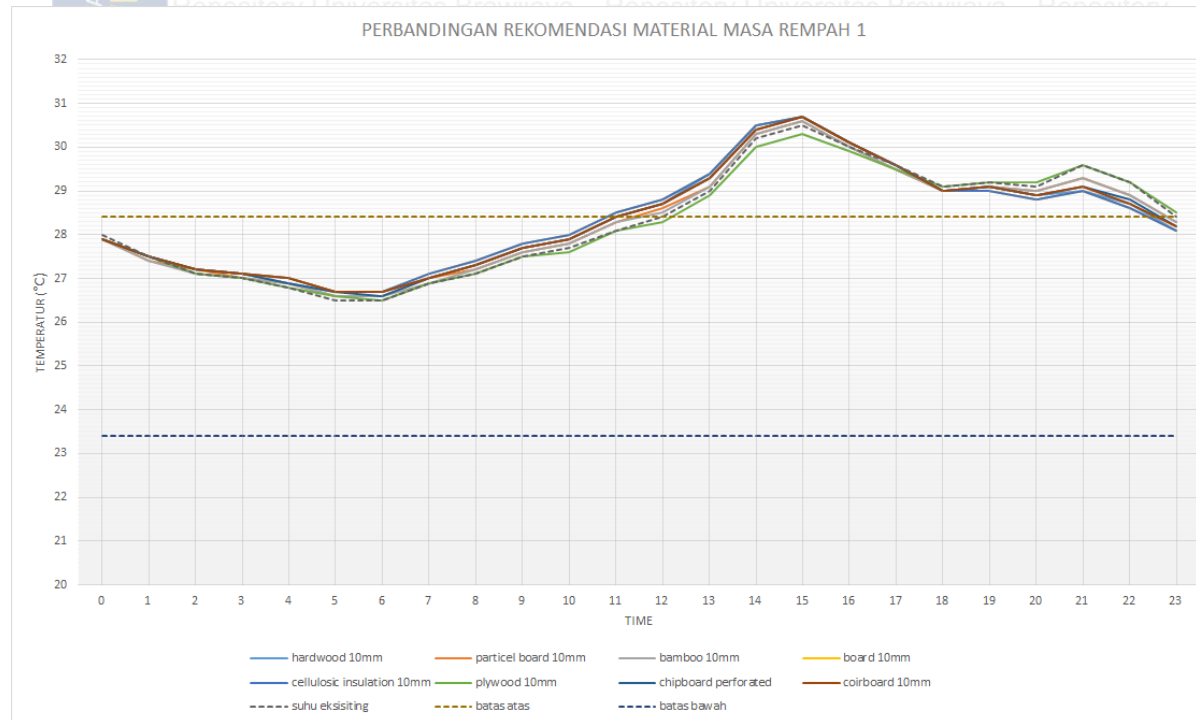


Gambar 4.61 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 1 material *Particle board* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material plywood dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 menyebabkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,05°C, dan juga selama rentang waktu efektif sebesar 0,17°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

Perbandingan Hasil Rekomendasi Desain

1. Massa rempah 1



Gambar 4.62 hasil simulasi desain tahap 1 masa rempah 1

Berdasarkan hasil simulasi dengan menambahkan beberapa material alami pada atap dan dinding dengan ketebalan 10mm di masa rempah 1, maka didapat hasil bahwa material yang mampu menurunkan suhu rata-rata eksisting adalah material plywood dengan penurunan suhu rata-rata sebesar 0,09°C, sedangkan material yang lainnya mengakibatkan kenaikan suhu dengan kenaikan paling besar ditemukan

pada material cellulosic insulation sebesar 0,27°C. Berdasarkan perhitungan standar suhu netral, maka pada bangunan rempah 1 rata-rata kenyamanan suhu yang terjadi pada jam efektif (08.00-17.00) terjadi pada pukul 8-11.

Tabel 4.5 Tabel hasil pengukuran suhu simulasi tahap 1

Material	Waktu																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
plywood 10mm	27,9	27,5	27,1	27	26,8	26,6	26,5	26,9	27,1	27,5	27,6	28,1	28,3	28,9	30	30,3	29,9	29,5	29,1	29,2	29,2	29,6	29,2	28,5
bamboo 10mm	27,9	27,4	27,1	27	26,9	26,6	26,6	26,9	27,2	27,6	27,8	28,3	28,5	29,1	30,3	30,6	30	29,5	29	29,1	29	29,3	28,9	28,3
particel board 10mm	27,9	27,4	27,2	27	26,9	26,6	26,6	27	27,2	27,6	27,8	28,3	28,6	29,1	30,3	30,6	30	29,5	29	29,1	29	29,3	28,9	28,3
chipboard perforated	27,9	27,5	27,2	27,1	26,9	26,7	26,6	27	27,3	27,7	27,9	28,4	28,7	29,3	30,4	30,7	30,1	29,6	29	29,1	28,9	29,1	28,8	28,2
coirboard 10mm	27,9	27,5	27,2	27,1	27	26,7	26,7	27	27,3	27,7	27,9	28,4	28,7	29,3	30,4	30,7	30,1	29,6	29	29,1	28,9	29,1	28,7	28,2
hardwood 10mm	27,9	27,5	27,2	27,1	26,9	26,7	26,7	27	27,3	27,7	27,9	28,4	28,7	29,4	30,5	30,7	30,1	29,6	29	29,1	28,9	29	28,7	28,1
board 10mm	27,9	27,5	27,2	27,1	27	26,7	26,7	27,1	27,4	27,8	28	28,5	28,8	29,4	30,5	30,7	30,1	29,6	29	29	28,8	29	28,6	28,1
cellulosic insulation 10mm	27,9	27,5	27,2	27,1	27	26,7	26,7	27,1	27,4	27,8	28	28,5	28,8	29,4	30,5	30,7	30,1	29,6	29	29	28,8	29	28,6	28,1
Material eksisiting	28	27,5	27,1	27	26,8	26,5	26,5	26,9	27,1	27,5	27,7	28,1	28,4	29	30,2	30,5	30	29,6	29,1	29,2	29,1	29,6	29,2	28,4

Tabel 4.6 Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 1 masa rempah 1

No.	Material	Rempah 1					
		Atap			Dinding		
		U-value (W/m ² K)	Admittence (W/m ² K)	Thermal Decrement	U-Value (W/m ² K)	Admittence (W/m ² K)	Thermal Decrement

1	Board	1,87	1,89	0,97	1,99	1,98	0,99
2	Cellulosic Insulation	1,91	1,93	0,97	2,04	2,03	0,99
3	Hardwood	2,06	2,08	0,97	2,21	2,2	0,99
4	Coirboard	2,1	2,12	0,97	1,94	1,93	0,99
5	Chipboard Perforated	2,29	2,33	0,97	2,47	2,46	1
6	Particle Board	2,71	2,8	0,97	2,97	2,97	0,99
7	Bambu	2,98	3,16	0,95	3,3	3,29	0,99
8	Plywoods	3,58	3,67	0,97	3,13	3,13	0,99

Dari
hasil

perhitungan *thermal properties material* pada lapisan atap dan dinding massa Rempah 1 didapat bahwa material yang memiliki *u-value* paling kecil atau paling baik dalam mematahkan laju panas adalah material *Board* dengan nilai *thermal properties material* atap ; *u-value* 1,87 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,89 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,97, dan nilai *thermal properties material* dinding ; *u-value* 1,99 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,98 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,99.

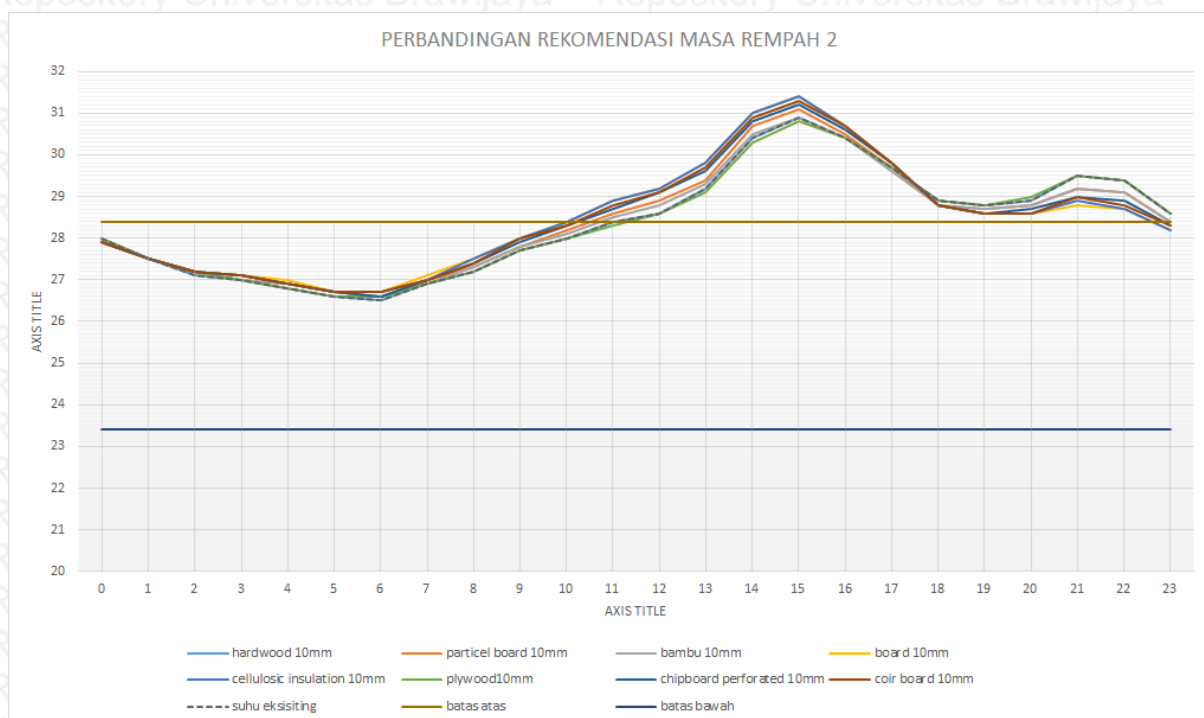
a) Temperatur Puncak

Pada **Tabel 4.5** menunjukkan hasil simulasi pada beberapa material di massa rempah 1. Temperatur puncak masing-masing material terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 15.00, hal ini juga terjadi pada material eksisting, hal ini menandakan bahwa masing-masing material memiliki *decrement factor* yang relatif sama. Namun terjadi perbedaan besaran temperatur puncak, dimana temperatur puncak terendah ditemukan material *plywood*, hal ini diakibatkan material *plywood* memiliki nilai *u-value* yang paling tinggi, sehingga dapat menurunkan suhu lebih baik dari material lain.

b) Durasi *comfort* dan *Overheated*

Kondisi *comfort* adalah keadaan dimana temperatur ruang berada di zona suhu netral dimana pada perhitungan suhu netral kota karanganyar memiliki besaran temperatur sebesar $25,9^{\circ}\text{C}$ dengan ambang batas atas $2,5^{\circ}\text{C}$ yaitu sebesar $28,4^{\circ}\text{C}$ dan ambang batas bawah $2,5^{\circ}\text{C}$ yaitu sebesar $23,4^{\circ}\text{C}$. kondisi *Overheated* keadaan dimana temperatur ruang berada di atas ambang batas atas suhu netral. Pada **Tabel 4.5** durasi *comfort* paling lama terjadi pada material *plywood* yang berlangsung selama 5 jam dari pukul 08.00 – 12.00, sedangkan Kondisi *overheated* paling lama terjadi pada material *board* dan *cellulosic insulation* yang dimulai pada pukul 11.00 – 17.00. Hal ini disebabkan karena material plywood memiliki nilai u-value dan density yang paling tinggi.

2. Massa rempah 2



Gambar 4.63 hasil simulasi desain tahap 1 masa rempah 2

Berdasarkan hasil simulasi dengan menambahkan beberapa material alami pada atap dan dinding dengan ketebalan 10mm di masa rempah 2, maka didapat hasil bahwa material yang mampu menurunkan suhu rata-rata eksisting adalah material plywood dengan penurunan suhu rata-rata sebesar $0,04^{\circ}\text{C}$, sedangkan material yang lainnya mengakibatkan kenaikan suhu dengan kenaikan paling besar ditemukan pada material cellululosic insulation sebesar $0,42^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan perhitungan standar suhu netral, maka pada bangunan rempah 2

rata-rata kenyamanan suhu yang terjadi pada jam efektif (08.00-17.00) terjadi pada pukul 8-10.

Tabel 4.7 Tabel hasil pengukuran suhu simulasi tahap 1 massa rempah 2

Material				3	Waktu																			23
	0	1	2		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Plywood 10mm	28	27,5	27,2	27	26,8	26,6	26,6	26,9	27,2	27,7	28,3	28,6	29,1	29,3	30,8	30,4	29,7	28,9	28,8	29	29,5	29,4	28,6	
hardwood 10mm	28	27,5	27,1	27	26,8	26,6	26,5	26,9	27,2	27,7	28,4	28,6	29,2	29,4	30,9	30,4	29,7	28,9	28,8	28,9	29,5	29,4	28,6	
bambu 10mm	27,9	27,5	27,2	27	26,9	26,7	26,6	26,9	27,3	27,8	28,1	28,5	28,8	29,3	30,5	30,9	29,4	28,8	28,7	28,8	29,2	29,1	28,4	
particel board 10mm	28	27,5	27,2	27	26,9	26,7	26,6	27	27,3	27,8	28,2	28,6	29,1	29,4	30,7	31,1	30,5	29,7	28,8	28,7	28,8	29,2	29,1	28,4
chipboard perforate d 10mm	27,9	27,5	27,2	27	26,9	26,7	26,6	27	27,4	27,9	28,3	28,7	29,2	29,4	30,8	31,2	30,6	29,8	28,8	28,6	28,7	29	28,9	28,3
coir board 10mm	27,9	27,5	27,2	27	26,9	26,7	26,6	27	27,4	28,3	28,8	28,9	29,1	29,7	30,9	31,3	30,7	29,8	28,8	28,6	28,7	29	28,9	28,3
board 10mm	27,9	27,5	27,2	27	26,9	26,7	26,6	27	27,4	28,3	28,8	28,9	29,1	29,7	31,3	31,4	30,7	29,8	28,8	28,6	28,7	29	28,9	28,3
cellulosic insulation 10mm	27,9	27,5	27,2	27	26,9	26,7	26,6	27	27,4	28,3	28,8	28,9	29,1	29,7	31,3	31,4	30,7	29,8	28,8	28,6	28,7	29	28,9	28,3
Material eksisiting	28	27,5	27,1	27	26,8	26,6	26,5	26,9	27,2	27,7	28,3	28,6	29,1	29,3	30,8	30,4	29,7	28,9	28,8	28,9	29,5	29,4	28,6	

Tabel 4.8 Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 1 masa rempah 2

No.	Material	Rempah 2					
		Atap			Dinding		
		U-value (W/m ² K)	Admittence (W/m ² K)	Thermal Decrement	U-Value (W/m ² K)	Admit-tence (W/m ² K)	Thermal Decrement
1	Board	1,87	1,89	0,97	1,5	1,85	0,81

2	Cellulosic Insulation	1,91	1,93	0,97	1,53	1,86	0,82
3	Hardwood	2,06	2,08	0,97	1,62	2,02	0,83
4	Coirboard	2,1	2,12	0,97	1,47	1,78	0,81
5	Chipboard Perforated	2,29	2,33	0,97	1,76	2,26	0,84
6	Particle Board	2,71	2,8	0,97	2	2,7	0,85
7	Bambu	2,98	3,16	0,95	2,14	3	0,86
8	Plywoods	3,58	3,67	0,97	2,7	2,87	0,86

Dari hasil perhitungan *thermal properties material* pada lapisan atap dan dinding massa Rempah 2 didapat bahwa material yang memiliki u-value paling kecil atau paling baik dalam mematahkan laju panas adalah material *Board* dengan nilai *thermal properties material* atap ; u-value 1,87 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,89 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,97, dan nilai *thermal properties material* dinding ; u-value 1,5 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,85 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,97.

a) Temperatur Puncak

Pada **Tabel 4.7** menunjukkan hasil simulasi pada beberapa material di massa rempah 2. Temperatur puncak masing-masing material terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 15.00, hal ini juga terjadi pada material eksisting, hal ini menandakan bahwa masing-masing material memiliki *decrement factor* yang relatif sama. Besaran temperatur puncak tertinggi terjadi pada material cellulosic dan board, hal ini dikarenakan material tersebut memiliki u-value terendah yaitu board; 1,87(W/m²K), cellulosic; 1,91 (W/m²K).

b) Durasi *comfort* dan *Overheated*

Kondisi *comfort* adalah keadaan dimana temperatur ruang berada di zona suhu netral dimana pada perhitungan suhu netral kota karanganyar memiliki besaran temperatur sebesar 25,9°C dengan ambang batas atas 2,5°C yaitu sebesar 28,4°C dan ambang batas bawah

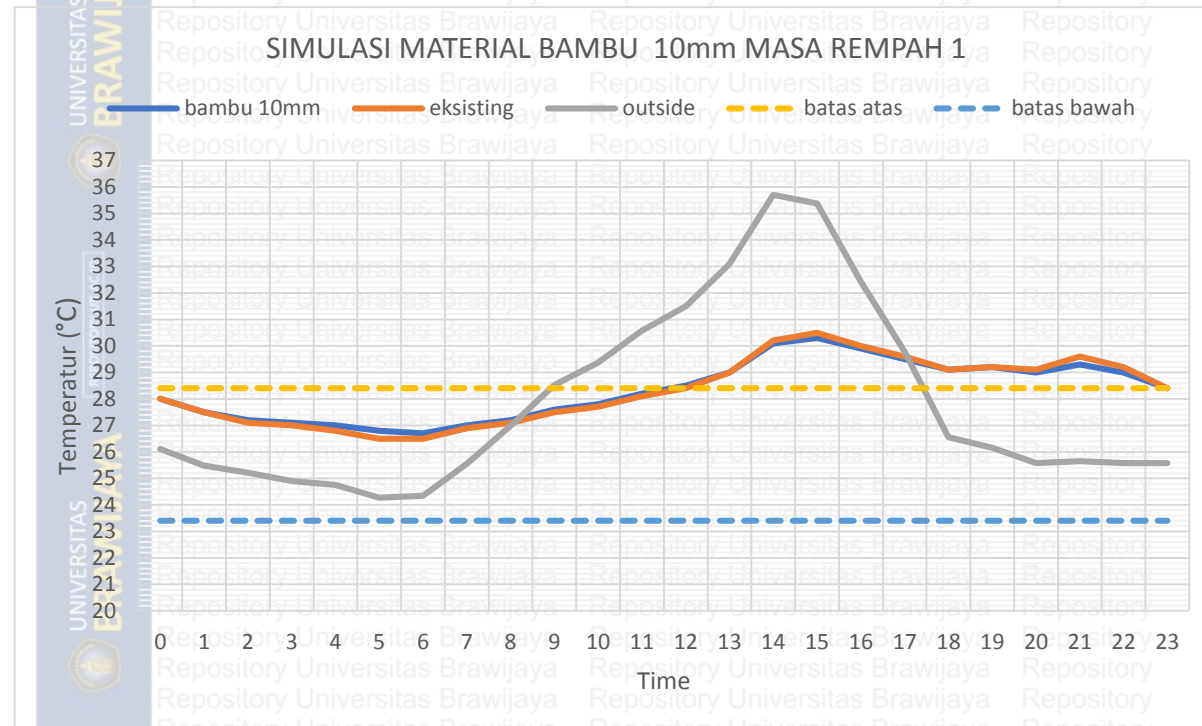
2,5°C yaitu sebesar 23,4°C. kondisi *Overheated* keadaan dimana temperatur ruang berada di atas ambang batas atas suhu netral. Pada **Tabel 4.7** kondisi *comfort* dan *overheated* ditentukan dari perhitungan suhu netral. Durasi *comfort* paling lama terjadi pada material *plywood* dan *hardwood* yang berlangsung selama 4 jam dari pukul 08.00 – 11.00, sedangkan Kondisi *overheated* paling lama terjadi pada material *board* dan *cellulosic insulation* yang dimulai pada pukul 11.00 – 17.00. Hal ini disebabkan karena material *plywood* dan *hardwood* memiliki nilai *u-value* yang tinggi.

B. Tahap kedua

Tahap kedua berupa modifikasi material dengan menggunakan metode penambahan lapisan material pada selubung atap dan dinding, yaitu dinding sisi timur pada rempah 1, dan sisi barat pada rempah 2. Perbedaan dengan modifikasi pertama adalah penambahan lapisan material ini diletakkan di bagian luar. Terdapat 8 material pilihan yang akan disimulasikan, masing-masing memiliki ketebalan yang sama yaitu 10mm.

1. Penambahan material bambu 10mm

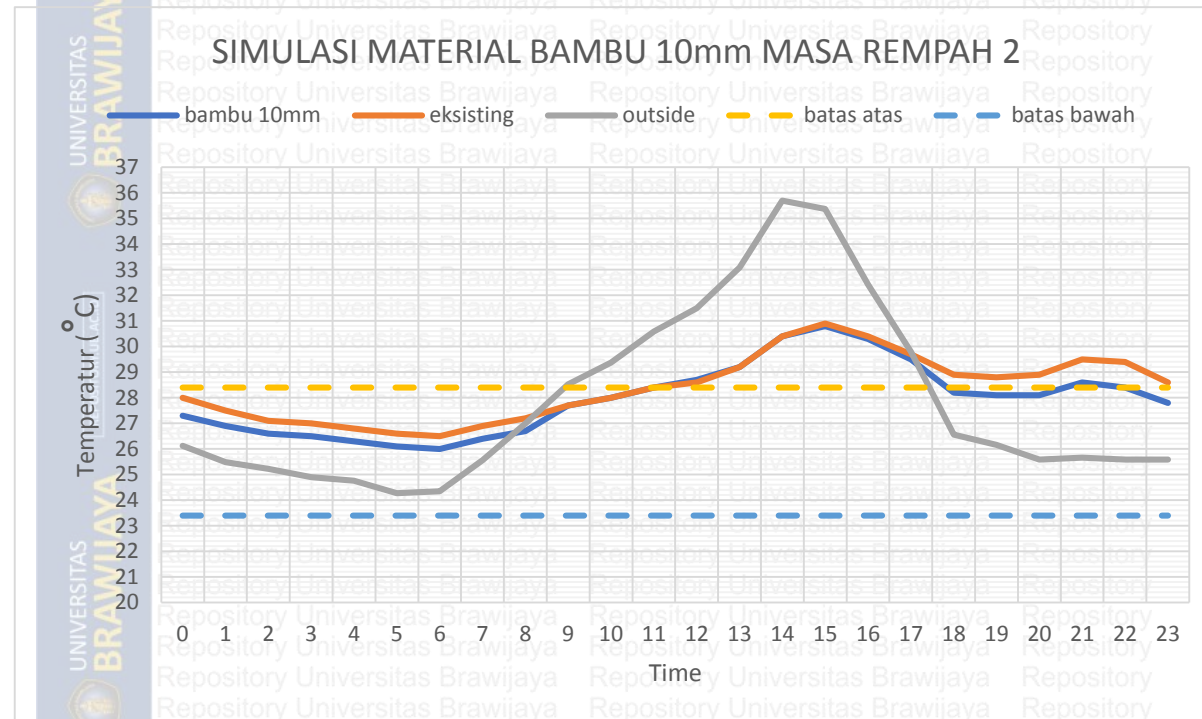
a) Massa rempah 1



Gambar 4.64 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material bambu pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material bambu dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 tidak memberikan perbedaan, rata-rata temperatur antara material simulasi dengan eksisting selama 24 jam adalah 28,3°C, begitu juga dengan temperatur rata-rata selama waktu efektif (08.00-17.00) adalah 28,81. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif, kondisi kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

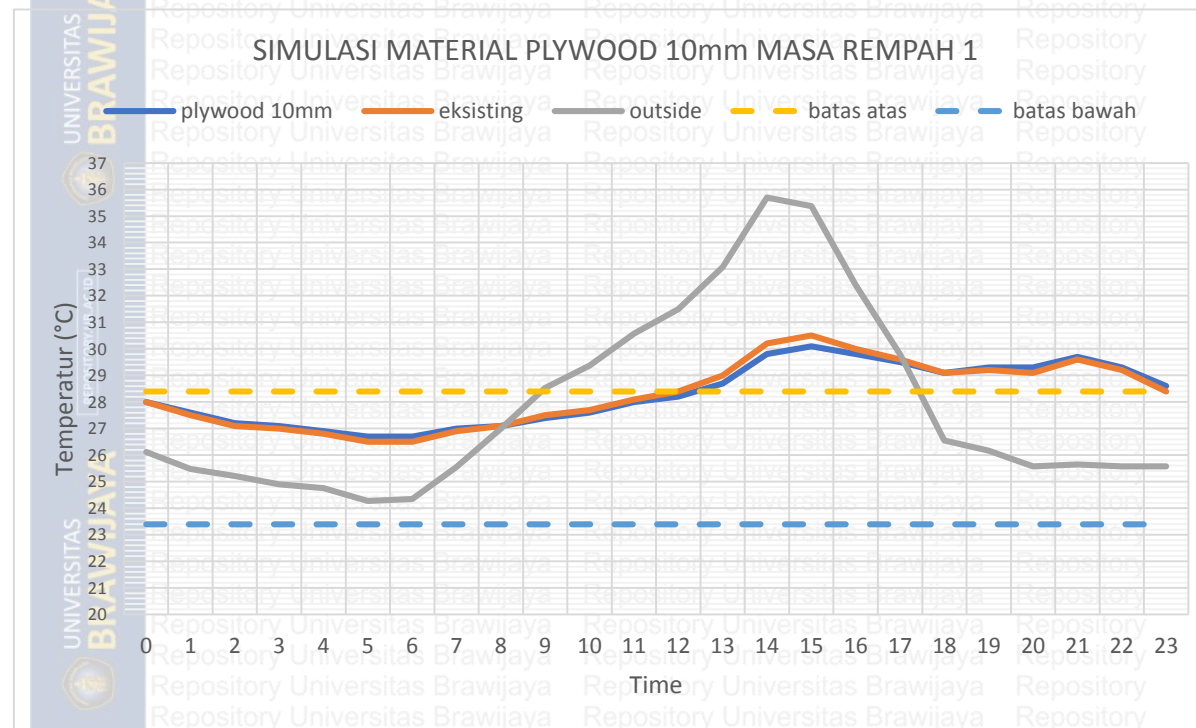


Gambar 4.65 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material bambu pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material bambu dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,4^{\circ}\text{C}$, sedangkan selama rentang waktu efektif berhasil menurunkan temperatur rata-rata sebesar $0,08^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

2. Material Plywoods 10mm

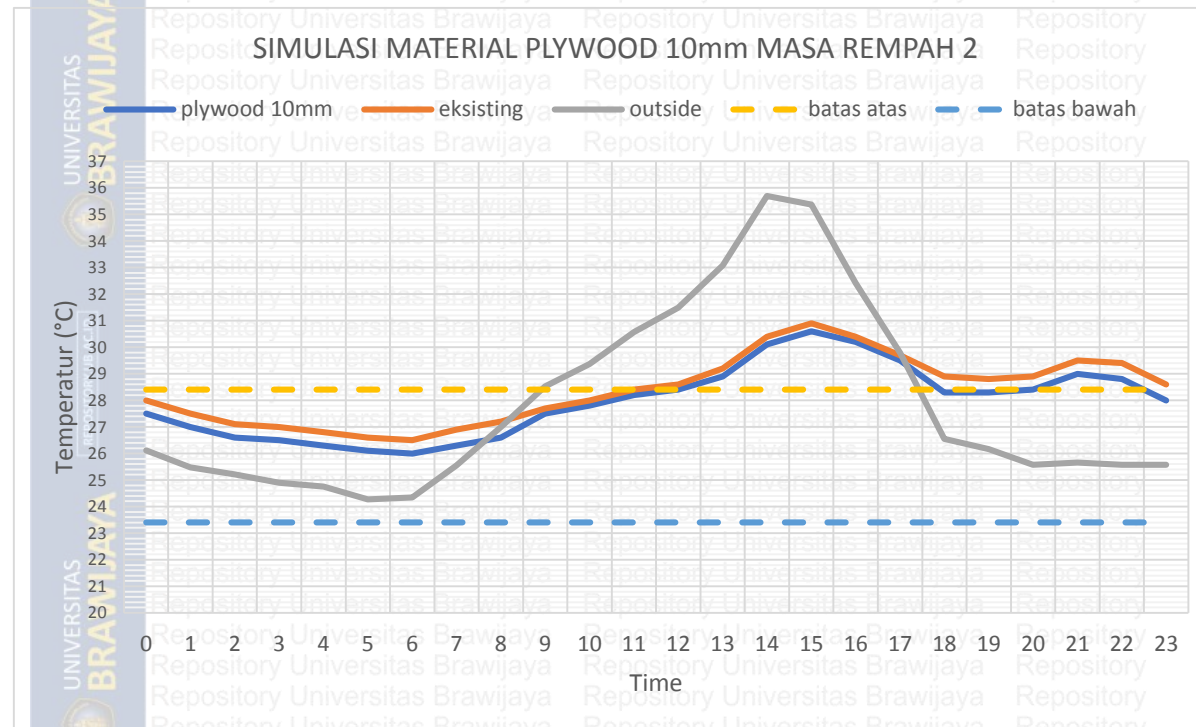
a) Massa rempah 1



Gambar 4.66 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material plywood pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material plywood dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,01^{\circ}\text{C}$ dan selama rentang waktu efektif sebesar $0,19^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-12.

b) Massa rempah 2

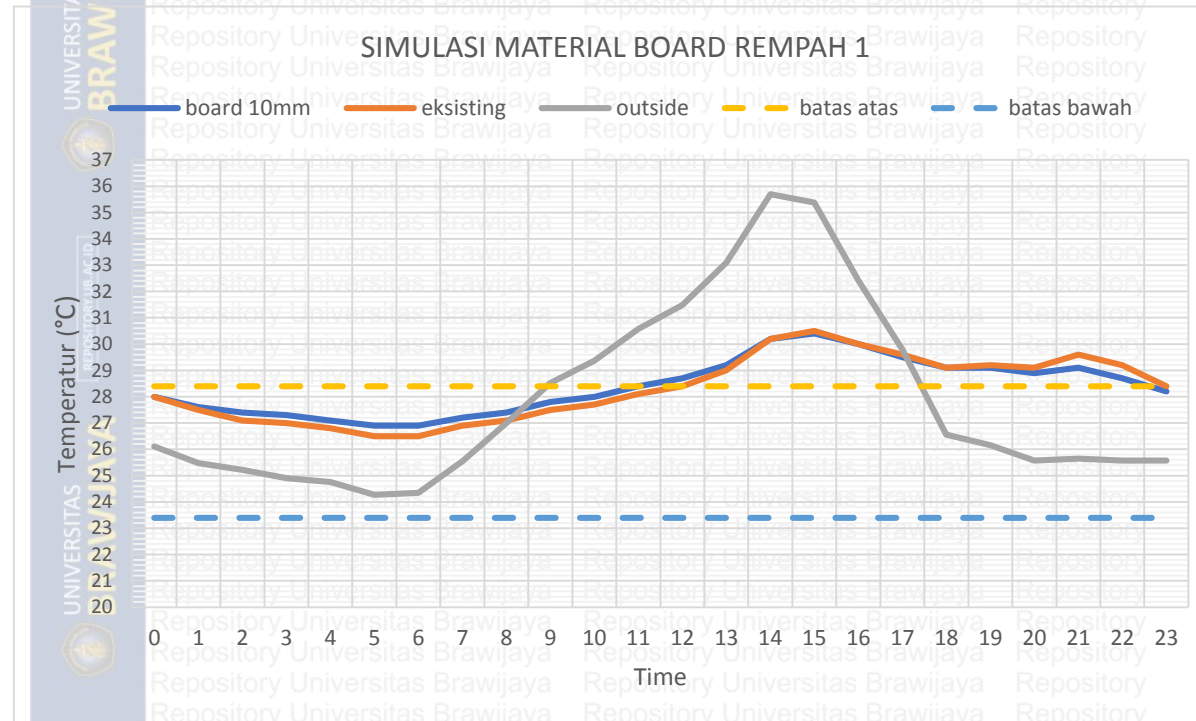


Gambar 4.67 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *plywood* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material plywood dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C dan mampu menurunkan suhu rata-rata selama waktu efektif sebesar 0,27°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-12.

3. Material Board 10mm

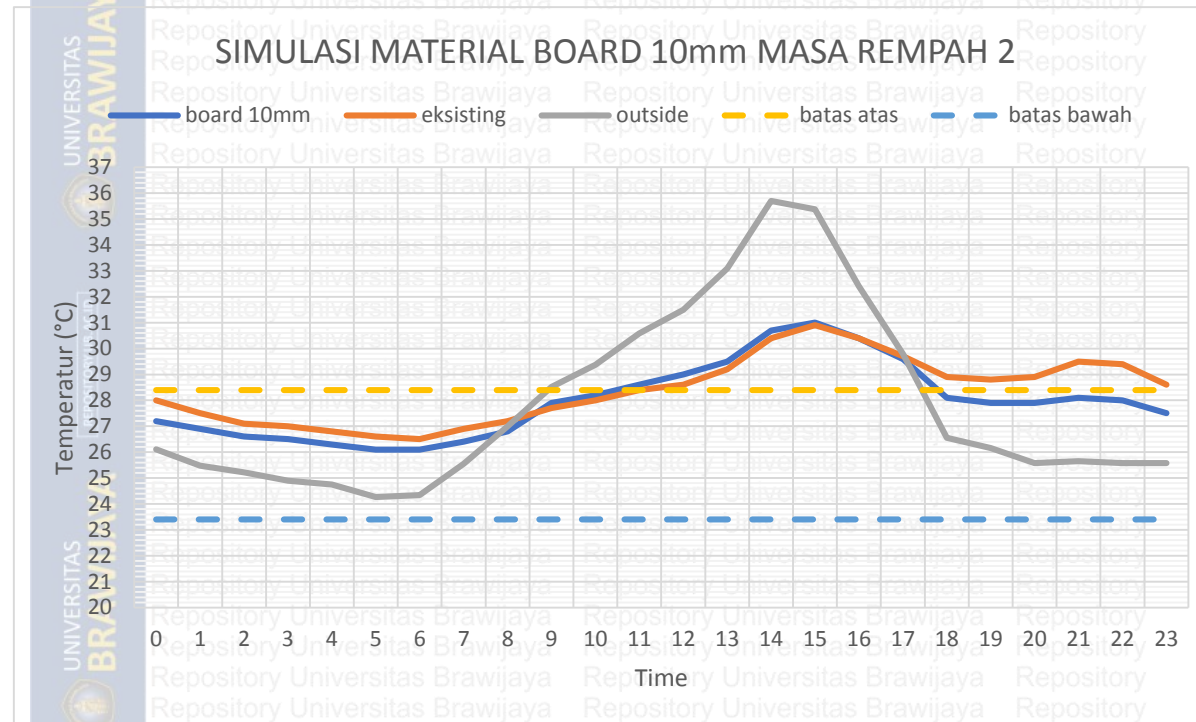
a) Massa rempah 1



Gambar 4.68 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material board pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material board dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat suhu rata-rata selama 24 jam dan selama waktu efektif menjadi naik sebesar 0,1°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

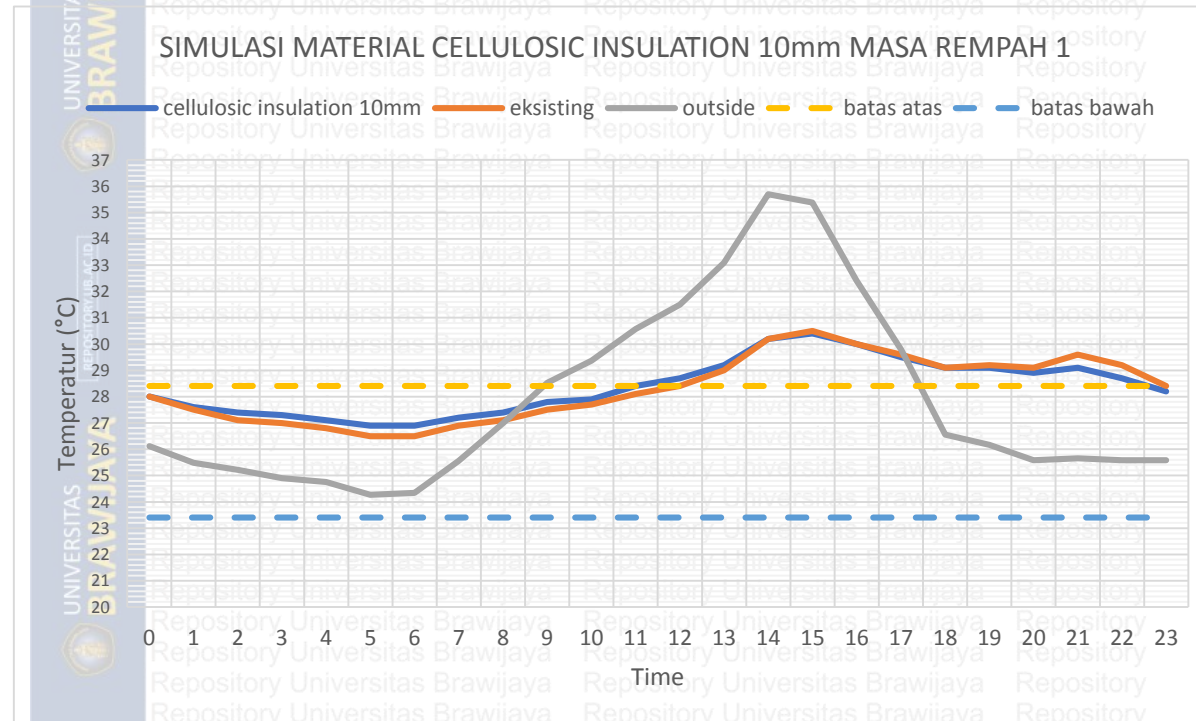


Gambar 4.69 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material board pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material board dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam menjadi 0,4°C, namun menaikkan suhu rata-rata selama rentang waktu efektif sebesar 0,12°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) kondisi kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

4. Material Cellulosic Insulation

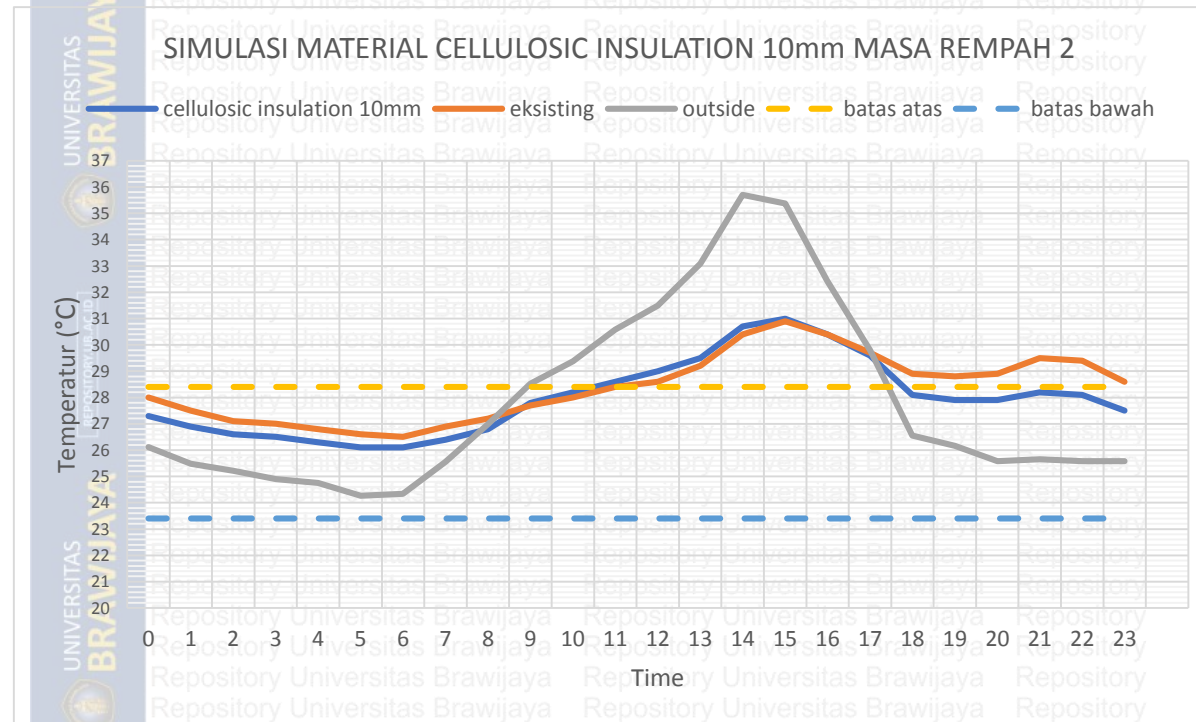
a) Massa rempah 1



Gambar 4.70 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *cellulosic insulation* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material Cellulosic insulation dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat suhu rata-rata selama 24 jam naik sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$ dan menaikkan suhu rata-rata waktu efektif sebesar $0,14^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

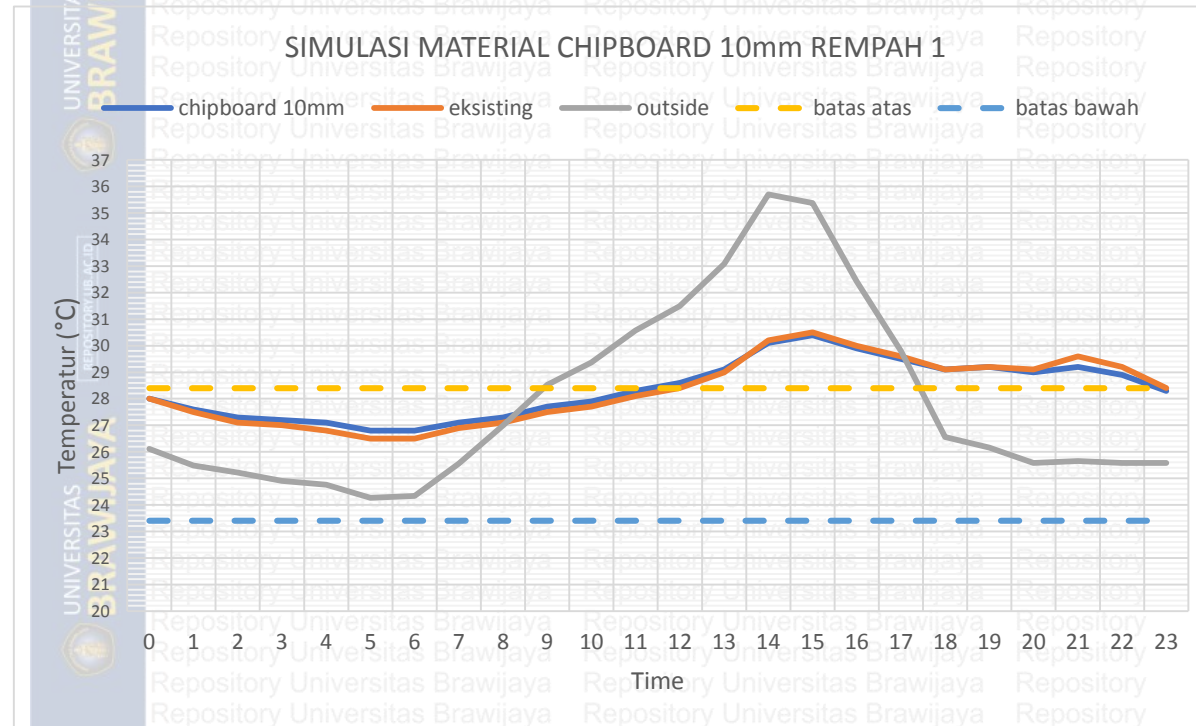


Gambar 4.71 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *cellulosic insulation* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *cellulosic insulation* dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C, namun menaikkan suhu rata-rata waktu efektif sebesar 0,1°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

5. Material Chipboard Perforated

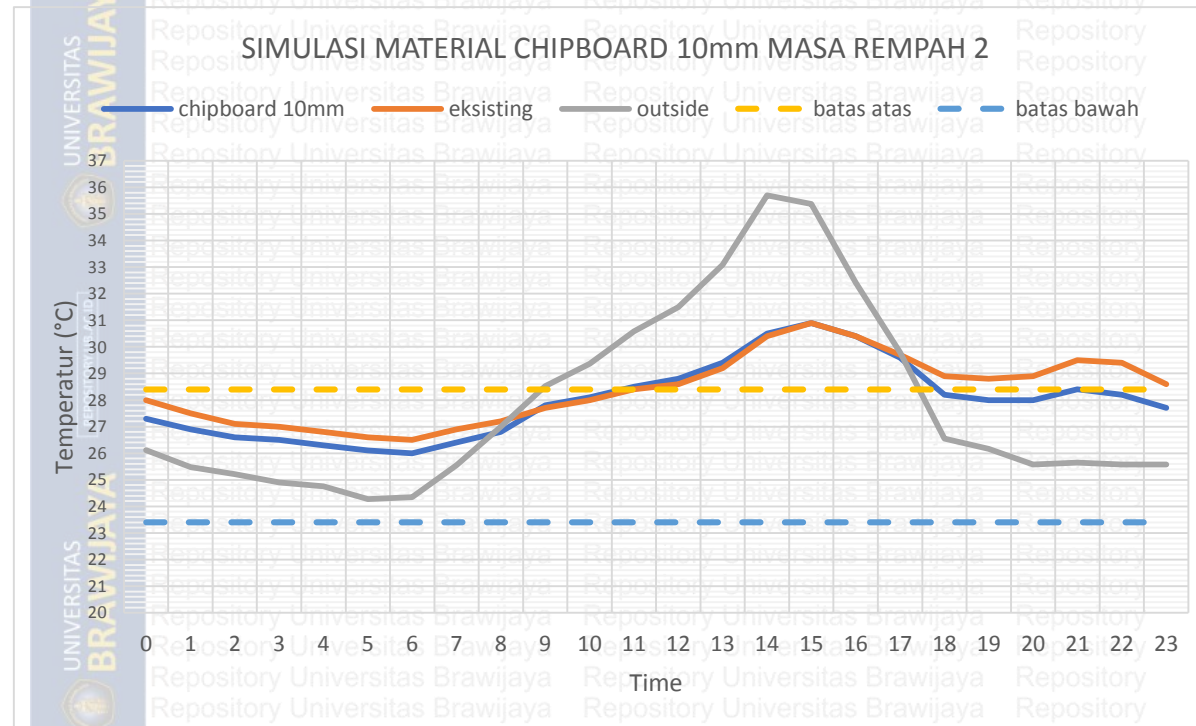
a) Massa rempah 1



Gambar 4.72 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *chipboard perforated* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material chipboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat temperatur rata-rata selama 24 jam naik sebesar 0,06°C, dan juga menaikkan temperatur selama rentang waktu efektif sebesar 0,07°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

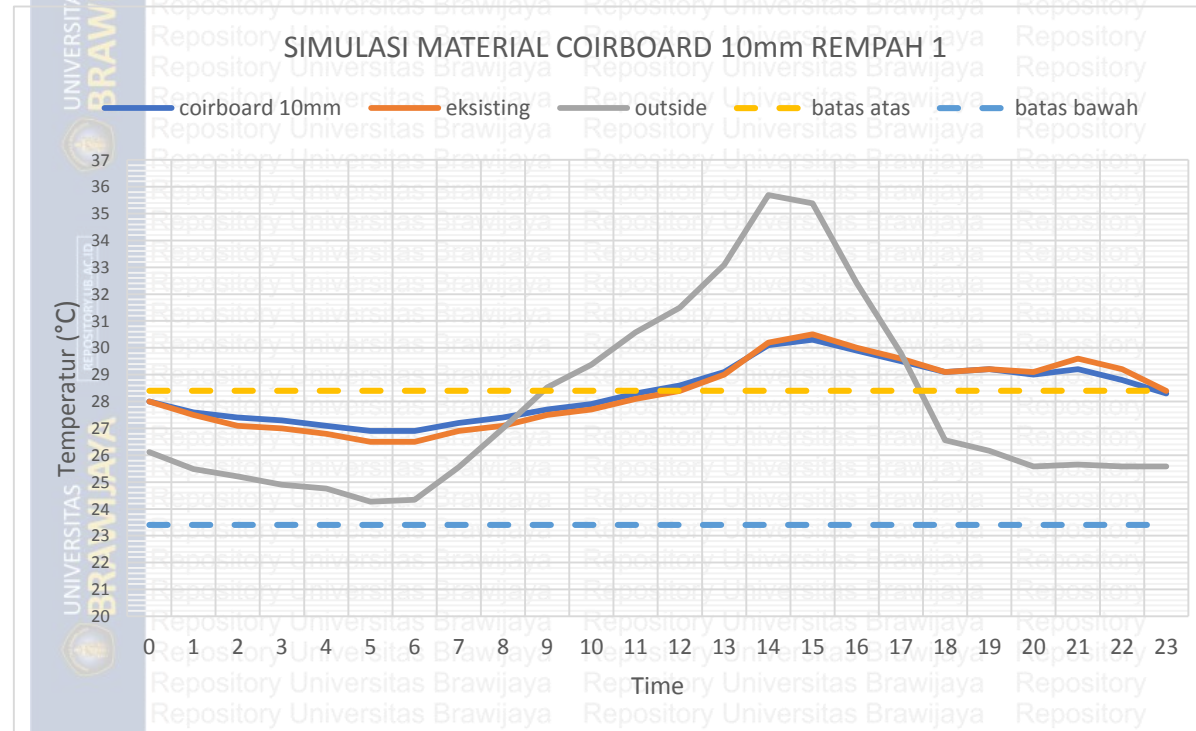


Gambar 4.73 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *chipboard perforated* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material chipboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C, namun selama rentang waktu efektif justru menaikkan suhu rata-rata sebesar 0,03°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

6. Material Coirboard 10mm

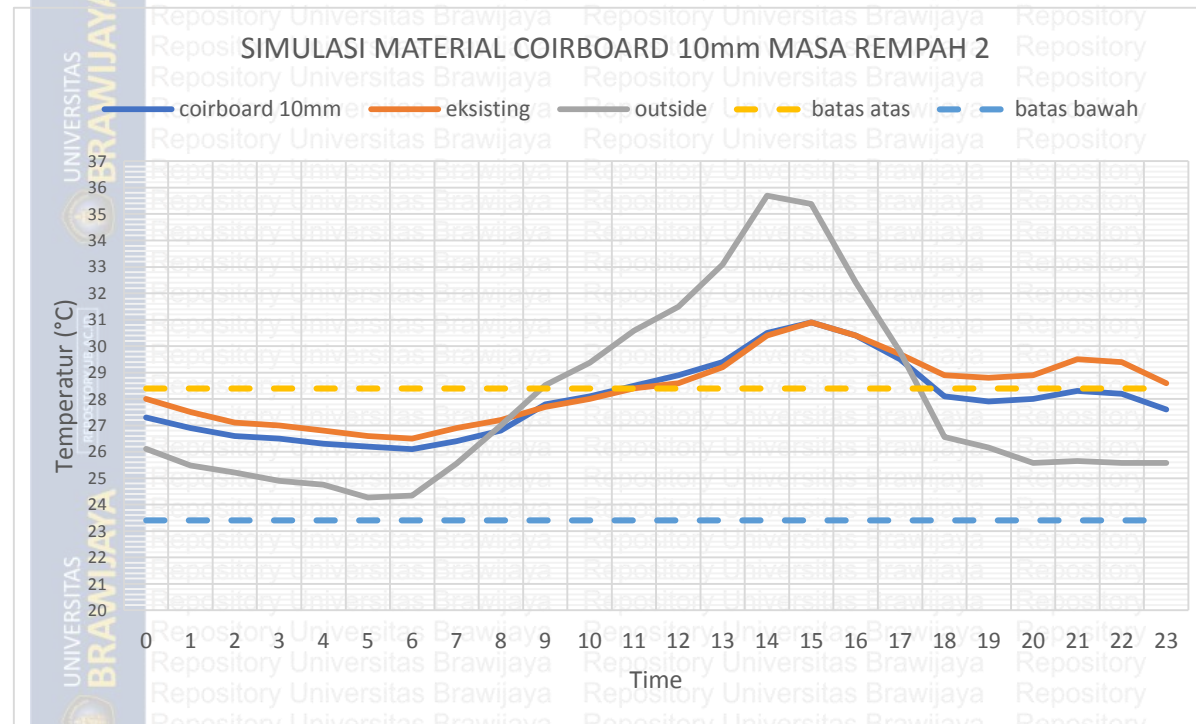
a) Massa rempah 1



Gambar 4.74 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *Coirboard* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material coirboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata baik selama 24 jam maupun selama waktu efektif sebesar 0,07°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

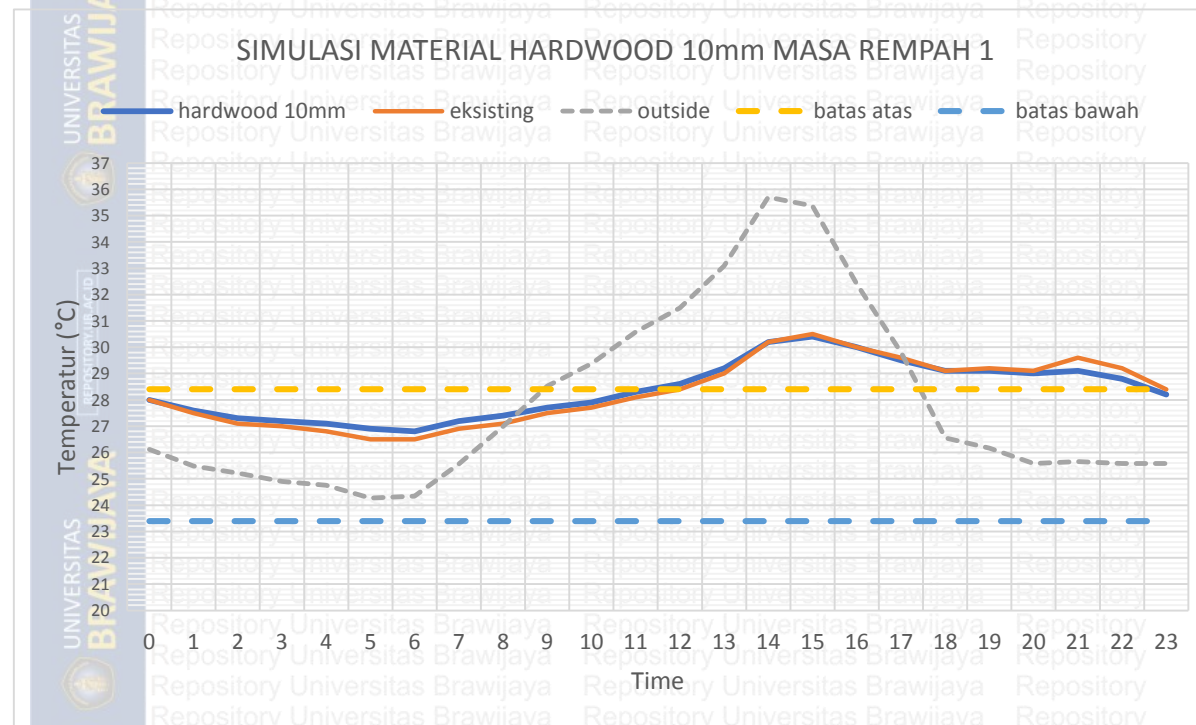


Gambar 4.75 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material Coirboard pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material coirboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,41°C, namun menaikkan rata-rata temperatur rentang waktu efektif sebesar 0,03°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

7. Material *hardwood*

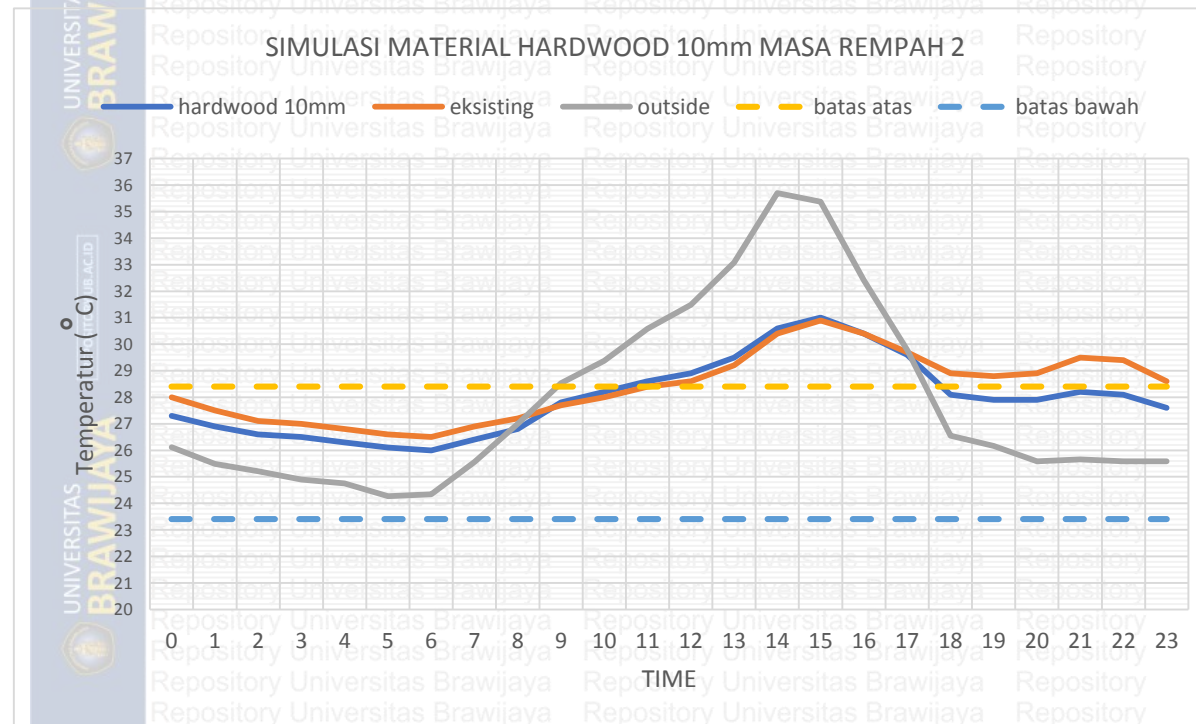
a) Massa rempah 1



Gambar 4.76 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *Hardwood* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *hardwood* dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,07^{\circ}\text{C}$, begitu juga selama rentang waktu efektif sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

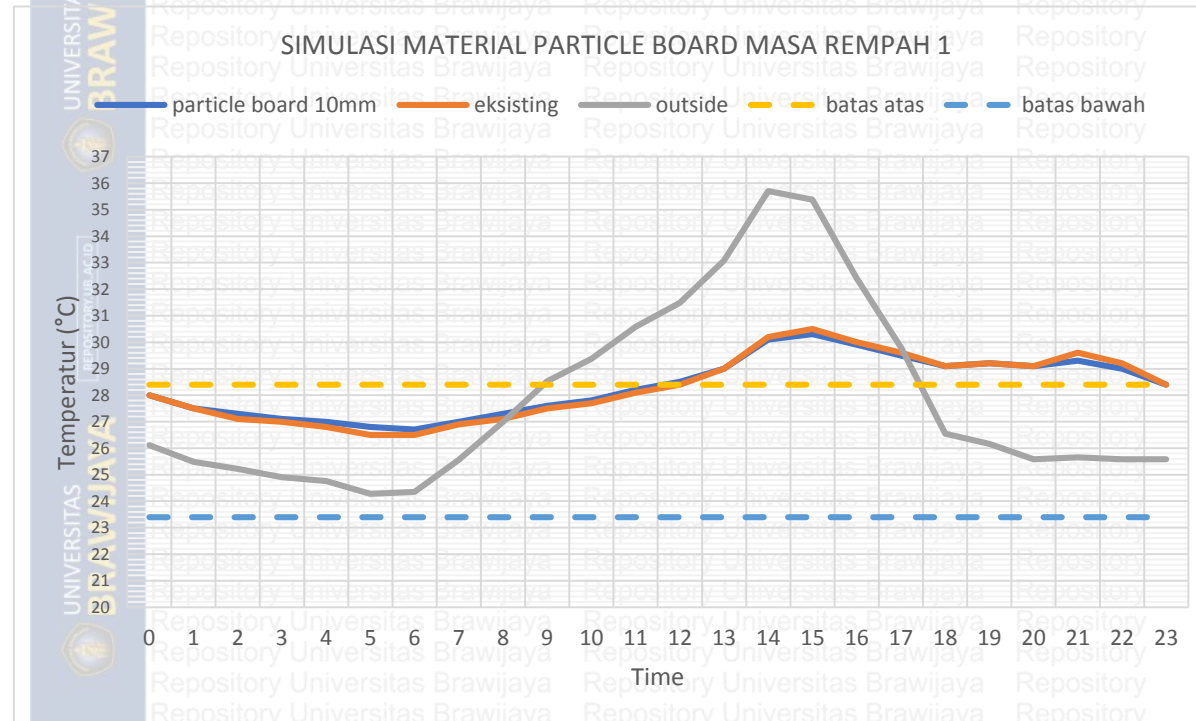


Gambar 4.77 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *Hardwood* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *hardwood* dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan temperatur rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C, namun sebaliknya mengakibatkan kenaikan temperatur rata-rata pada rentang waktu efektif sebesar 0,1°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

8. Material Particle Board 10mm

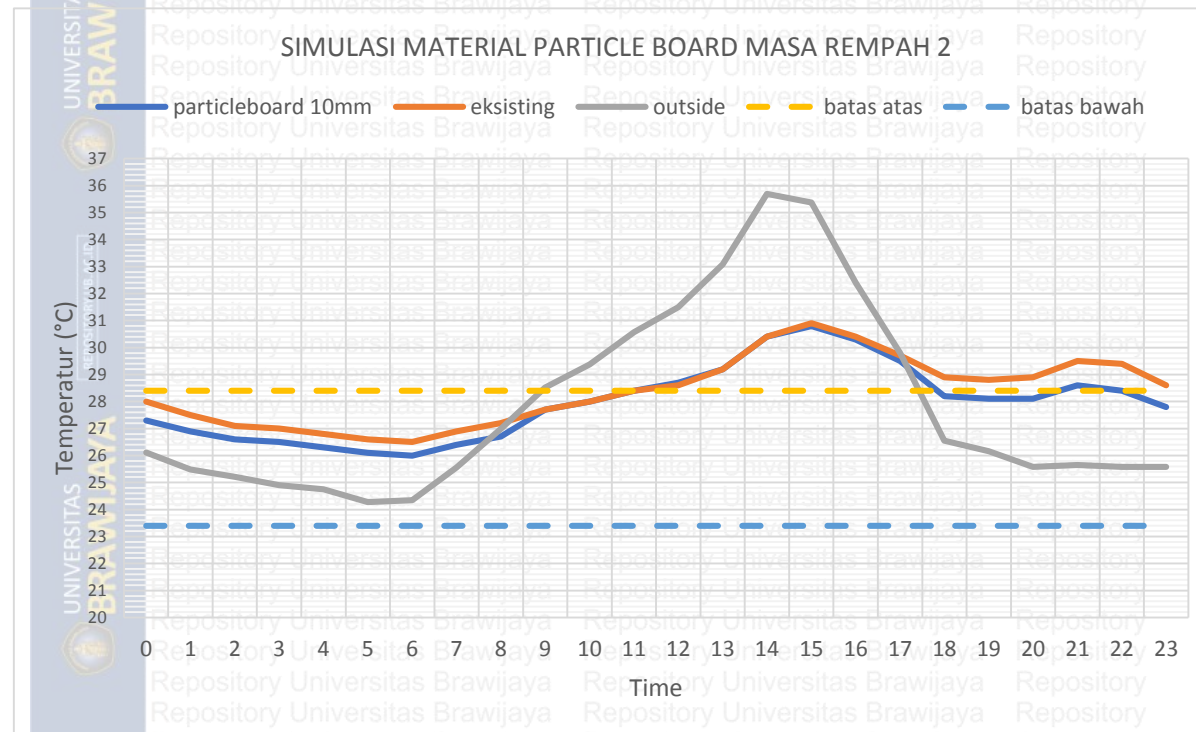
a) Massa rempah 1



Gambar 4.78 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *Particle board* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material particleboard dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,03°C, dan selama rentang waktu efektif sebesar 0,01°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

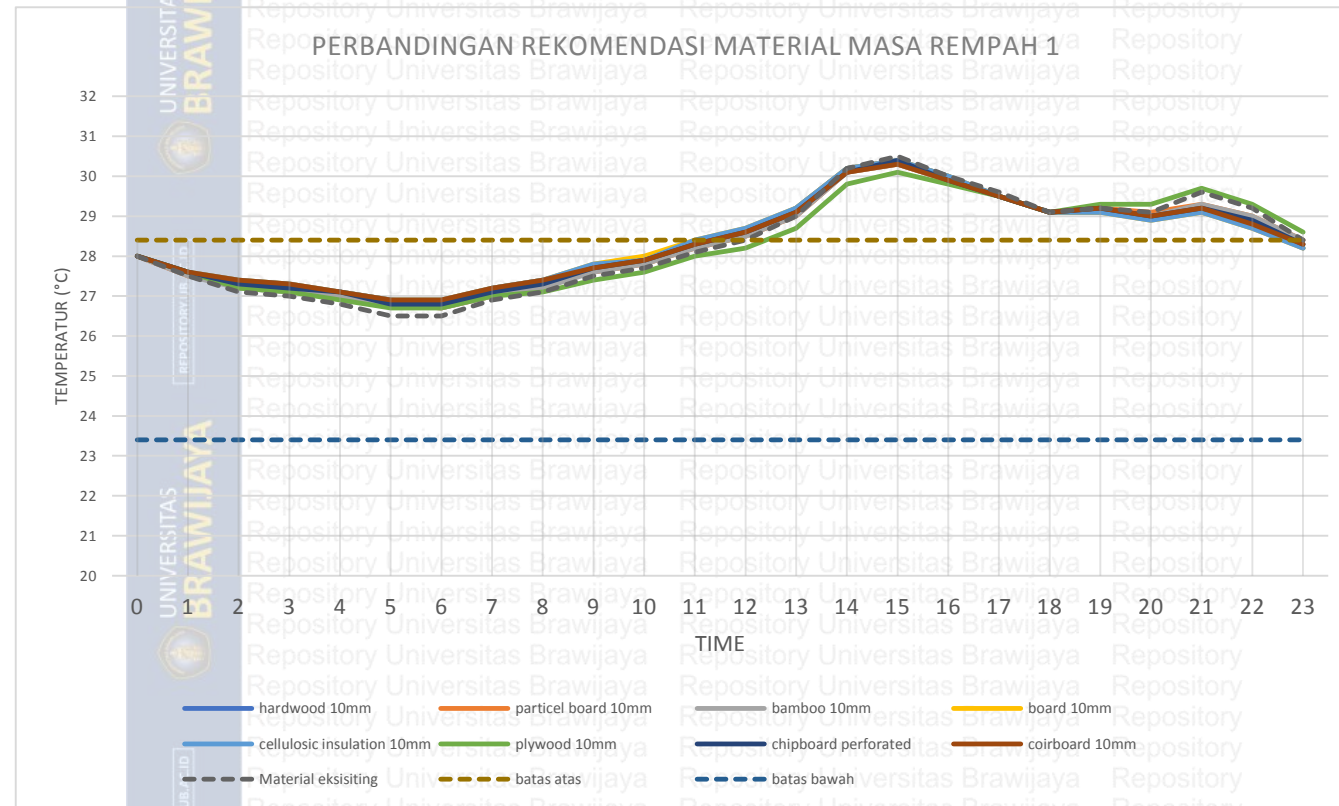


Gambar 4.79 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 2 material *Particle board* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material plywood dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,4^{\circ}\text{C}$, dan selama rentang waktu efektif sebesar $0,08^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

Perbandingan Hasil Rekomendasi Desain

1. Massa rempah 1



Gambar 4.80 Perbandingan hasil simulasi tahap 2 masa rempah 1

Berdasarkan hasil simulasi dengan menambahkan beberapa material alami pada atap dan dinding dengan ketebalan 10mm di masa rempah 1, maka didapat hasil bahwa material yang mampu menurunkan suhu rata-rata paling baik dari suhu eksisting adalah material plywood dengan penurunan suhu rata-rata pada rentang waktu 24 jam sebesar 0,01°C dan selama rentang waktu efektif sebesar 0,19°C,

sedangkan material yang lainnya mengakibatkan kenaikan suhu dengan kenaikan paling besar ditemukan pada material cellulosic insulation sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$ (24 jam) dan 0,14 (waktu efektif). Berdasarkan perhitungan standar suhu netral, maka pada bangunan rempah 1 rata-rata kenyamanan suhu yang terjadi pada jam efektif (08.00-17.00) terjadi pada pukul 8-11.

Tabel 4.9 Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 2 Massa rempah 1

Material	Waktu																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
plywood																								
10mm	28	27,6	27,2	27,1	26,9	26,7	26,7	27	27,1	27,4	27,6	28	28,2	28,7	29,8	30,1	29,8	29,5	29,1	29,3	29,3	29,7	29,3	28,6
bamboo																								
10mm	28	27,5	27,2	27,1	27	26,8	26,7	27	27,2	27,6	27,8	28,2	28,5	29	30,1	30,3	29,9	29,5	29,1	29,2	29	29,3	29	28,4
particel board																								
10mm	28	27,5	27,3	27,1	27	26,8	26,7	27	27,3	27,6	27,8	28,2	28,5	29	30,1	30,3	29,9	29,5	29,1	29,2	29,1	29,3	29	28,4
chipboard																								
perforated	28	27,6	27,3	27,2	27,1	26,8	26,8	27,1	27,3	27,7	27,9	28,3	28,6	29,1	30,1	30,4	29,9	29,5	29,1	29,2	29	29,2	28,9	28,3
coirboard																								
10mm	28	27,6	27,4	27,3	27,1	26,9	26,9	27,2	27,4	27,7	27,9	28,3	28,6	29,1	30,1	30,3	29,9	29,5	29,1	29,2	29	29,2	28,8	28,3
hardwood																								
10mm	28	27,6	27,3	27,2	27,1	26,9	26,8	27,2	27,4	27,7	27,9	28,3	28,6	29,2	30,2	30,4	30	29,5	29,1	29,1	29	29,1	28,8	28,2
cellulosic insulation																								
10mm	28	27,6	27,4	27,3	27,1	26,9	26,9	27,2	27,4	27,8	27,9	28,4	28,7	29,2	30,2	30,4	30	29,5	29,1	29,1	28,9	29,1	28,7	28,2
board																								
10mm	28	27,6	27,4	27,3	27,1	26,9	26,9	27,2	27,4	27,8	28	28,4	28,7	29,2	30,2	30,4	30	29,5	29,1	29,1	28,9	29,1	28,7	28,2
Material eksisiting																								
	28	27,5	27,1	27	26,8	26,5	26,5	26,9	27,1	27,5	27,7	28,1	28,4	29	30,2	30,5	30	29,6	29,1	29,2	29,1	29,6	29,2	28,4

Tabel 4.10 Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 2 massa rempah 1

No.	Material	Rempah 1					
		Atap			Dinding		
		U-value ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Admit- tence ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Thermal Decrement	U-Value ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Admit- tence ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Thermal Decrement

1	Board	1,87	2,26	0,95	1,99	1,98	0,99
2	Cellulosic Insulation	1,91	2,26	0,96	2,04	2,03	0,99
3	Hardwood	2,06	2,37	0,96	2,21	2,2	0,99
4	Coirboard	2,1	2,59	0,97	1,94	1,93	0,99
5	Chipboard Perforated	2,29	2,54	0,96	2,47	2,46	1
6	Particle Board	2,71	2,89	0,96	2,97	2,97	0,99
7	Bambu	2,98	3,12	0,96	3,3	3,29	0,99
8	Plywoods	3,58	3,82	0,97	3,13	3,13	0,99

Dari hasil perhitungan *thermal properties material* pada lapisan atap dan dinding massa Rempah 1 didapat bahwa material yang memiliki u-value paling kecil atau paling baik dalam mematahkan laju panas adalah material *Board* dengan nilai *thermal properties material* atap ; u-value 1,87 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 2,26 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,95, dan nilai *thermal properties material* dinding ; u-value 1,99 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,98 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,99.

a) Temperatur Puncak

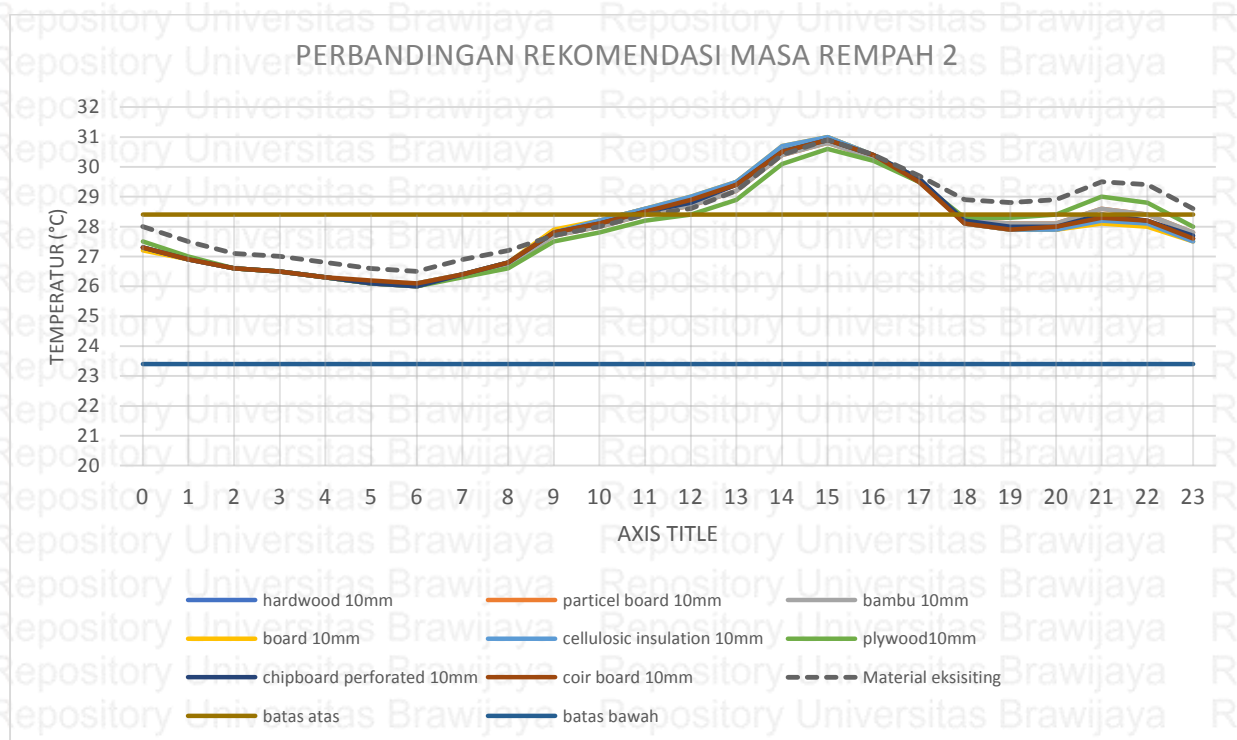
Pada **Tabel 4.9** menunjukkan hasil simulasi pada beberapa material di massa rempah 1. Temperatur puncak masing-masing material terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 15.00, hal ini juga terjadi pada material eksisting, hal ini menandakan bahwa masing-masing material memiliki *decrement factor* yang relatif sama. Besaran temperatur puncak tertinggi terjadi pada material cellulosic dan board, hal ini dikarenakan material tersebut memiliki u-value terendah yaitu board; 1,87(W/m²K), cellulosic; 1,91 (W/m²K).

b) Durasi *comfort* dan *Overheated*

Kondisi *comfort* adalah keadaan dimana temperatur ruang berada di zona suhu netral dimana pada perhitungan suhu netral kota karanganyar memiliki besaran temperatur sebesar 25,9°C dengan ambang batas atas 2,5°C yaitu sebesar 28,4°C dan ambang batas bawah

2,5°C yaitu sebesar 23,4°C. kondisi *Overheated* keadaan dimana temperatur ruang berada di atas ambang batas atas suhu netral. Pada **Tabel 4.9** kondisi *comfort* paling lama terjadi pada material *plywood* yang berlangsung selama 5 jam dari pukul 08.00 – 11.00, sedangkan material lainnya memiliki kondisi *overheated* yang terjadi pada pukul 11.00 – 17.00. Hal ini disebabkan karena material *plywood* memiliki nilai u-value yang tinggi, sedangkan material lainnya memiliki u-value yang lebih rendah.

2. Massa rempah 2



Gambar 4.81 Perbandingan hasil simulasi tahap 2 masa rempah 2

Berdasarkan hasil simulasi dengan menambahkan beberapa material alami pada atap dan dinding dengan ketebalan 10mm di masa rempah 2, maka didapat hasil bahwa material yang mampu menurunkan suhu rata-rata eksisting adalah material plywood dengan penurunan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,04°C dan selama rentang waktu efektif sebesar 0,27°C, sedangkan material yang mengakibatkan kenaikan suhu dengan kenaikan paling besar ditemukan pada material board selama rentang waktu efektif sebesar 0,12°C. Berdasarkan perhitungan standar suhu netral, maka pada bangunan rempah 2 rata-rata kenyamanan suhu yang terjadi pada jam efektif (08.00-17.00) terjadi pada pukul 8-10.

Tabel 4.11 Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 2 Massa rempah 2

Material	Waktu																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Plywood 10mm	27,5	27	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,3	26,6	27,5	27,8	28,2	28,4	28,9	30,1	30,6	30,2	29,5	28,3	28,3	28,4	29	28,8	28
bambu 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,7	27,7	28	28,4	28,7	29,2	30,4	30,8	30,3	29,5	28,2	28,1	28,1	28,6	28,4	27,8
particel board 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,7	27,7	28	28,4	28,7	29,2	30,4	30,8	30,3	29,5	28,2	28,1	28,1	28,6	28,4	27,8
chipboard perforated 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,7	27,7	28	28,4	28,7	29,2	30,4	30,8	30,3	29,5	28,2	28,1	28,1	28,6	28,4	27,8
coir board 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,8	27,8	28,1	28,5	28,8	29,4	30,5	30,9	30,4	29,6	28,2	28	28	28,4	28,2	27,7
hardwood 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,2	26,1	26,4	26,8	27,8	28,1	28,5	28,9	29,4	30,5	30,9	30,4	29,5	28,1	27,9	28	28,3	28,2	27,6
cellulosic insulation 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,8	27,8	28,2	28,6	28,9	29,5	30,6	31	30,4	29,6	28,1	27,9	27,9	28,2	28,1	27,6
board 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,4	26,8	27,8	28,2	28,6	29	29,5	30,7	31	30,4	29,6	28,1	27,9	27,9	28,2	28,1	27,5
Material eksisting	28	27,5	27,1	27	26,8	26,6	26,5	26,9	27,2	27,7	28	28,4	28,6	29,2	30,4	30,9	30,4	29,7	28,9	28,8	28,9	29,5	29,4	28,6

Tabel 4.12 Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 2 massa rempah 2

No.	Material	Rempah 2					
		Atap			Dinding		
		U-value (W/m ² K)	Admittance (W/m ² K)	Thermal Decrement	U-Value (W/m ² K)	Admittance (W/m ² K)	Thermal Decrement
1	Board	1,87	2,26	0,95	1,5	1,85	0,81
2	Cellulose Insulation	1,91	2,26	0,96	1,53	1,86	0,82

3	Hardwood	2,06	2,37	0,96	1,62	2,02	0,83
4	Coirboard	2,1	2,59	0,97	1,47	1,78	0,81
5	Chipboard Perforated	2,29	2,54	0,96	1,76	2,26	0,84
6	Particle Board	2,71	2,89	0,96	2	2,7	0,85
7	Bambu	2,98	3,12	0,96	2,14	3	0,86
8	Plywoods	3,58	3,82	0,97	2,07	2,87	0,86

Dari hasil perhitungan *thermal properties material* pada lapisan atap dan dinding massa Rempah 2 didapat bahwa material yang memiliki u-value paling kecil atau paling baik dalam mematahkan laju panas adalah material *Board* dengan nilai *thermal properties material* atap ; u-value 1,87 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 2,26 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,95, dan nilai *thermal properties material* dinding ; u-value 1,5 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,85 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,81.

a) Temperatur Puncak

Pada **Tabel 4.11** menunjukkan hasil simulasi pada beberapa material di massa rempah 2. Temperatur puncak masing-masing material terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 15.00, hal ini juga terjadi pada material eksisting, hal ini menandakan bahwa masing-masing material memiliki *decrement factor* yang relatif sama. Besaran temperatur puncak tertinggi terjadi pada material cellulosic dan board, hal ini dikarenakan material tersebut memiliki u-value terendah yaitu board; 1,87(W/m²K), cellulosic; 1,91 (W/m²K).

b) Durasi *comfort* dan *Overheated*

Kondisi *comfort* adalah keadaan dimana temperatur ruang berada di zona suhu netral dimana pada perhitungan suhu netral kota karanganyar memiliki besaran temperatur sebesar 25,9°C dengan ambang batas atas 2,5°C yaitu sebesar 28,4°C dan ambang batas bawah 2,5°C yaitu sebesar 23,4°C. kondisi *Overheated* keadaan dimana temperatur ruang berada di atas ambang batas atas suhu netral Pada **Tabel 4.11** kondisi

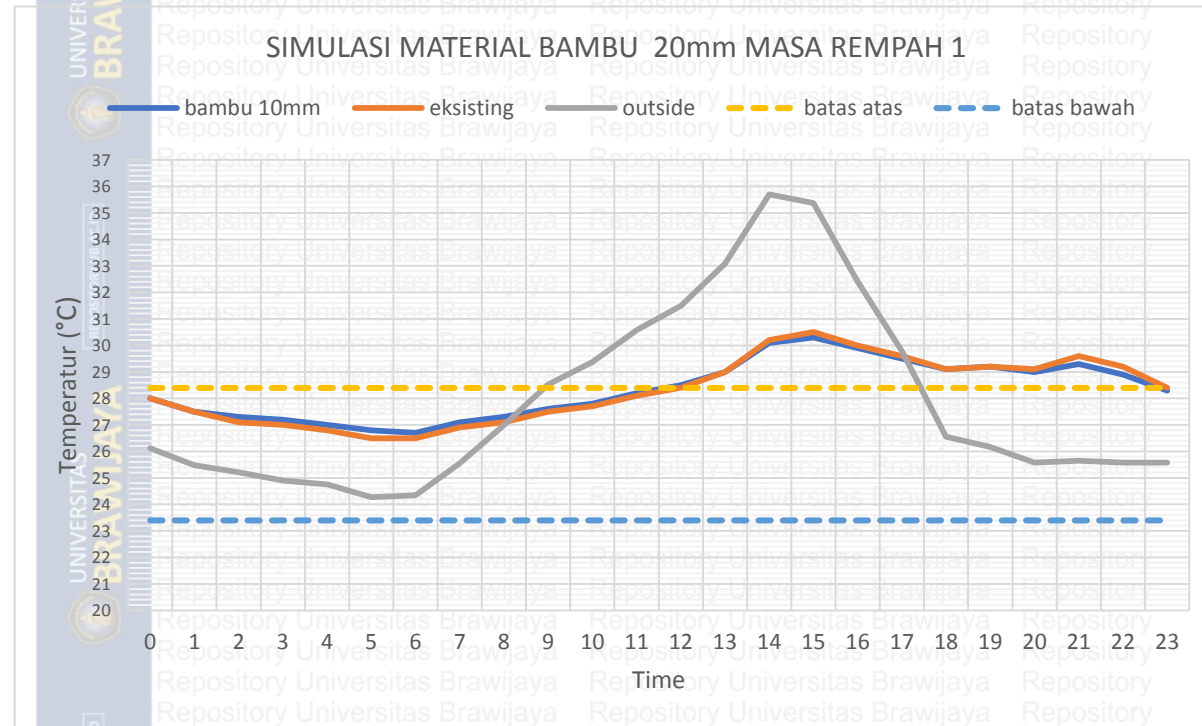
comfort paling lama terjadi pada material *plywood* yang berlangsung selama 5 jam dari pukul 08.00 – 12.00, sedangkan Kondisi *overheated* paling lama terjadi pada material *board* dan *cellulosic insulation* yang dimulai pada pukul 11.00 – 17.00. Hal ini disebabkan karena material *plywood* memiliki nilai *u-value* yang tinggi, sedangkan *board* dan *cellulosic* memiliki *u-value* paling rendah.

B. Tahap ketiga

Tahap ketiga berupa modifikasi material dengan menggunakan metode penambahan ketebalan lapisan material pada selubung atap dan dinding, yaitu dinding sisi timur pada rempah 1, dan sisi barat pada rempah 2. Penambahan lapisan material ini diletakkan di bagian dalam dengan tidak merubah zona dan material yang telah dipakai sebelumnya. Terdapat 8 material pilihan yang akan disimulasikan, masing-masing memiliki ketebalan yang sama yaitu 20mm.

1. Penambahan material bambu 20mm

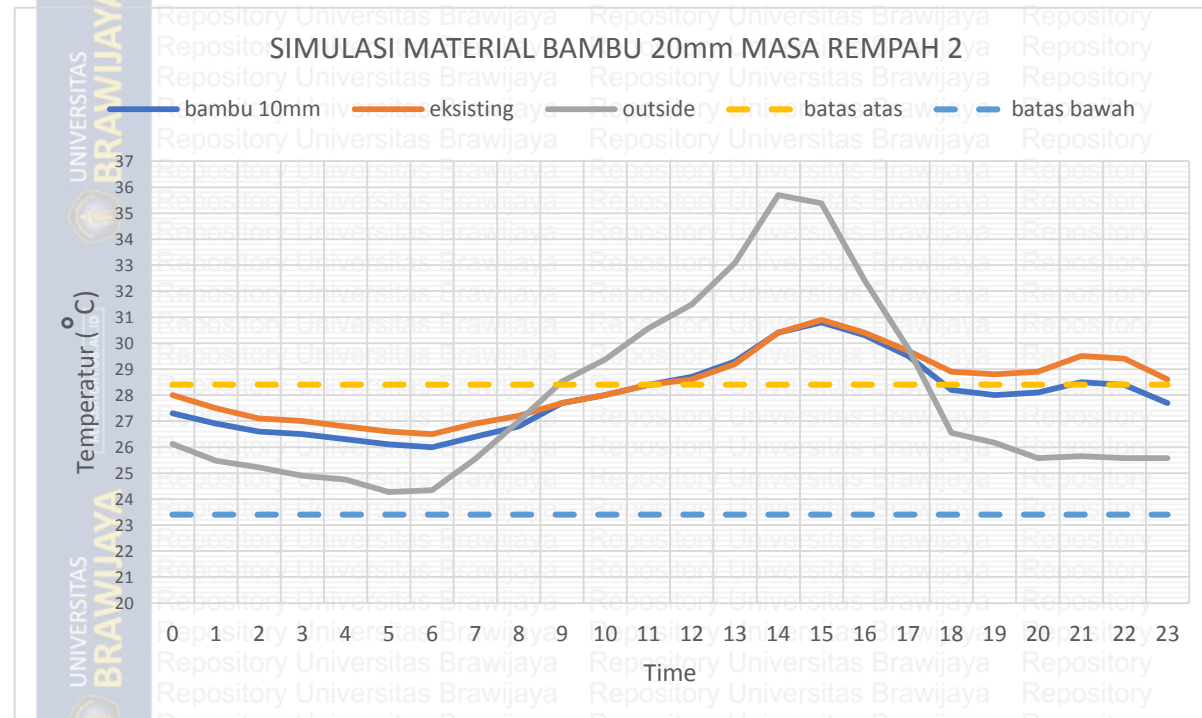
a) Massa rempah 1



Gambar 4.82 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 bambu pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material bambu dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,02°C, begitu juga dengan temperatur rata-rata selama waktu efektif (08.00-17.00) sebesar 0,01°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif, kondisi kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Masa rempah 2

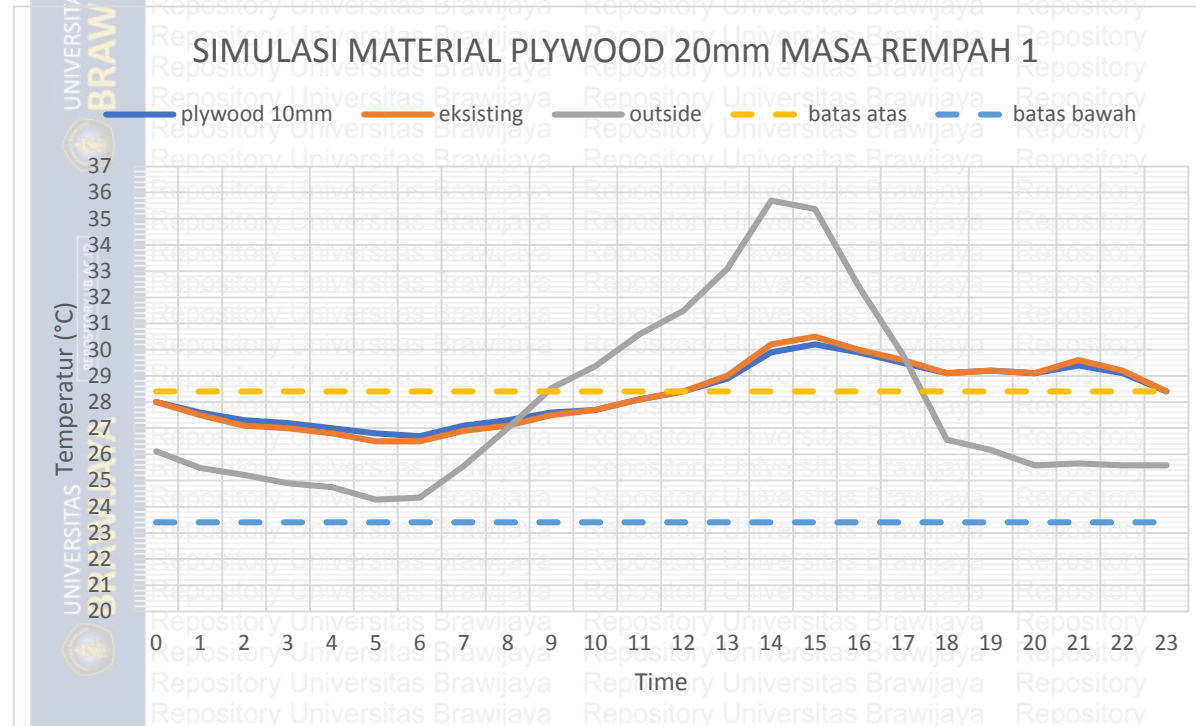


Gambar 4.83 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material bambu pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material bambu dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,42^{\circ}\text{C}$, sedangkan selama rentang waktu efektif berhasil menurunkan temperatur rata-rata sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

2. Material Plywoods 10mm

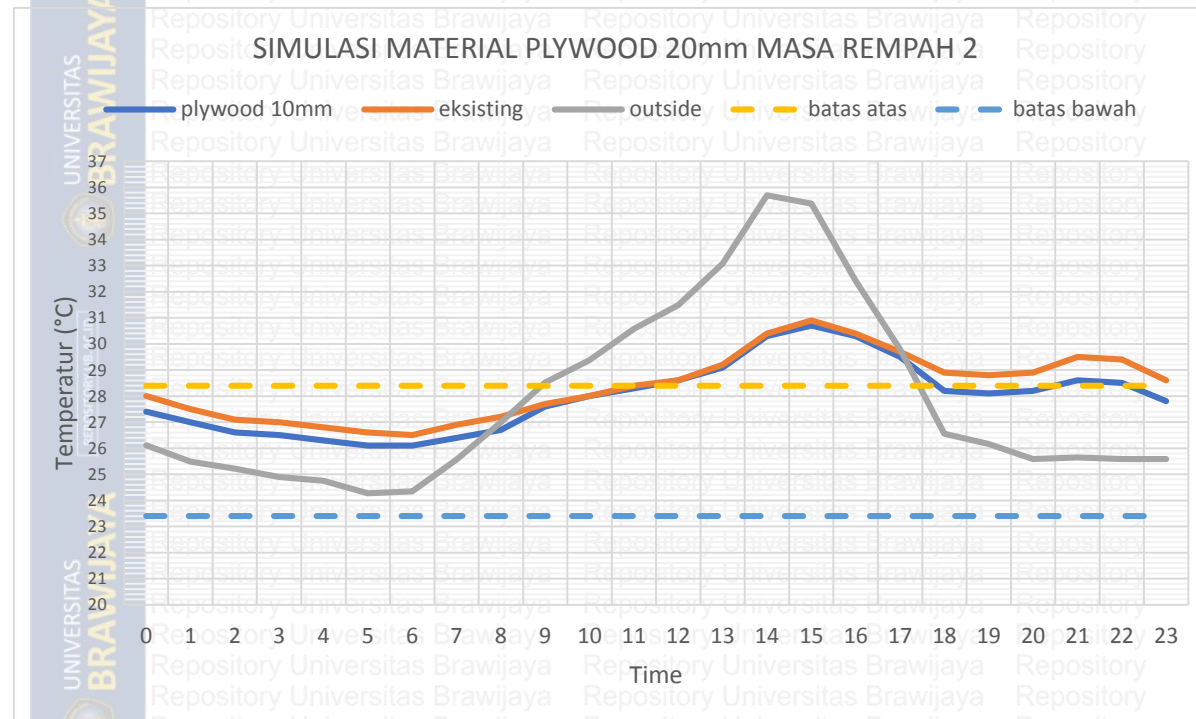
a) Massa rempah 1



Gambar 4.84 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material plywood pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material plywood dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 menyebabkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,02^{\circ}\text{C}$, namun sebaliknya mampu menurunkan suhu rata-rata selama rentang waktu efektif sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-12.

b) Masa rempah 2

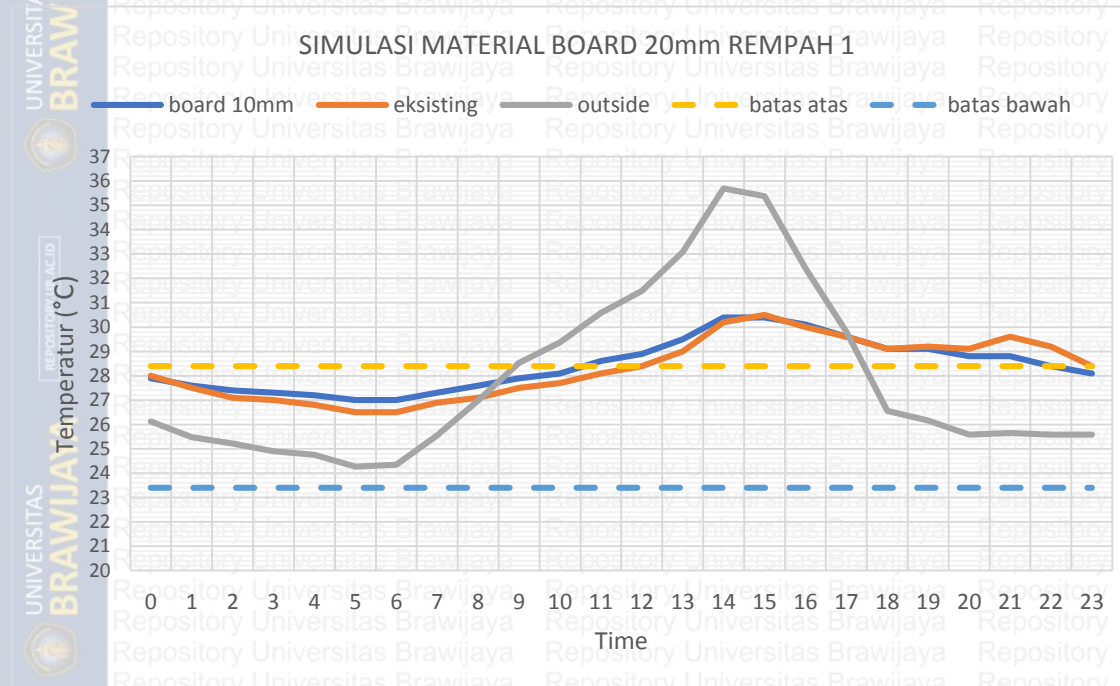


Gambar 4.85 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *plywood* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *plywood* dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C dan mampu menurunkan suhu rata-rata selama waktu efektif sebesar 0,14°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

3. Material Board 10mm

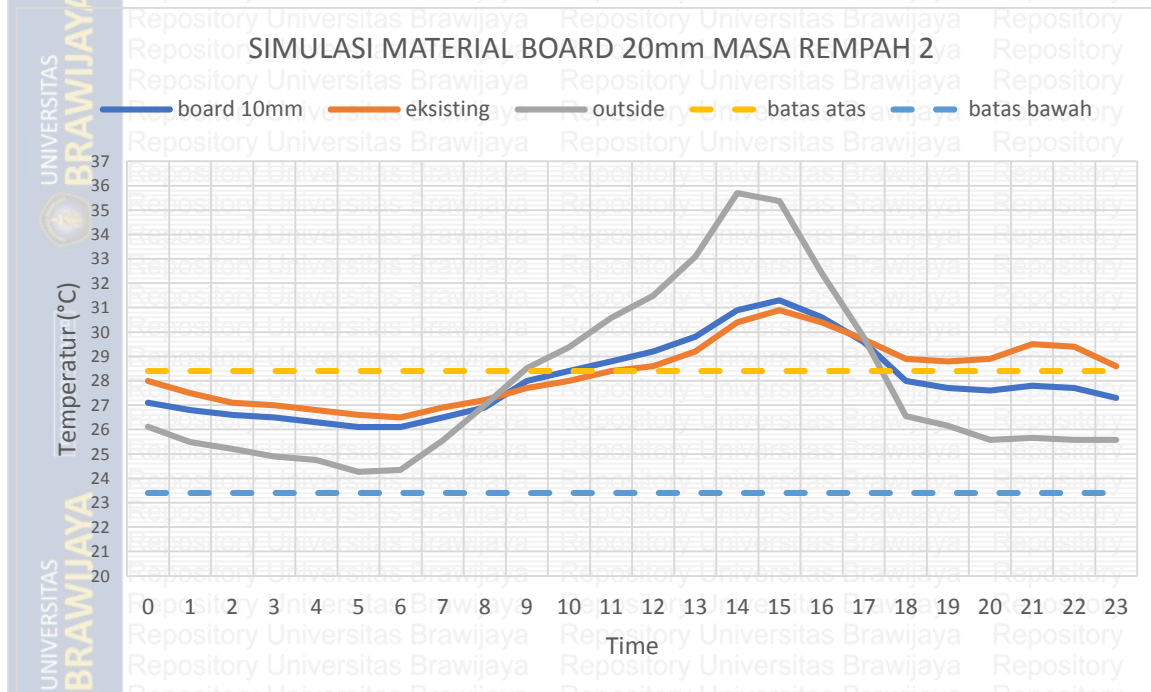
a) Massa rempah 1



Gambar 4.86 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material board pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material board dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat suhu rata-rata selama 24 jam menjadi naik sebesar 0,13°C dan selama waktu efektif sebesar 0,3°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

b) Massa rempah 2

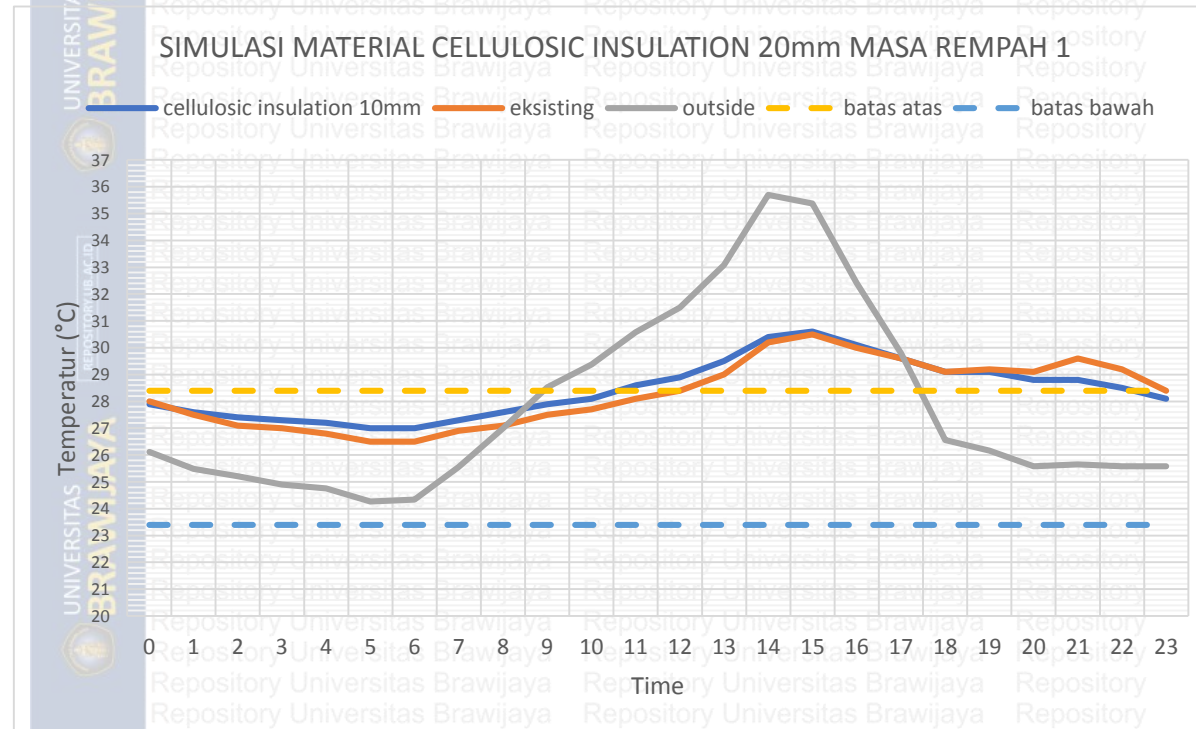


Gambar 4.87 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material board pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material board dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C, namun sebaliknya menaikkan suhu rata-rata selama rentang waktu efektif sebesar 0,3°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) kondisi kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

4. Material Cellulosic Insulation

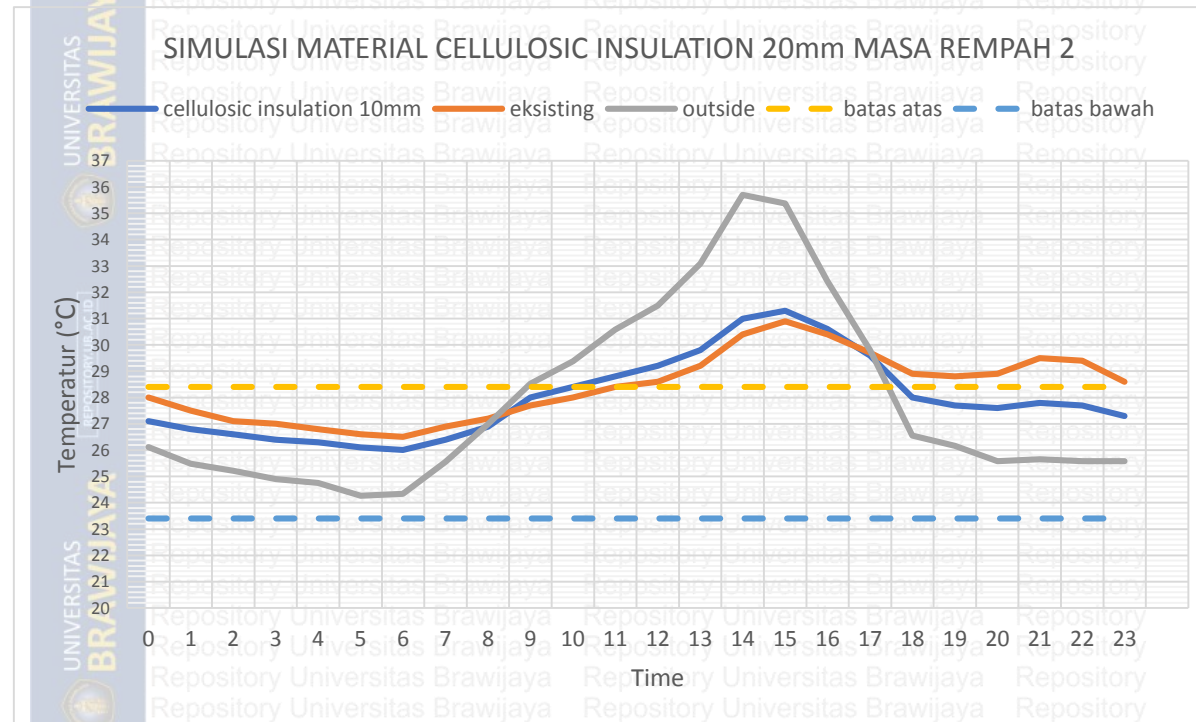
a) Massa rempah 1



Gambar 4.88 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *cellulosic insulation* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material Cellulosic insulation dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat suhu rata-rata selama 24 jam naik sebesar $0,14^{\circ}\text{C}$ dan selama rentang waktu efektif sebesar $0,32^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

b) Massa rempah 2

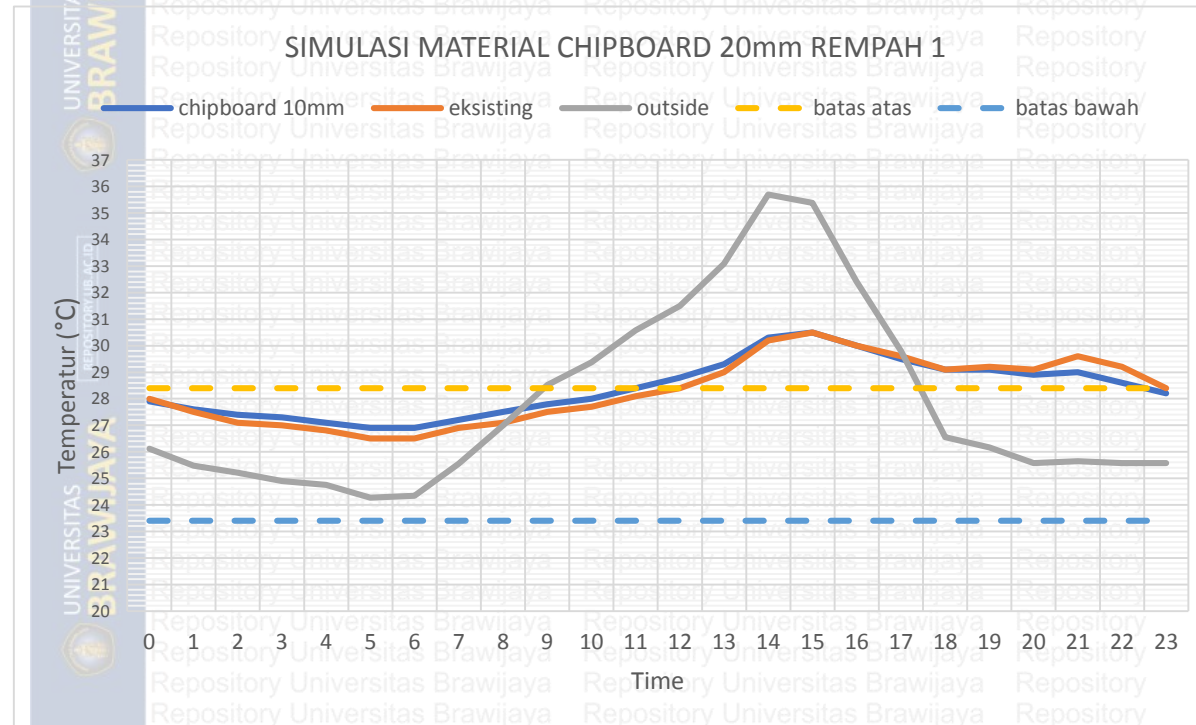


Gambar 4.89 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *cellulosic insulation* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *cellulosic insulation* dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C, namun menaikkan suhu rata-rata waktu efektif sebesar 0,31°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

5. Material Chipboard Perforated

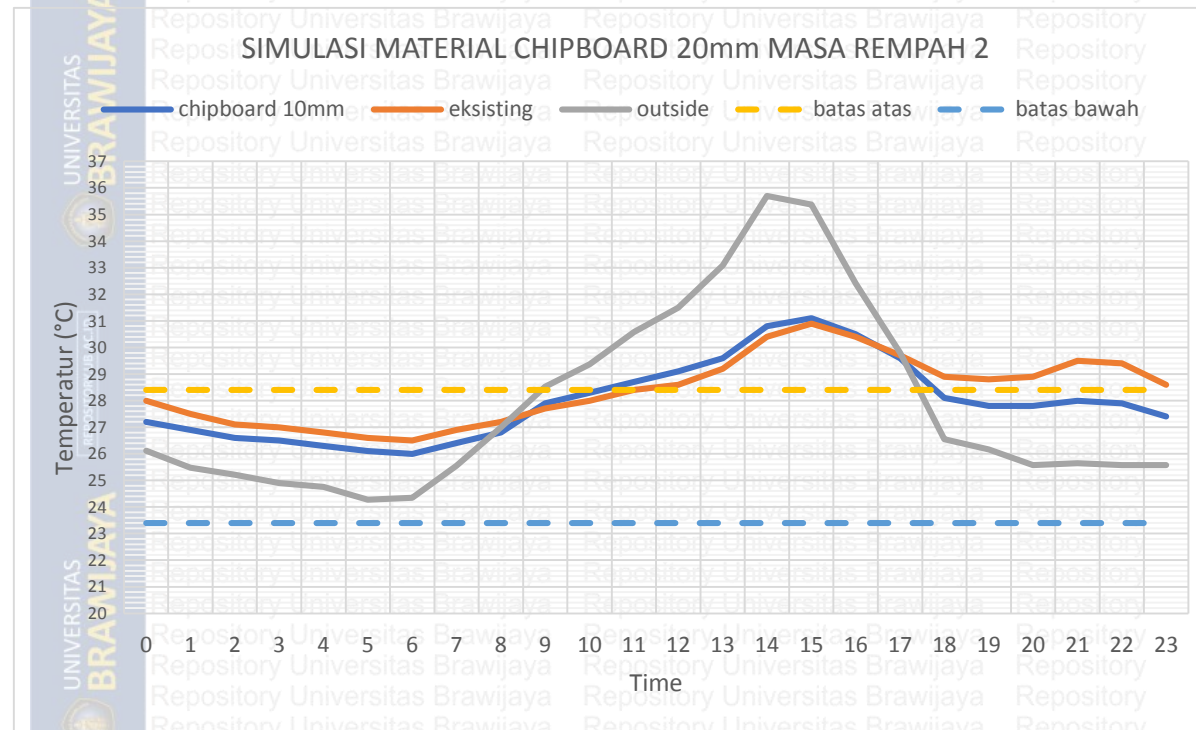
a) Massa rempah 1



Gambar 4.90 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *chipboard perforated* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material chipboard dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 membuat temperatur rata-rata selama 24 jam naik sebesar 0,1°C, dan juga menaikkan temperatur selama rentang waktu efektif sebesar 0,2°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

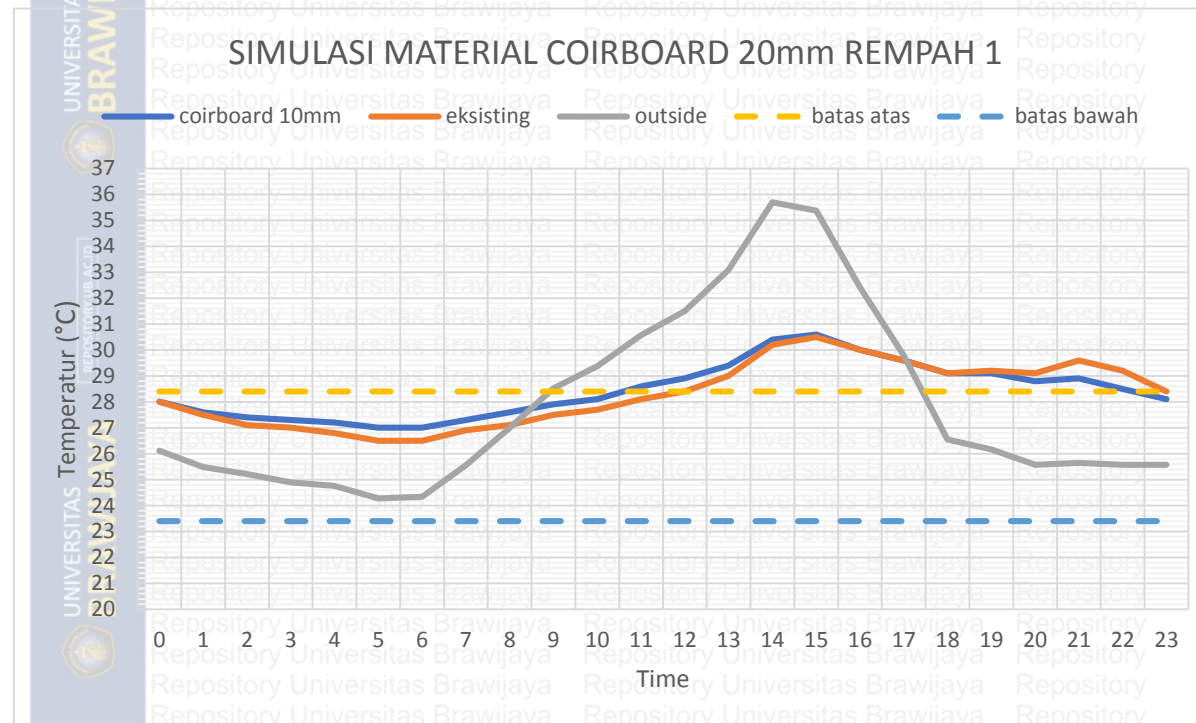


Gambar 4.91 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *chipboard perforated* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material chipboard dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C, namun selama rentang waktu efektif justru menaikkan suhu rata-rata sebesar 0,19°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

6. Material Coirboard 10mm

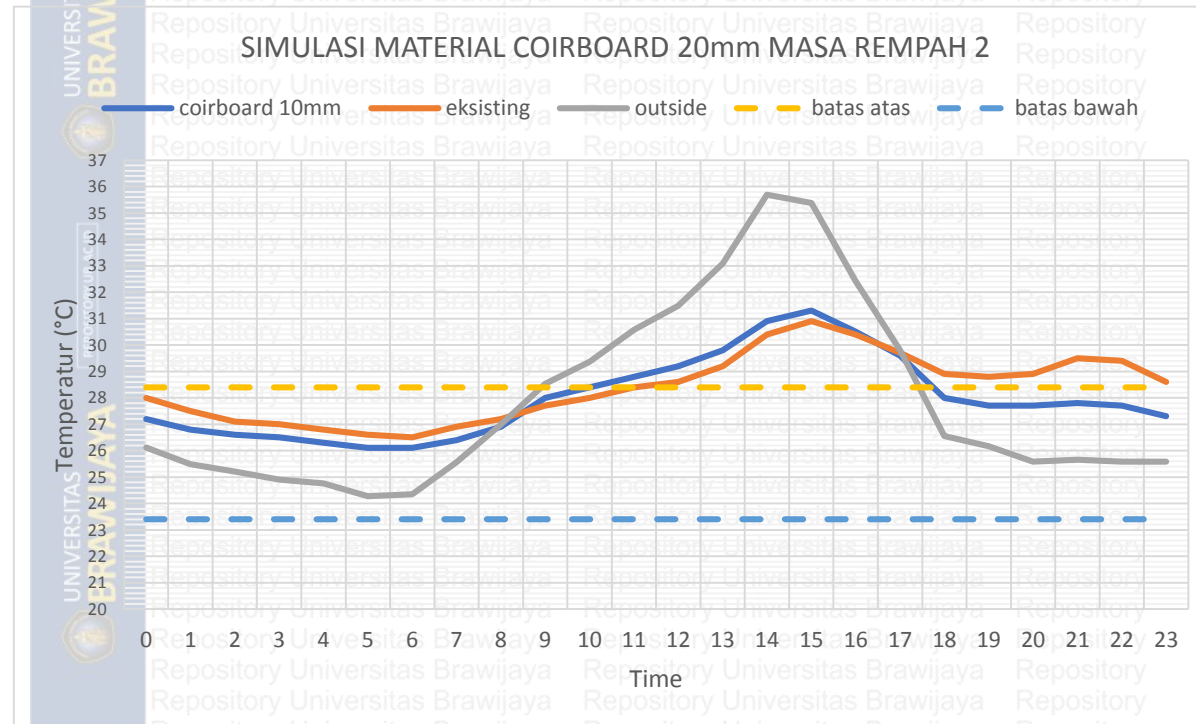
a) Massa rempah 1



Gambar 4.92 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *Coirboard* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material coirboard dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,14^{\circ}\text{C}$, begitu juga selama rentang waktu efektif yaitu sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

b) Massa rempah 2

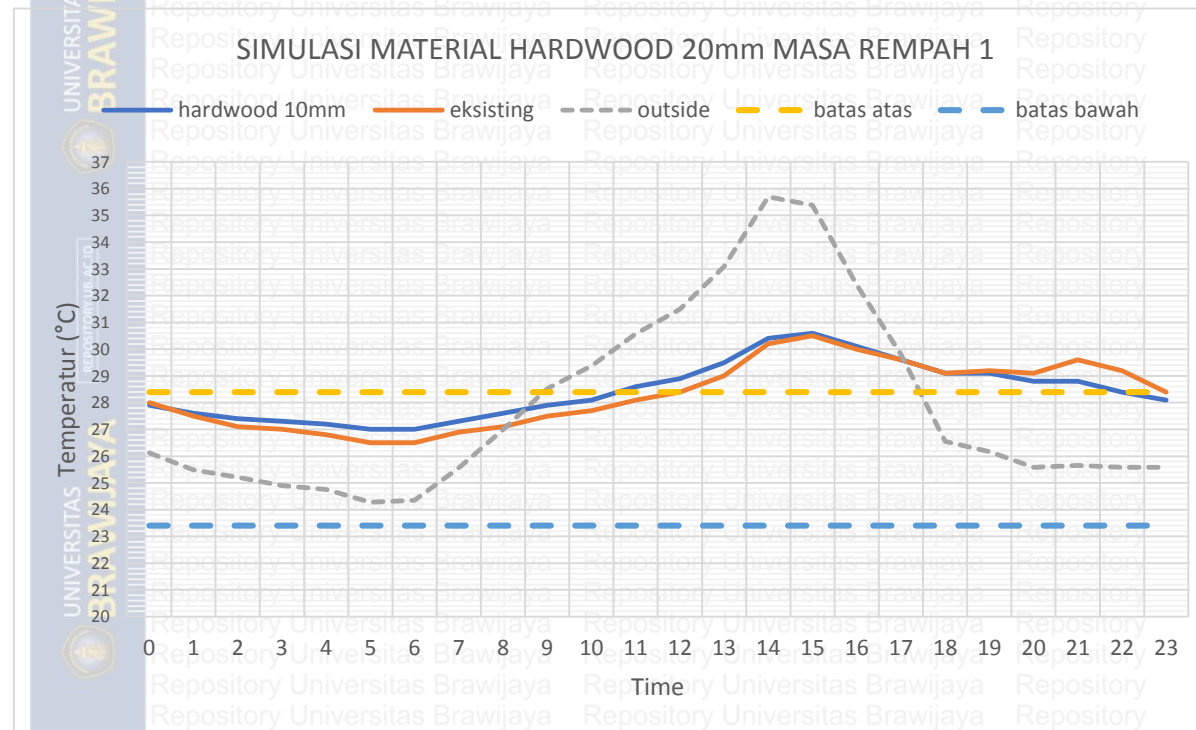


Gambar 4.93 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *Coirboard* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material coirboard dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,39°C, namun menaikkan rata-rata temperatur rentang waktu efektif sebesar 0,29°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

7. Material *hardwood*

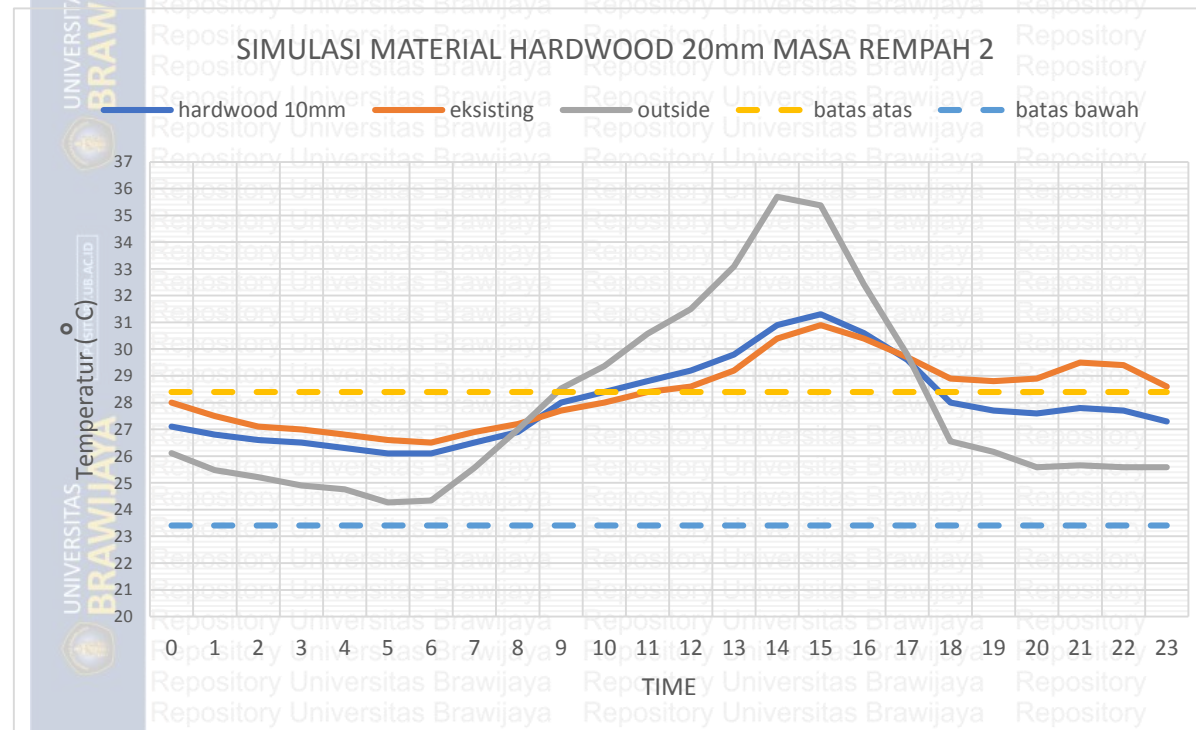
a) Massa rempah 1



Gambar 4.94 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *Hardwood* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *hardwood* dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,14°C, begitu juga selama rentang waktu efektif sebesar 0,32°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa rempah 2

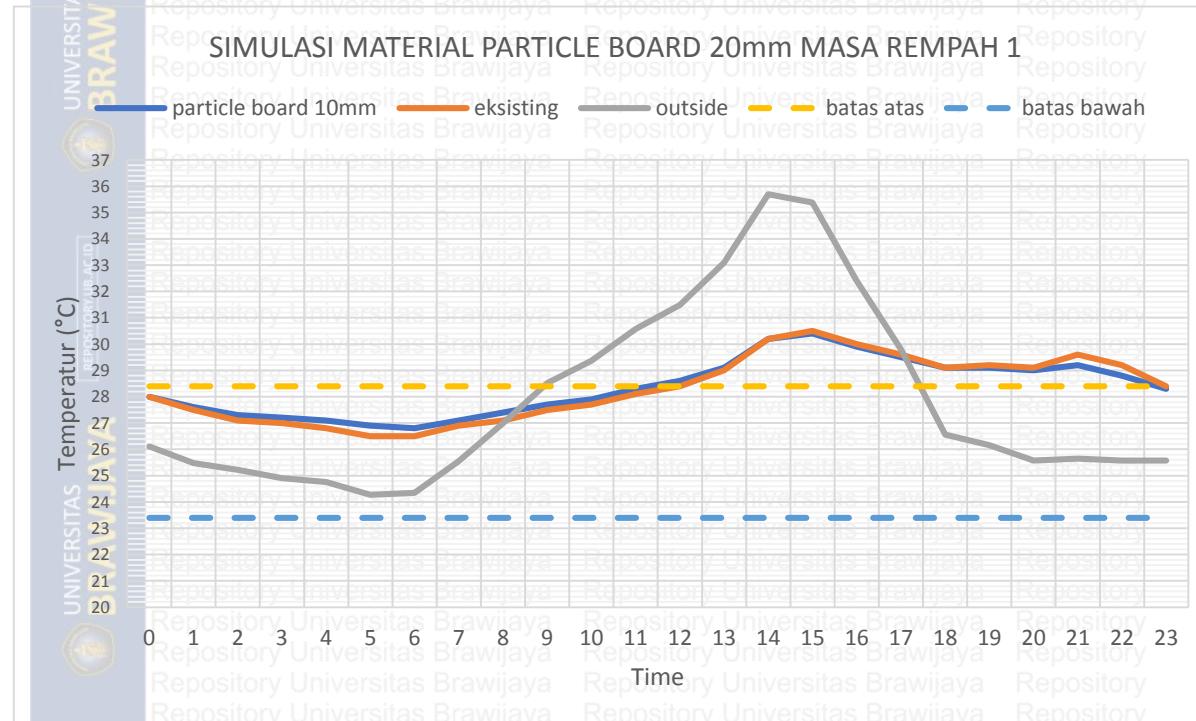


Gambar 4.95 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *Hardwood* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *hardwood* dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 2 mampu menurunkan temperatur rata-rata selama 24 jam sebesar $0,39^{\circ}\text{C}$, namun sebaliknya mengakibatkan kenaikan temperatur rata-rata pada rentang waktu efektif sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

8. Material *Particle Board* 10mm

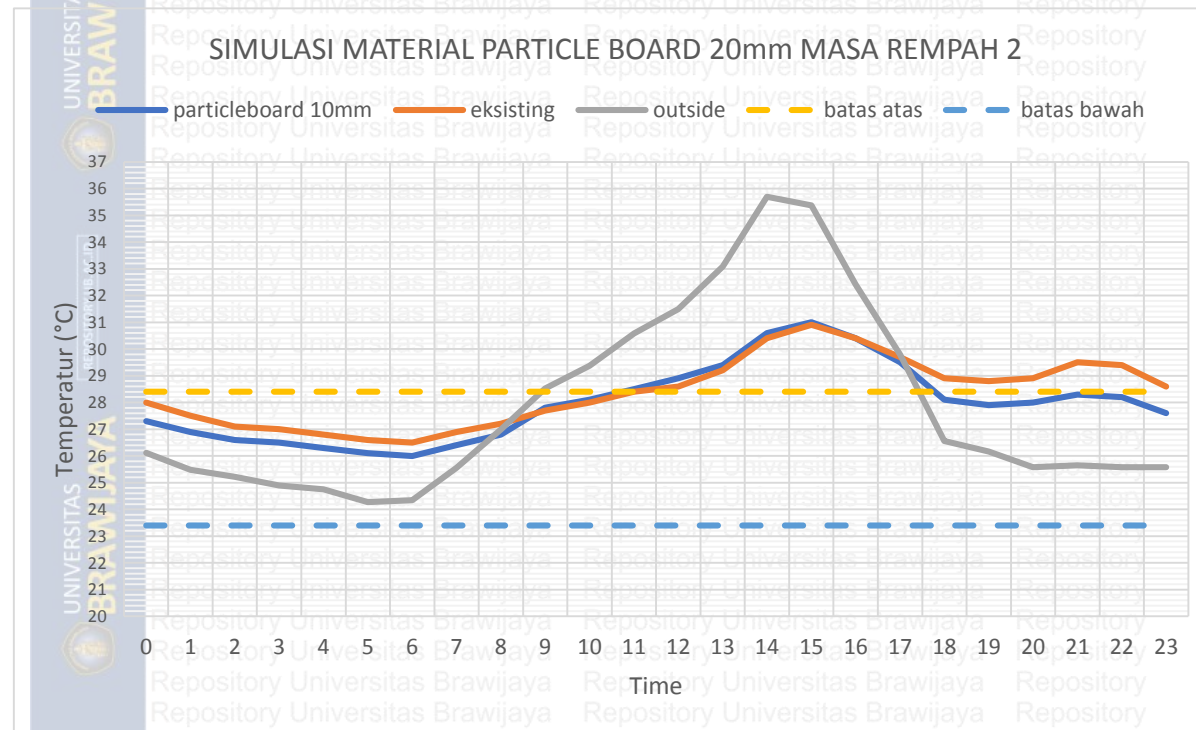
a) Massa rempah 1



Gambar 4. 96 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *Particle board* pada masa rempah 1

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material particleboard dengan ketebalan 20mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$, dan selama rentang waktu efektif sebesar $0,09^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-11.

b) Massa remaph 2

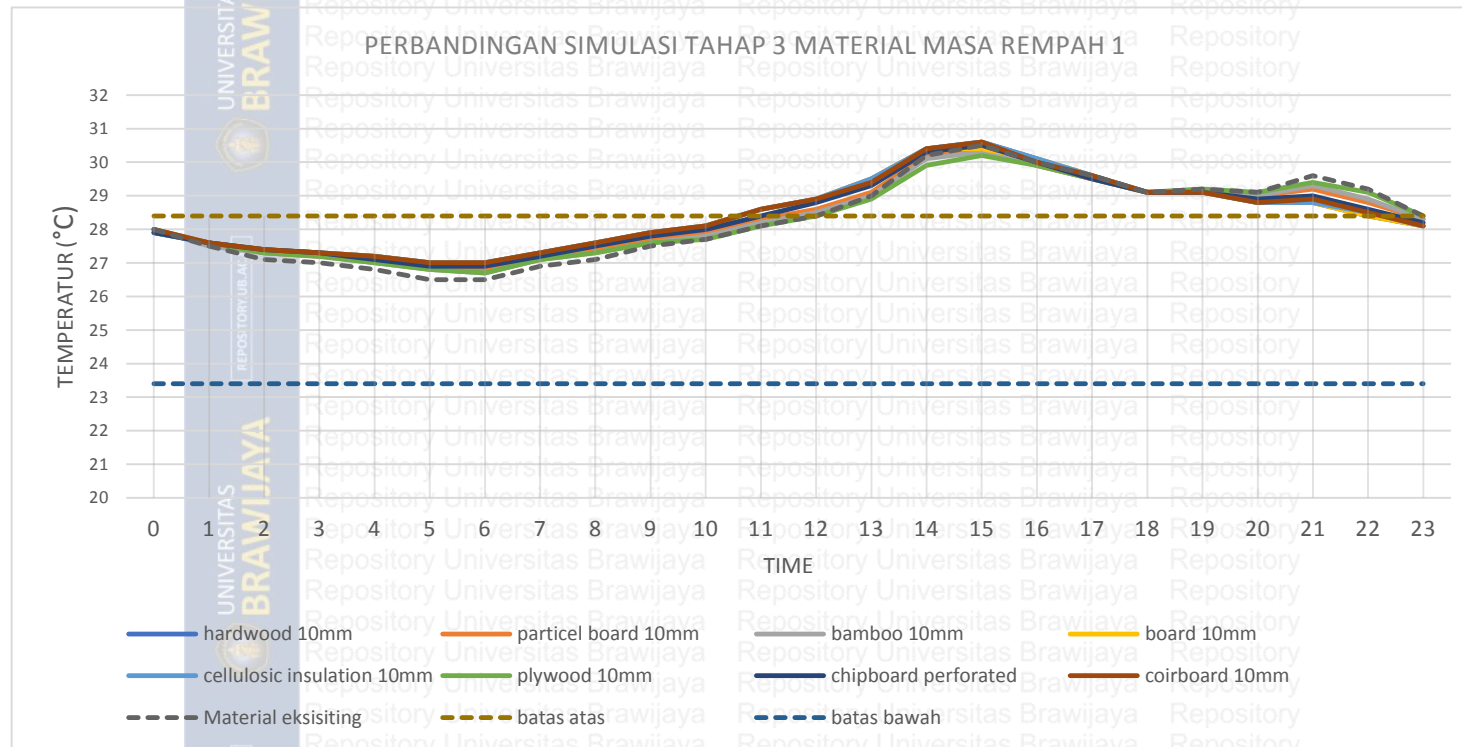


Gambar 4. 97 Hasil simulasi pengukuran suhu tahap 3 material *Particle board* pada masa rempah 2

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan material *plywood* dengan ketebalan 10mm pada atap dan dinding bangunan Rempah 1 mampu menurunkan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,41°C, namun sebaliknya menaikkan suhu rata-rata selama rentang waktu efektif sebesar 0,05°C. Berdasarkan batasan suhu netral, selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) waktu yang memiliki kenyamanan suhu terjadi hanya pada pukul 8-10.

Perbandingan Hasil Rekomendasi Desain

1. Massa rempah 1



Gambar 4.98 Perbandingan hasil simulasi tahap 3 masa rempah 1

Berdasarkan hasil simulasi dengan menambahkan beberapa material alami pada atap dan dinding dengan ketebalan 20mm di masa rempah 1, maka didapat hasil bahwa material yang mampu menurunkan suhu rata-rata paling baik selama rentang waktu efektif (08.00-17.00) adalah material *plywood* dengan penurunan suhu rata-rata sebesar 0,06°C, sedangkan selama rentang waktu 24 jam tidak ada material yang dapat menurunkan suhu melainkan menaikkan. Material yang menaikkan suhu rata-rata tertinggi pada rentang waktu 24 jam dan waktu efektif

adalah cellulosic insulation dengan kenaikan sebesar $0,14^{\circ}\text{C}$ (24 jam), dan $0,32^{\circ}\text{C}$ (waktu efektif). Berdasarkan perhitungan standar suhu netral, maka pada bangunan rempah 1 rata-rata kenyamanan suhu yang terjadi pada jam efektif (08.00-17.00) terjadi pada pukul 8-11.

Tabel 4. 13 Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 3 Massa rempah 1

Material	Waktu																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
plywood																								
10mm	28	27,6	27,3	27,2	27	26,8	26,7	27,1	27,3	27,6	27,7	28,1	28,4	28,9	29,9	30,2	29,9	29,5	29,1	29,2	29,1	29,4	29,1	28,4
bamboo																								
10mm	28	27,5	27,3	27,2	27	26,8	26,7	27,1	27,3	27,6	27,8	28,2	28,5	29	30,1	30,3	29,9	29,5	29,1	29,2	29	29,3	28,9	28,3
particel board																								
10mm	28	27,6	27,3	27,2	27,1	26,9	26,8	27,1	27,4	27,7	27,9	28,3	28,6	29,1	30,2	30,4	29,9	29,5	29,1	29,1	29	29,2	28,8	28,3
hardwood																								
10mm	27,9	27,6	27,4	27,3	27,2	27	27	27,3	27,6	27,9	28,1	28,6	28,9	29,5	30,4	30,6	30,1	29,6	29,1	29,1	28,8	28,8	28,4	28,1
chipboard																								
perforated	27,9	27,6	27,4	27,3	27,1	26,9	26,9	27,2	27,5	27,8	28	28,4	28,8	29,3	30,3	30,5	30	29,5	29,1	29,1	28,9	29	28,6	28,2
coirboard																								
10mm	28	27,6	27,4	27,3	27,2	27	27	27,3	27,6	27,9	28,1	28,6	28,9	29,4	30,4	30,6	30	29,6	29,1	29,1	28,8	28,9	28,5	28,1
cellulosic																								
insulation	27,9	27,6	27,4	27,3	27,2	27	27	27,3	27,6	27,9	28,1	28,6	28,9	29,5	30,4	30,6	30,1	29,6	29,1	29,1	28,8	28,8	28,5	28,1
10mm board																								
10mm	27,9	27,6	27,4	27,3	27,2	27	27	27,3	27,6	27,9	28,1	28,6	28,9	29,5	30,4	30,4	30,1	29,6	29,1	29,1	28,8	28,8	28,4	28,1
Material eksisiting	28	27,5	27,1	27	26,8	26,5	26,5	26,9	27,1	27,5	27,7	28,1	28,4	29	30,2	30,5	30	29,6	29,1	29,2	29,1	29,6	29,2	28,4

Tabel 4. 14 Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 3 massa rempah 1

No.	Material	Rempah 1					
		Atap			Dinding		
		U-value ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Admittence ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Thermal Decrement	U-Value ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Admit-tence ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Thermal Decrement
1	Board	1,27	1,3	0,97	1,33	1,34	0,99

2	Cellulosic Insulation	1,31	1,5	0,92	1,37	1,37	1
3	Hardwood	1,46	1,66	0,92	1,53	1,53	1
4	Coirboard	1,35	1,6	0,92	1,28	1,28	1
5	Chipboard Perforated	1,7	1,91	0,93	1,8	1,81	0,99
6	Particle Board	2,21	2,44	0,95	2,38	2,43	0,99
7	Bambu	2,59	2,81	0,95	2,83	2,89	0,99
8	Plywoods	2,89	3,17	0,95	2,59	2,65	0,99
9	Material eksisting	3,5	3,55	0,98	3,95	3,92	0,99

Dari hasil perhitungan *thermal properties material* pada lapisan atap dan dinding massa Rempah 1 didapat bahwa material yang memiliki u-value paling kecil atau paling baik dalam mematahkan laju panas adalah material *Board* dengan nilai *thermal properties material* atap ; u-value 1,27 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,3 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,97, dan nilai *thermal properties material* dinding ; u-value 1,33 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,34 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,99.

a) Temperatur Puncak

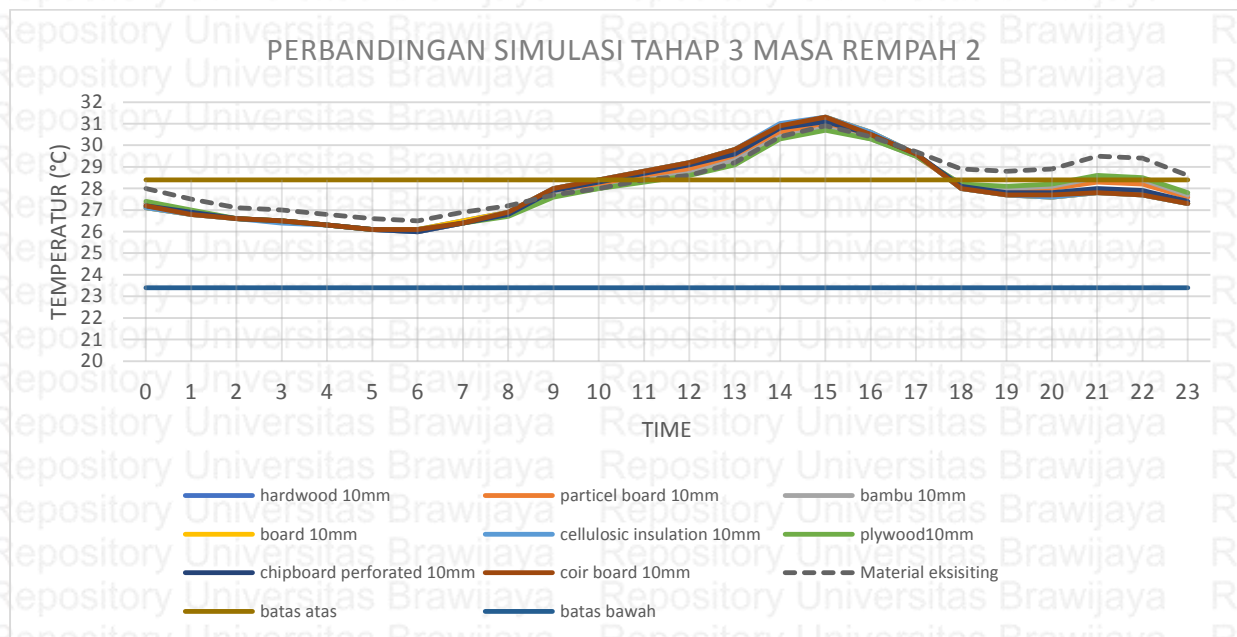
Pada **Tabel 4.13** menunjukkan hasil simulasi pada beberapa material di massa rempah 1. Temperatur puncak masing-masing material terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 15.00, hal ini juga terjadi pada material eksisting, hal ini menandakan bahwa masing-masing material memiliki *decrement factor* yang relatif sama. Besaran temperatur puncak tertinggi terjadi pada material cellulosic dan board, hal ini dikarenakan material tersebut memiliki u-value terendah yaitu board; 1,27(W/m²K), cellulosic; 1,31 (W/m²K).

b) Durasi *comfort* dan *Overheated*

Kondisi *comfort* adalah keadaan dimana temperatur ruang berada di zona suhu netral dimana pada perhitungan suhu netral kota karanganyar memiliki besaran temperatur sebesar 25,9°C dengan ambang batas atas 2,5°C yaitu sebesar 28,4°C dan ambang batas bawah

2,5°C yaitu sebesar 23,4°C. kondisi *Overheated* keadaan dimana temperatur ruang berada di atas ambang batas atas suhu netral. Pada **Tabel 4.13** kondisi *comfort* dan *overheated* ditentukan dari perhitungan suhu netral. Durasi *comfort* paling lama terjadi pada material *plywood* yang berlangsung selama 5 jam dari pukul 08.00 – 12.00, sedangkan Kondisi *overheated* paling lama terjadi pada material *hardwood*, *coirboard*, *cellulosic insulation*, dan *board* yang dimulai pada pukul 11.00 – 17.00. Hal ini dipengaruhi oleh besaran nilai u-value masing-masing material, nilai u-value material tertinggi (*plywood*; 1,27(W/m²K)) memiliki durasi *comfort* paling lama, sedangkan nilai u-value material paling rendah (*hardwood*; 1,46 W/m²K, *coirboard*; 1,35 W/m²K, *cellulosic insulation*; 1,31 W/m²K, dan *board*; 1,27W/m²K,) memiliki durasi *comfort* paling cepat.

2. Massa rempah 2



Gambar 4.99 Perbandingan hasil simulasi tahap 3 masa rempah 2

Berdasarkan hasil simulasi dengan menambahkan beberapa material alami pada atap dan dinding dengan ketebalan 20mm di masa rempah 1, maka didapat hasil bahwa material yang mampu menurunkan suhu rata-rata paling baik adalah material *plywood* dengan penurunan suhu rata-rata selama 24 jam sebesar 0,4°C, dan selama rentang waktu efektif sebesar 0,14°C. Material yang menaikkan suhu rata-rata tertinggi adalah *board* dengan kenaikan sebesar 0,3°C terjadi selama rentang waktu efektif, sedangkan dalam waktu 24 jam tidak terjadi kenaikan suhu pada seluruh alternatif material. Berdasarkan perhitungan

standar suhu netral, maka pada bangunan rempah 2 rata-rata kenyamanan suhu yang terjadi pada jam efektif (08.00-17.00) terjadi pada pukul 8-10.

Tabel 4.15 Hasil pengukuran suhu simulasi tahap 3 Massa rempah 2

Material	Waktu																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
plywood10mm	27,4	27	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,4	26,7	27,6	28	28,3	28,6	29,1	30,3	30,7	30,3	29,5	28,2	28,1	28,2	28,6	28,5	27,8
bambu 10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,8	27,7	28	28,4	28,7	29,3	30,4	30,8	30,3	29,5	28,2	28	28,1	28,5	28,4	27,7
particel board	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,8	27,8	28,1	28,5	28,9	29,4	30,6	31	30,4	29,5	28,1	27,9	28	28,3	28,2	27,6
10mm	27,3	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,8	27,8	28,1	28,5	28,9	29,4	30,6	31	30,4	29,5	28,1	27,9	28	28,3	28,2	27,6
hardwood	27,1	26,8	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,5	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,6	29,6	28	27,7	27,6	27,8	27,7	27,3
10mm	27,1	26,8	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,5	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,6	29,6	28	27,7	27,6	27,8	27,7	27,3
chipboard	27,2	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,8	27,9	28,3	28,7	29,1	29,6	30,8	31,1	30,5	29,6	28,1	27,8	27,8	28	27,9	27,4
perforated	27,2	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,4	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,5	29,6	28	27,7	27,7	27,8	27,7	27,3
10mm	27,2	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,4	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,5	29,6	28	27,7	27,7	27,8	27,7	27,3
coir board	27,2	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,4	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,5	29,6	28	27,7	27,7	27,8	27,7	27,3
10mm	27,2	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,4	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,5	29,6	28	27,7	27,6	27,8	27,7	27,3
cellulosic	27,1	26,8	26,6	26,5	26,3	26,1	26	26,4	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	31	31,3	30,6	29,6	28	27,7	27,6	27,8	27,7	27,3
insulation	27,1	26,8	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,5	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,6	29,6	28	27,7	27,6	27,8	27,7	27,3
10mm	27,1	26,8	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,5	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,6	29,6	28	27,7	27,6	27,8	27,7	27,3
board 10mm	27,1	26,8	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,5	26,9	28	28,4	28,8	29,2	29,8	30,9	31,3	30,6	29,6	28	27,7	27,6	27,8	27,7	27,3
Material	28	27,5	27,1	27	26,8	26,6	26,5	26,9	27,2	27,7	28	28,4	28,6	29,2	30,4	30,9	30,4	29,7	28,9	28,8	28,9	29,5	29,4	28,6
eksisiting	28	27,5	27,1	27	26,8	26,6	26,5	26,9	27,2	27,7	28	28,4	28,6	29,2	30,4	30,9	30,4	29,7	28,9	28,8	28,9	29,5	29,4	28,6

Tabel 4.16 Nilai thermal properties material pada simulasi tahap 3 massa rempah 2

No.	Material	Rempah 2					
		Atap			Dinding		
		U-value (W/m ² K)	Admit- tence (W/m ² K)	Thermal Decrement	U-Value (W/m ² K)	Admit- tence (W/m ² K)	Thermal Decrement
1	Board	1,27	1,3	0,97	1,09	1,32	0,77

2	Cellulosic Insulation	1,31	1,5	0,92	1,12	1,3	0,78
3	Hardwood	1,46	1,66	0,92	1,22	1,49	0,78
4	Coirboard	1,35	1,6	0,92	1,06	1,23	0,77
5	Chipboard Perforated	1,7	1,91	0,93	1,39	1,78	0,79
6	Particle Board	2,21	2,44	0,95	1,71	2,43	0,81
7	Bambu	2,59	2,81	0,95	1,93	2,87	0,83
8	Plywoods	2,89	3,17	0,95	1,82	2,66	0,81

Dari hasil perhitungan *thermal properties material* pada lapisan atap dan dinding massa Rempah 2 didapat bahwa material yang memiliki u-value paling kecil atau paling baik dalam mematahkan laju panas adalah material *Board* dengan nilai *thermal properties material* atap ; u-value 1,27 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,3 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,97, dan nilai *thermal properties material* dinding ; u-value 1,09 W/m²K, *conductivity* 0,04 W.m/K, *admittance* 1,32 W/m²K, dan *thermal Decrement* 0,77.

a) Temperatur Puncak

Pada **Tabel 4.15** menunjukkan hasil simulasi pada beberapa material di massa rempah 2. Temperatur puncak masing-masing material terjadi pada waktu yang sama yaitu pada pukul 15.00, hal ini juga terjadi pada material eksisting, hal ini menandakan bahwa masing-masing material memiliki *decrement factor* yang relatif sama. Besaran temperatur puncak tertinggi terjadi pada material *cellulosic* dan *board*, hal ini dikarenakan material tersebut memiliki u-value terendah yaitu *board*; 1,27(W/m²K), *cellulosic*; 1,31 (W/m²K).

b) Durasi *comfort* dan *Overheated*

Pada **Tabel 4.15** kondisi *comfort* dan *overheated* ditentukan dari perhitungan suhu netral. Durasi *comfort* paling lama terjadi pada material *plywood* yang berlangsung selama 4 jam dari pukul 08.00 – 11.00, sedangkan Kondisi *overheated* paling lama terjadi pada material *board* dan

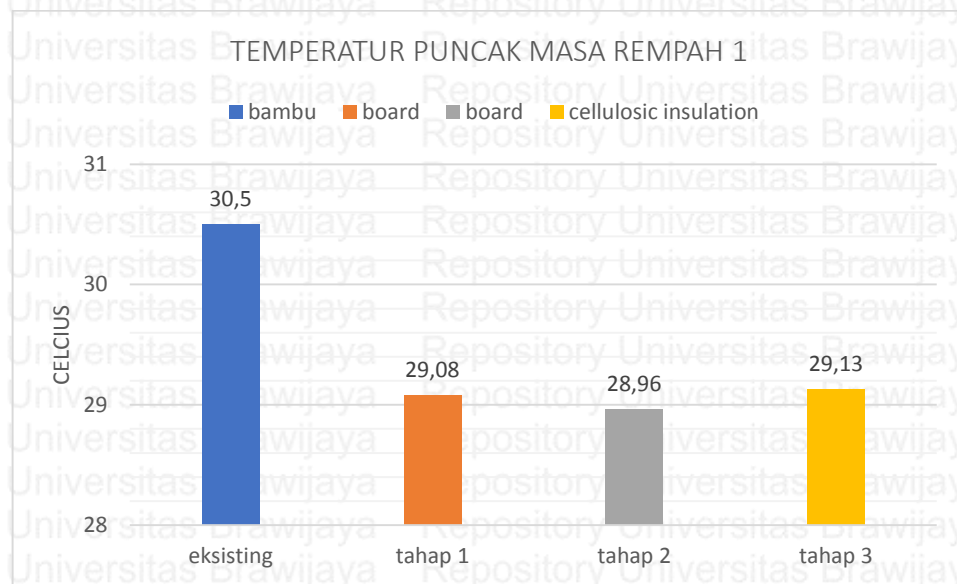


cellulosic insulation yang dimulai pada pukul 11.00 – 17.00. Hal ini disebabkan karena material *plywood* memiliki nilai *u-value* yang tinggi, sedangkan *board* dan *cellulosic* memiliki *u-value* paling rendah.

4.3.4 Perbandingan hasil tahapan simulasi

A. Temperatur Puncak

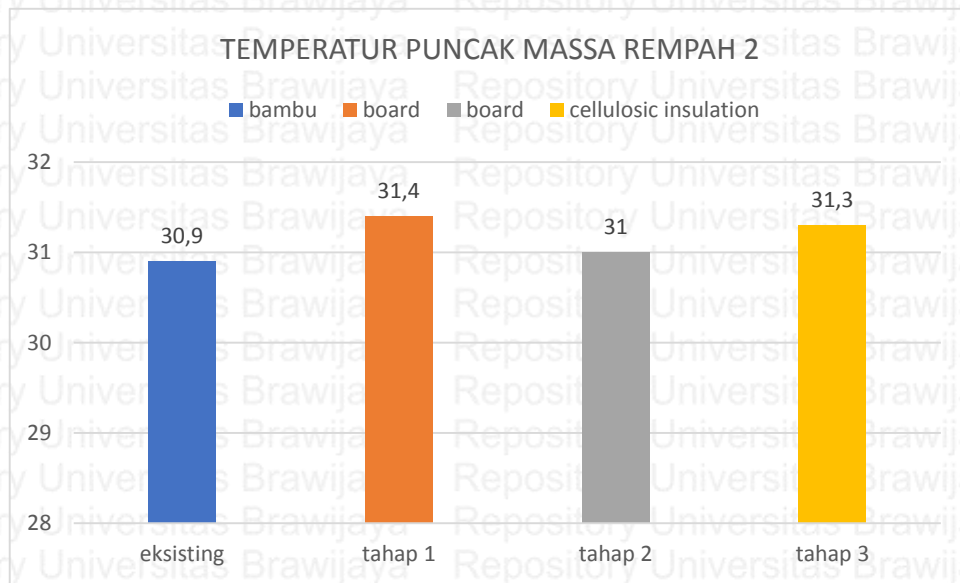
1. Massa rempah 1



Gambar 4.100 Diagram temperatur puncak beberapa tahapan simulasi massa rempah 1

Pada **Gambar 4.99** menampilkan material yang memiliki temperatur puncak tertinggi pada tiap tahapan simulasi. Temperatur puncak tertinggi terdapat pada simulasi desain tahap 3 yang terdapat pada material *cellulosic insulation*, hal ini dipengaruhi oleh besaran *u-value* dan *decrement factor* dari masing-masing karakteristik material dimana *cellulosic insulation* memiliki besaran *u-value* dan *decrement factor* terendah dari ketiga tahap simulasi tersebut. Namun ketiga tahap tersebut mampu memiliki besaran temperatur puncak yang lebih rendah dari pada suhu eksisting.

2. Massa rempah 2

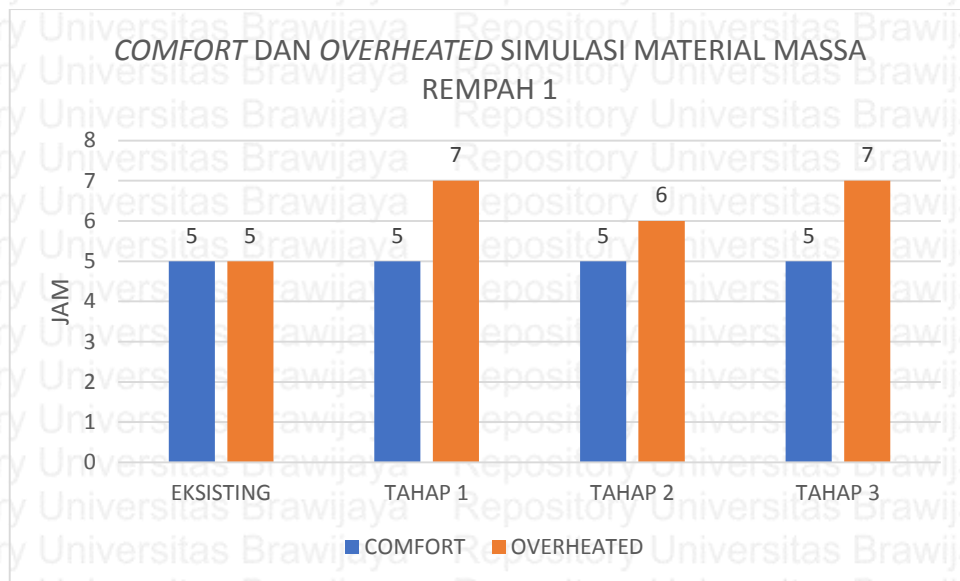


Gambar 4.101 Diagram temperatur puncak beberapa tahapan simulasi massa rempah 2

Pada **Gambar 4.100** menampilkan material yang memiliki temperatur puncak tertinggi pada tiap tahapan simulasi. Dari tiga tahap simulasi desain tersebut ditemukan bahwa material yang memiliki temperatur puncak tertinggi terdapat pada simulasi desain tahap 1 yang terdapat pada material *board*, hal ini dipengaruhi oleh besaran *u-value* dan *decrement factor* dari masing-masing karakteristik material dimana *board* memiliki besaran *u-value* dan *decrement factor* terendah dari ketiga tahap simulasi tersebut, tetapi ketiga tahap tersebut mampu memiliki besaran temperatur puncak yang lebih besar dari pada suhu eksisting.

B. Durasi *comfort* dan *overheated*

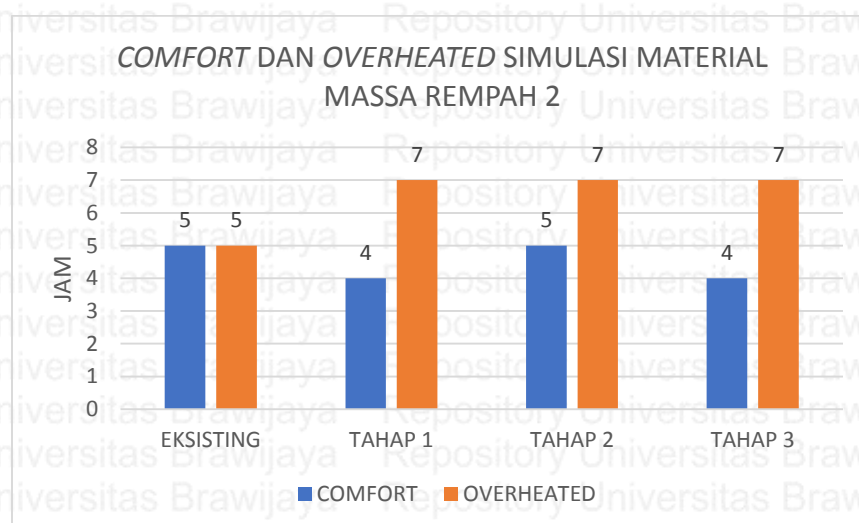
1. Massa rempah 1



Gambar 4.102 Diagram durasi *comfort* dan *overheated* pada beberapa tahapan simulasi massa rempah 1

Gambar 4.101 menunjukkan hasil perbandingan rata-rata kondisi *comfort* terbaik dan *overheated* tertinggi dari ketiga tahap simulasi desain dan kondisi suhu eksisting massa rempah 1. Kondisi *comfort* memiliki durasi yang relatif sama pada tiap tahap simulasi desain maupun pada kondisi eksisting yaitu selama 5 jam yang ditemukan pada material plywood, sedangkan kondisi *overheated* tercepat ditemukan pada tahap 2 yaitu pada material *board*. Kondisi *overheated* pada tahap simulasi 2 memiliki durasi waktu yang lebih singkat dikarenakan memiliki besaran *u-value* dan *admittance* lebih tinggi dari tahap simulasi dan pada kondisi eksisting.

2. Massa rempah 2



Gambar 4.103 Diagram durasi *comfort* dan *overheated* pada beberapa tahapan simulasi massa rempah 1



Gambar 4.102 menunjukkan hasil perbandingan durasi *comfort* dan *overheated* paling lama dari ketiga tahap simulasi desain dan kondisi suhu eksisting massa rempah

2. Dari ketiga tahap simulasi tersebut, durasi *comfort* terlama terjadi pada tahap 2 yaitu pada material plywood, hal ini dikarenakan simulasi desain tahap dua memiliki besaran *admittance* paling tinggi dari pada tahapan lainnya. Kondisi *overheated* tercepat ditemukan pada tahap 2 yaitu pada material *board*, hal ini dikarenakan tahap kedua memiliki besaran *admittance* lebih besar dari pada tahap lainnya.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi pengukuran lapangan, didapatkan hasil bahwa bangunan rempah 1 memiliki rata-rata suhu selama rentang waktu efektif (08-00-17.00) yang lebih baik dibandingkan bangunan rempah 2 dengan perbedaan suhu rata-rata sebesar $0,8^{\circ}\text{C}$. Namun jika dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), masa rempah 1 dan 2 belum memenuhi kenyamanan suhu di dalam ruang karena masih diatas ambang batas kenyamanan suhu hangat. Berdasarkan perhitungan suhu netral (szokolay) didapat bahwa suhu netral kota karanganyar memiliki besaran suhu sebesar $25,9^{\circ}\text{C}$, dengan rentang kenyamanan sebesar 5°C ($2,5^{\circ}\text{C}$ ambang batas atas, dan $2,5^{\circ}\text{C}$ batas ambang bawah), masa rempah 1 berhasil memenuhi kenyamanan suhu hanya pada jam 8-11, sedangkan pada masa rempah 2 kenyamanan hanya dirasakan pada pukul 8-10.

Secara geometris, bangunan rempah 1 dan 2 memiliki bentuk geometris yang sama, namun perletakan di tapak, dan sisi terpanjang bangunan menghadap ke arah yang berbeda. Jika dianalisis dari perletakan masa di tapak, bangunan rempah 1 terletak di sisi timur sedangkan bangunan rempah 2 terletak di sisi barat tapak, namun bangunan rempah 1 lebih condong ke utara dari pada bangunan rempah 2. Orientasi bangunan rempah 1 dan 2 menghadap ke sisi utara-selatan, dan permukaan yang paling panjang menghadap sisi timur (rempah 1) dan barat (rempah 2). Material yang digunakan selubung bangunan rempah 1 dan 2 mengalami perbedaan pada bagian fasadnya, bangunan rempah 1 memakai material bambu tirai pada fasad timurnya, sedangkan rempah 2 memakai material kayu potong pada fasad baratnya, sedangkan sisi timur (rempah 1) dan barat (rempah 2) diselubungi oleh atap. Pada selubung atap material yang digunakan oleh rempah 1 dan 2 menggunakan material yang sama. hal ini menandakan bahwa selubung bangunan yang berperan besar terhadap penurunan suhu di dalam ruang disebabkan oleh orientasi dan material selubung atap.

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan piranti lunak *Ecotect Analysys* 2011, didapatkan hasil deviasi sebesar 4% dari ambang batas maksimal validasi sebesar 10%. Hal ini menandakan tidak terjadi perbedaan yang cukup besar antara hasil pengukuran lapangan dengan hasil pengukuran simulasi. Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mencari

alternatif pilihan material terbaik yang dapat menurunkan suhu ruangan agar memenuhi standar kenyamanan suhu.

Dipilih 8 alternatif pemilihan material dan dilakukan 3 tahap simulasi rekomendasi desain. Dari ketiga tahap simulasi desain tersebut, yang mempunyai kinerja paling baik pada massa rempah 1 dan 2 adalah simulasi desain tahap 2 dengan penerapan material plywood. Hal ini dikarenakan pada tahap ini material tersebut memiliki besaran temperatur puncak yang paling kecil dari pada material pada tahap lainnya, dan juga memiliki durasi *comfort* paling lama yaitu 5 jam (08.00-12.00) dan *overheated* paling cepat yaitu 6 jam (12.00-17.00). Kinerja material tersebut diakibatkan oleh besaran *u-value*, *admittance*, dan *thermal decrement* yang lebih tinggi dari pada material lainnya. Dari rata-rata penurunan suhu, material plywood pada tahap simulasi desain 2 juga mampu menurunkan suhu rata-rata pada masa rempah 1 sebesar 0,01°C (24 jam) dan 0,19°C (waktu efektif), sedangkan pada massa rempah 2 mampu menurunkan suhu rata-rata sebesar 0,4°C (24 jam) dan 0,27°C (waktu efektif). Oleh karena itu maka dapat diambil kesimpulan bahwa dari hasil simulasi *software ecotect* 2011, material yang mempunyai kinerja paling baik dalam menurunkan suhu luar ke dalam bangunan adalah material yang mempunyai besaran *u-value*, *admittance*, dan *thermal decrement* paling tinggi.

Namun terdapat perbedaan antara landasan teori dengan hasil simulasi, dimana berdasarkan santosa (1999) material yang mampu mematahkan laju panas paling baik adalah yang mempunyai nilai *u-value* paling rendah, dimana dalam penelitian ini material yang memenuhi kriteria tersebut adalah *board*.

1.2 Saran

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan/ referensi bagi penelitian selanjutnya dalam mencari karakteristik material terbaik yang mampu menurunkan panas dari segi *thermal properties material* yang mampu memberikan kenyamanan suhu sesuai dengan standar nyaman baik dari Standar Nasional Indonesia maupun referensi standar kenyamanan lainnya. Penelitian ini masih memiliki potensi untuk dikembangkan lebih dalam, hal ini dikarenakan masih banyak alternatif pemilihan material alami yang belum diketahui sifat dari *properties materialnya*. Salah satunya yaitu sifat *thermal properties material* dari bambu.

Terdapat beberapa kendala dalam proses penelitian diantaranya, kurangnya referensi terhadap beberapa karakteristik *thermal properties material* alami sehingga membatasi dalam

alternatif pemilihan material untuk dijadikan bahan simulasi rekomendasi. Untuk penelitin selanjutnya :

1. Dapat mencoba menggabungkan atau menambahkan beberapa lapisan material baru pada selubung bangunan dengan meletakkannya pada sisi luar atau dalam atau kedua-duanya secara bersamaan terhadap material eksisting untuk melihat pengaruhnya dalam bangunan
2. Dapat mencoba menambahkan elemen material lain seperti rongga udara atau material fabrikasi yang dapat digunakan kembali seperti sterofoam.
3. Dapat mencoba menggunakan metode *reflective insulation*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. 2009. Handbook of Fundamental. USA: ASHRAE.
- Bachtiar et. al, *Tipe teori pada Arsitektur nusantara Menurut josef prijotomo*, Jurnal Penelitian Thesis Volume 11 No.2, Agustus 2014, Prodi Arsitektur Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi, Makasar.
- Gatot Suharjanto, *Bahan Bangunan dalam Peradaban Manusia:Sebuah Tinjauan dalam Sejarah Peradaban Manusia*, Jurnal Penelitian Skripsi Vol.2 No.1 April 2011: 814-825, Jurusan Arsitektur Fakultas Sains dan Teknologi, Binus University, Jakarta.
- BSN. 2011. SNI 6390: *Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*, Jakarta : Penerbit BSN.
- Handayani, Sri. 2009.*Arsitektur & Lingkungan*. Bandung : Penerbit Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hans Roselund, Climate Design of Building using Passive technique. *Building Issues* No.1 vol 10 2000. LCHS Lund University. Lund Sweden 2000.
- Lippsmeier, G. 1997. *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
- Lechner, N. 2007. Heating, cooling, lighting Metode Desain untuk Arsitektur. Jakarta : Rajawali pers.
- Maharani, Sona. *Sistem Insulasi Termal sebagai Dasar Perancangan Pasar Ikan Higienis di Sendang Biru*, Jurnal Penelitian Skripsi Vol. 2 No. 2. Malang, Jurusan Arsitektur Fakultas Universitas Brawijaya.
- Menteri Kesehatan No. 261/Menkes/SK/11/1998 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja. Menteri Kesehatan Indonesia. Jakarta.
- Nugroho, A.M. Hamdan A. (2011). *A Preliminary Study Of Thermal Comfort In Indonesia's Single Storey Terraced Houses*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering.
- Totok Noerwasito, *influence Of Usage Wall Material To Energy Effiecient into Room In Big City Of Indonesia*, Proceiding International seminar: The 6th International Seminar on sustainable Encironment amd Architecture, 19-20 September 2005, Departemen Arsitektur ITB, Bandung 2005. P. 75-80.
- Talarosha, Basaria. *Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan*, Jurnal Sistem Teknik Industri Volume 6, No. 3 Juli 2005, Program Studi Arsitektur USU, Medan.

Sukowiyono, Gaguk. 2011. *Tipe Bangunan Sebagai Konsep Perolehan Panas Pada Rumah Tinggal Masyarakat Tengger Ngadas*. Jurnal Penelitian. ITN. Malang

Szokolay S.V. *Environmental Science Handbook for Architect and Builders*. The Construction Press, London, 1979.

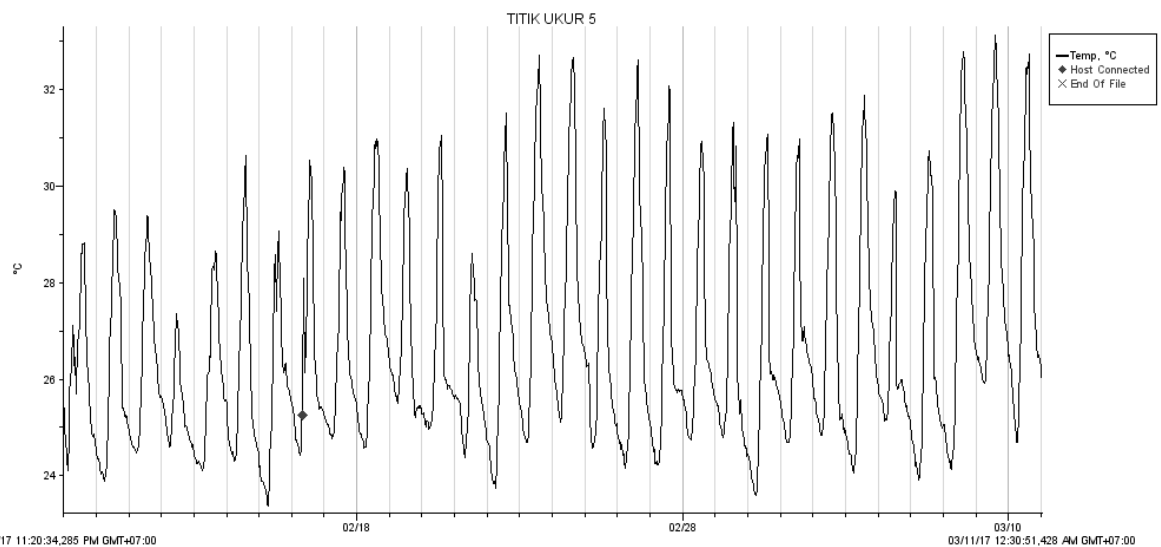
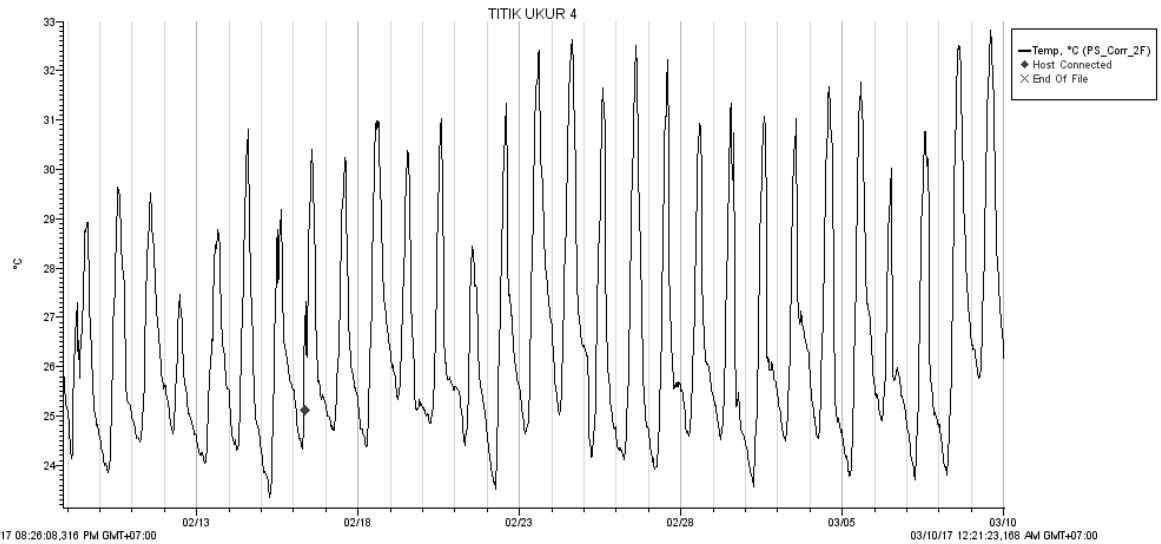
Virdianti, et. al. 2014. *Kajian Penggunaan Material Terhadap Kenyamanan Termal pada Rumah Tinggal STUDI KASUS : Rumah Tinggal Achmad Tardiyana*, Jurnal Reka Karsa, No 2, Vol 2, Malang : Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Institut Teknologi Nasional.

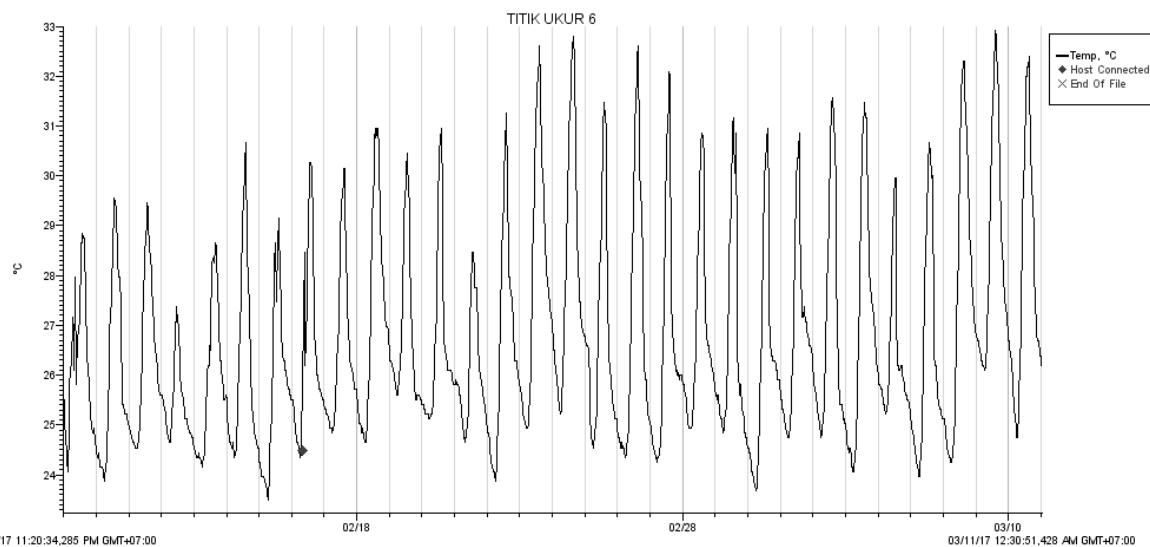
LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran Hobo Data Logger Selama 30 Hari

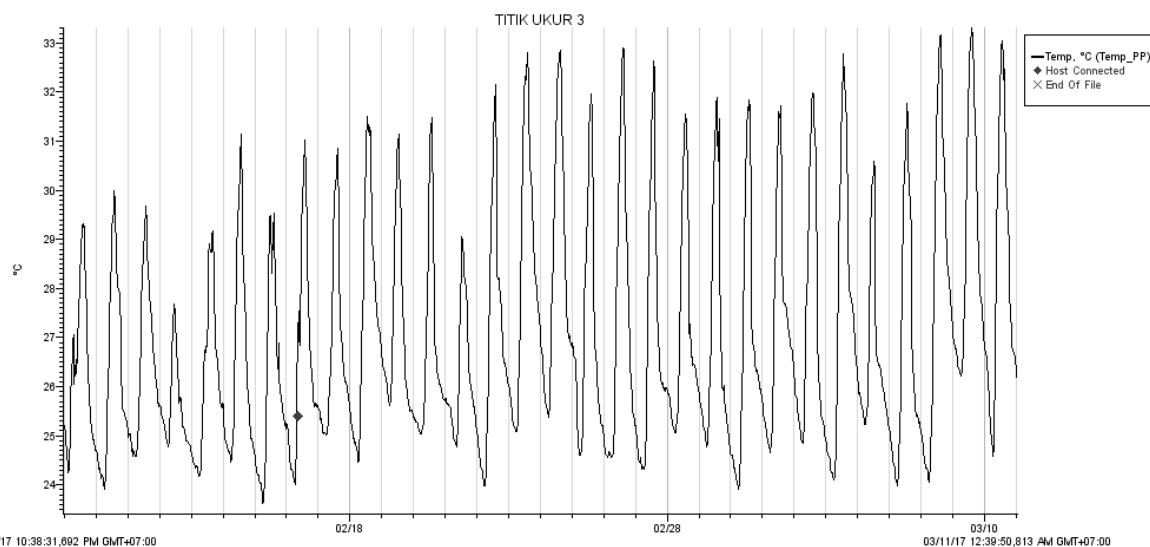
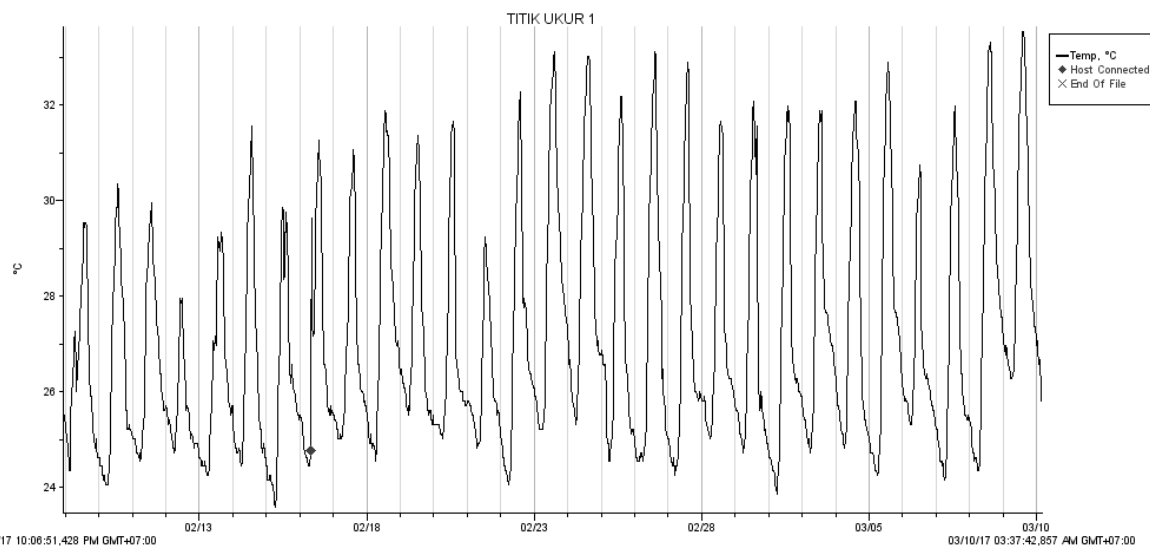
1. Ruang dalam

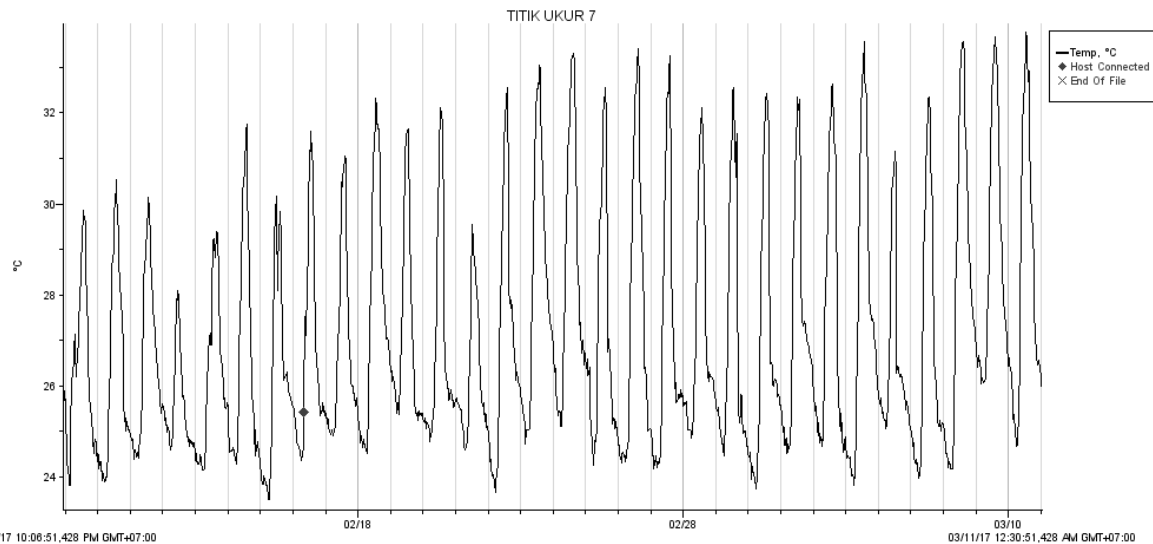
a. Masa rempah 1



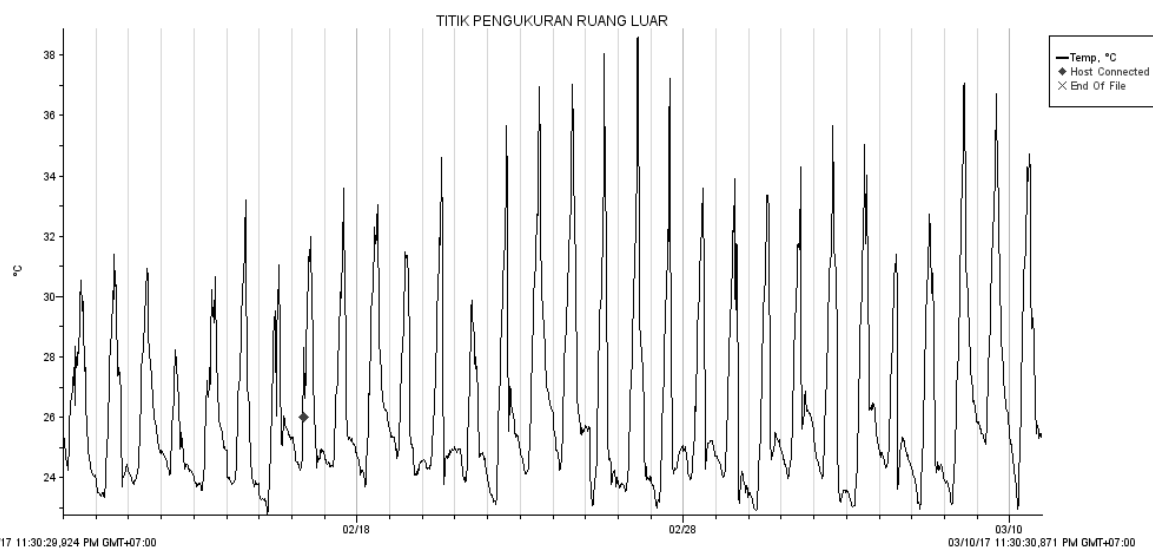


b. Masa rempah 2





2. Ruang luar



Lampiran 2. Dokumentasi Objek Penelitian

Rempah 1



Main entrance dan ruang tamu - lantai 1



Area presentasi dan ruang serbaguna - lantai 1





Kantor artciri – lantai 1



Area display – lantai 2



Area display – lantai 3



Kantor surplus – lantai 3

Rempah 2



Pintu masuk utama



Area workshop - lantai 1



Area display – lantai 2

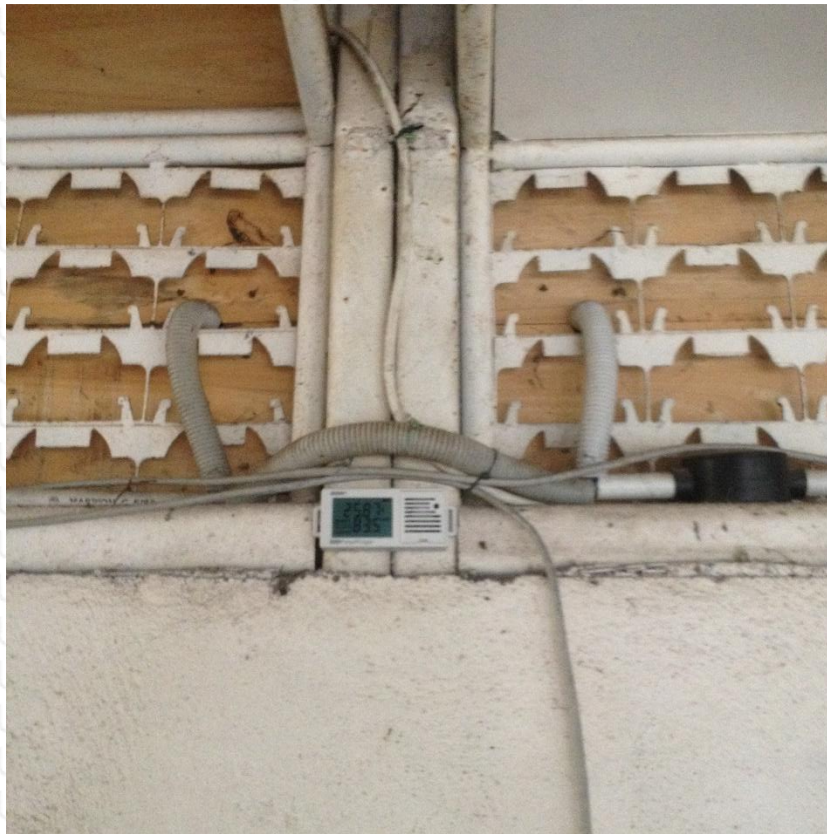


Area display - lantai 3

Lokasi peletakan titik pengukuran



Titik pengukuran luar



Titik pengukuran dalam

Elemen pelengkap bangunan



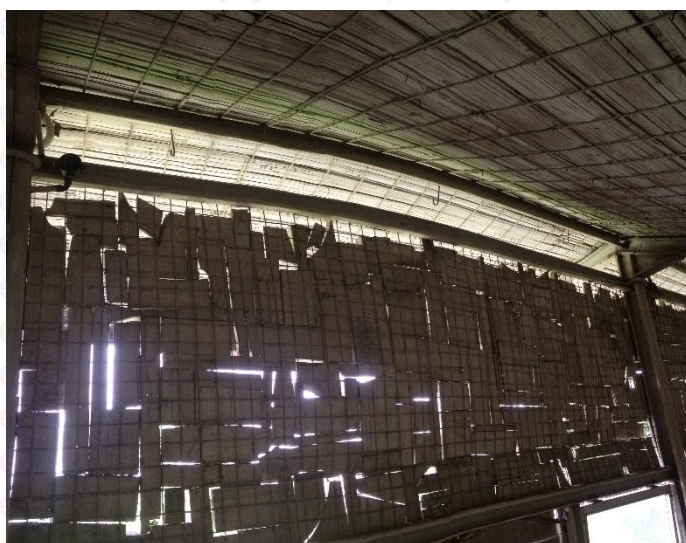
Serpihan anyaman kayu



Bambu bilah



Terpal



Aspal dan bambu bilah