



TESIS

DESAIN RUMAH NIANG DALAM MERESPON KONDISI TERMAL DI DATARAN TINGGI

PETRUS JHON ALFRED D.D
3212204002

DOSEN PEMBIMBING :
Ir. I GUSTI NGURAH ANTARYAMA, Ph.D.
Dr.Eng.Ir.Dipl.Ing. SRI NASTITI N.E, MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN ARSITEKTUR LINGKUNGAN
JURUSAN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



TESIS

NIANG HOUSE DESIGN IN RESPONSE TO THERMAL CONDITIONS IN HIGHLAND

PETRUS JHON ALFRED D.D
3212204002

SUPERVISOR :
Ir. I GUSTI NGURAH ANTARYAMA, Ph.D.
Dr.Eng.Ir.Dipl.Ing. SRI NASTITI N.E, MT.

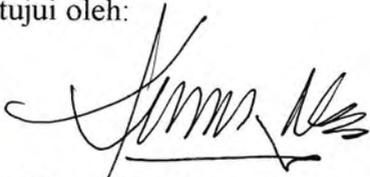
MASTER PROGRAM
ENVIRONMENTAL ARCHITECTURE
ARCHITECTURE DEPERTEMEN
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Petrus Jhon Alfred D.D
NRP. 3212 204 002

Tanggal Ujian : 6 Januari 2015
Periode Wisuda : 2015

Disetujui oleh:



1. Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.
NIP. 19680425 199210 1 001

(Pembimbing I)



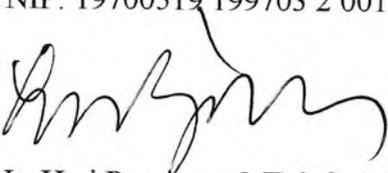
2. Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N.E., MT.
NIP. 19611129 198601 2 001

(Pembimbing II)



3. Dr. Ima Defiana, ST.MT
NIP. 19700519 199703 2 001

(Penguji)



4. Ir. Hari Purnomo, MBdgSc.IAI
NIP. 19521119 197903 1 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 19640405 199002 1 001

Desain Rumah Niang dalam Merespon Kondisi Termal di Dataran Tinggi

Nama Mahasiswa : Petrus Jhon Alfred D.D.
NRP : 3212204002
Pembimbing : Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD.
Co-Pembimbing : Dr.Eng.Ir.Dipl.Ing.Sri Nastiti N.E., MT.

ABSTRAK

Rumah Niang adalah salah satu dari sepuluh ragam Arsitektur Tradisional di Provinsi Nusa Tenggara Timur yang berada di dataran tinggi Kabupaten Manggarai (800 - 1200 dpl), yang tumbuh dari rakyat dengan segala macam tradisi serta memanfaatkan berbagai potensi-potensi lokal seperti material, teknologi dan pengetahuan yang ada. Namun potensi-potensi lokal seperti penggunaan material lokal (*lightweight*) tersebut menimbulkan permasalahan di daerah dataran tinggi yang cenderung dingin (To: 15°C - 25°C, RH: 85%) karena sifat termal dari material *lightweight* mudah lepas dan mengalir keluar sehingga dapat berpotensi menciptakan kondisi *underheating* dan mempengaruhi kondisi kenyamanan dalam bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh desain rumah Niang dalam merespon kondisi termal di dataran tinggi dan menganalisa perilaku material dari elemen desain yang berpengaruh terhadap kondisi termal rumah Niang.

Metode penelitian ini adalah simulasi dengan bantuan *software* ARCHIPAK versi 5.0. Simulasi dengan *software* ARCHIPAK digunakan untuk mencari pengaruh variabel bebas berupa bentuk (volume dan proporsi), elemen (luas permukaan) dan material (*thermal properties*) terhadap variabel terikat berupa kondisi termal di dataran tinggi. Simulasi dilakukan pada 3 model desain rumah Niang dengan perbedaan tipologi bentuk, proporsi dan elemen material yang digunakan.

Hasil akhir dalam penelitian ini menunjukkan bahwa desain rumah Niang belum dapat memberikan kenyamanan termal yang memadai terutama pada malam hari hingga pagi hari, dimana kondisi nyaman saat bangunan aktif digunakan hanya 7 jam di bulan terdingin dan 8 jam di bulan terpanas. Dari simulasi juga dapat diketahui bahwa lantai dan atap merupakan elemen yang paling kritis terhadap pelepasan panas. Meskipun dalam kondisi suhu udara yang cukup dingin, penghuni rumah Niang masih dapat merasakan nyaman. Untuk mengatasi kondisi tersebut penghuni melakukan adaptasi dengan menggunakan pakaian yang berlapis-lapis dengan nilai insulasi pakaian 0,96 clo hingga 1,30 clo.

Kata kunci : desain rumah niang, kondisi termal, dataran tinggi

Niang House Design in Response to Thermal Conditions in Highland

By : Petrus Jhon Alfred D.D.
Student Identity Number : 3212204002
Supervisor : Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.
Co-Supervisor : Dr.Eng.Ir.Dipl.Ing.Sri Nastiti N.E., MT.

ABSTRACT

Niang home is one of the ten varieties of Traditional Architecture in East Nusa Tenggara province located in the highlands of Manggarai regency (800 - 1200 above sea level), which grew out of people with all kinds of traditions and utilize a variety of local potentials such as materials, technology and knowledge which exists. But local potentials such as the use of local materials (lightweight) raises problems in upland areas that tend to be cold (To: 15 ° C - 25 ° C, RH: 85%) due to the thermal properties of lightweight material is loose and flowing out so can potentially create underheating and conditions affecting comfort conditions in buildings. This research aimed to evaluate the effect of Niang home design in response to thermal conditions in the highlands and analyze the behavior of the material of the design elements that influence the thermal conditions Niang home.

This research method is simulated with the help of software ARCHIPAK version 5.0. Simulation with ARCHIPAK software used to find the influence of independent variables such as shape (volume and proportion), element (surface area) and material (thermal properties) on the dependent variable in the form of thermal conditions in the highlands. Simulations were performed on three models with different designs Niang house typology shape, proportion and material elements are used.

The final results of this study indicate that design of house Niang can not provide adequate thermal comfort, especially at night until morning, where comfortable condition when active building used in coldest month only 7 hours and 8 hours of hottest months. From the simulation can also be seen that floor and roof is the most a critical element of the heat release. Although the air temperature is cold enough, occupants of the house Niang can still feel comfortable. To overcome the condition occupants adaptation using layered clothing and add a jacket, gloves, head cover and neck with clothing insulation values 0.96 - 1.30 clo.

Keywords: niang house design, thermal conditions, highland

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur dan kemuliaan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala limpahan kasih karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Desain Rumah Niang dalam Merespon Kondisi Termal di Dataran Tinggi”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Arsitektur Lingkungan program Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan keterbatasan pengalaman, pengetahuan maupun pustaka, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan perlu pengembangan lebih lanjut oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna dan berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua.

Penulis menyadari dalam penyelesaiannya tesis ini tidak lepas dari bimbingan, arahan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya, kepada :

1. Bapak Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D., selaku pembimbing utama sekaligus Ketua alur Arsitektur Lingkungan dan Ibu Dr.Eng.Ir.Dipl.Ing.Sri Nastiti N.E., MT. selaku pembimbing, atas kesediaan waktu untuk berdiskusi, berbagi pikir memberi arahan dan pandangan demi terselesaikannya tesis ini.
2. Ibu Dr. Ima Defiana, ST.MT., dan Bapak Ir. Hari Purnomo, MBdgSc.IAI., yang telah memberikan masukan dan saran pada saat seminar proposal dan seminar hasil tesis.
3. Ketua Program Studi Pascasarjana Arsitektur ITS Surabaya, Ibu Dr.Ir.Murni Rachmawati, MT.
4. Seluruh Dosen Program Pascasarjana Arsitektur khususnya Dosen alur Arsitektur Lingkungan yang telah memberikan materi selama perkuliahan sebagai bekal penyelesaian tesis.
5. Staf karyawan Program Pascasarjana Arsitektur : Bapak Sahal Junaedi, Mas Ari, Mas Adi, Mbak Susi Handayani, atas pelayanannya dan bantuan informasi serta dukungannya.

6. Istriku Maria Rofina, SH., atas segala doa, motivasi, perhatian dan kesabaran menunggu dirumah selama beberapa waktu serta kedua putriku Fiona dan Fiani yang menjadi harapan dan semangatku.
7. Ibunda Yohana Senggo, serta kakak, adik, keponakan dan keluarga besarku (Ende – Tanimbar) di Jakarta, Surabaya, Kediri dan Ende - Flores atas segala doa dan kasih sayangnya.
8. Teman teman seperjuangan Arsitektur Lingkungan : Prily, Eka, Iris, Suzan, Popy yang selalu berdiskusi untuk berbagi cerita serta pengalaman dan seluruh teman-teman PPs Arsitektur ITS Angkatan 2012.
9. Adik-adik mahasiswa Arsitektur Universitas Flores : Ius Palanawa, Adi Pukan, Orman Tandi, Iren Ngala, dan Maksi Banggur yang telah ikut serta membantu dan mendampingi dalam melakukan suvey di beberapa lokasi penelitian.
10. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Tesis ini dipersembahkan untuk Ayahanda “Hendrikus Ambros Embu” (Alm), yang menjadi inspirasi dan semangatku. Semoga dengan selesainya tesis ini sebagian amanat yang dipercayakan kepada penulis dapat terlaksanakan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1.1 Desain Rumah Tradisional di Indonesia	3
1.1.2 Rumah Tradisional Niang	4
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.5 Batasan Penelitian	9
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	11
2.1 Arsitektur Tradisional	11
2.2 Rumah Tradisional di Indonesia	12
2.2.1 Pola Permukiman Tradisional.....	12
2.2.2 Tatahan Ruang Rumah Tradisional	14
2.2.3 Bentuk Rumah Tradisional	14
2.2.4 Rumah Tradisional Niang	16
2.3 Lingkungan Termal.....	18
2.3.1 Kondisi Termal Bangunan	18
2.3.2 Keseimbangan Termal dalam Bangunan	20
2.4 Kenyamanan Termal	21
2.4.1 Respon Tubuh terhadap Kondisi Termal	21
2.4.2 Standar Kenyamanan Termal.....	23
2.5 Iklim di Indonesia	24
2.5.1 Iklim Tropis Lembab	24

2.5.2 Iklim di Dataran Tinggi	24
2.6 Desain Bangunan di Iklim Dataran Tinggi	25
2.7 Dasar Teori.....	29
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Metoda Penelitian	31
3.2 Tahapan Penelitian.....	33
3.3 Lokasi Penelitian.....	37
3.4 Objek Penelitian.....	38
3.5 Variabel Penelitian.....	40
3.5.1 Jenis Variabel.....	40
3.5.2 Definisi Operasional Variabel.....	40
3.6 Pengumpulan Data	42
3.6.1 Jenis Data	42
3.6.2 Teknik Pengumpulan Data.....	42
3.7 Studi Lapangan	45
3.8 Kompilasi Data	47
3.9 Simulasi.....	48
3.9.1 Pemilihan Software Simulasi.....	48
3.9.2 Langkah-langkah Pelaksanaan Simulasi.....	51
3.10 Metode Analisis Data.....	53
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Kondisi Umum Kabupaten Manggarai	55
4.1.1 Kondisi Geografis Kabupaten Manggarai	56
4.1.2 Kondisi Iklim Kabupaten Manggarai.....	56
4.2 Studi Lapangan	63
4.2.1 Kondisi Fisik Rumah Niang.....	63
4.2.2 Kondisi Iklim Lokasi Penelitian	69
4.2.3 Hasil Pengukuran Pada Obyek Penelitian.....	73
4.2.4 Hasil Pengukuran Lapangan	77

4.2.5 Respon Penghuni Terhadap Kondisi Termal	79
4.2.6 Evaluasi Kondisi Termal.....	83
4.2.7 Durasi Nyaman dan Tidak Nyaman.....	88
4.3 Simulasi.....	90
4.3.1 Penentuan Waktu Simulasi	90
4.3.2 Verifikasi Data Iklim Hasil Pengukuran dan Simulasi	91
4.3.3 Model Simulasi	94
4.3.4 Kondisi Termal Model Simulasi	97
4.3.5 Respon Termal Bangunan.....	109
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	119
5.1 Kesimpulan	119
5.2 Saran	121
DAFTAR PUSTAKA.....	123
LAMPIRAN	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengelompokan Arsitektur Tradisi	11
Gambar.2.2	Desa tradisional di Nias, rumah Toraja, rumah suku Batak	13
Gambar.2.3	Desa tradisional di Sumba, desa Wae Rebo dan Bena di Flores	13
Gambar.2.4	Rumah Rumah Nias Utara, rumah Sasak, rumah Niang.....	15
Gambar.2.5	Rumah Rumah Honai, rumah adat Alor, rumah adat Timor.....	15
Gambar.2.6	Desa Cumbi tempo dulu, desa Wae Rebo, desa Todo.....	17
Gambar.2.7	Sistim Termal pada Bangunan.....	20
Gambar 3.1	Alur Penelitian.....	34
Gambar 3.2	Peta Lokasi Penelitian.....	37
Gambar 3.3	Rumah Niang di Desa Todo, desa Wae Rebo.....	39
Gambar 3.4	Rumah Niang di Ruteng Pu'u, desa Narang.....	39
Gambar 3.5	Rumah Niang di Kumba, Desa Kuwu, Kampung Purang.....	40
Gambar 3.6	Skema Teknik Pengukuran.....	43
Gambar 3.7	Skema Teknik Perekaman.....	44
Gambar 3.8	Skema Teknik Wawancara.....	44
Gambar 3.9	Alat/ Instrumen Penelitian.....	45
Gambar 3.10	Pemasangan Alat Ukur Data Logger.....	46
Gambar 3.11	Wawancara Mengenai Sensasi Termal Penghuni.....	47
Gambar 4.1	Peta Propinsi Nusa Tenggara Timur.....	55
Gambar 4.2	Peta Kabupaten Manggarai.....	56
Gambar 4.3	Temperatur dan Kelembaban selama 5 Tahun.....	59
Gambar 4.4	Kecepatan Angin selama 5 Tahun.....	60
Gambar 4.5	Curah Hujan selama 5 Tahun.....	61
Gambar 4.6	Nilai Radiasi Matahari selama 5 Tahun.....	61
Gambar 4.7	Pola dan Tata Lingkungan di Ruteng Pu'u.....	63
Gambar 4.8	Bagian-bagian dari Rumah Niang di Ruteng Pu'u.....	64
Gambar 4.9	Pola dan Tata Lingkungan di Desa Todo.....	67
Gambar 4.10	Bagian-bagian dari Rumah Niang di Desa Todo.....	67
Gambar 4.11	Bagian-bagian dari Rumah Niang di Kumba.....	69
Gambar 4.12	Profil To dan RHo di 3 Lokasi Penelitian.....	73
Gambar 4.13	Kondisi Langit di 3 Lokasi Penelitian.....	74
Gambar 4.14	Profil Kecepatan Angin ruang luar	75
Gambar 4.15	Nilai Irradiation di 3 Lokasi Penelitian	76
Gambar 4.16	Profil Ti dan RHi Rumah Niang di 3 Lokasi Penelitian.....	78
Gambar 4.17	Profil Kecepatan Angin ruang dalam di 3 Lokasi Penelitian.....	79
Gambar 4.18	Profil To, Ti dan RHo, RHi rumah Niang Ruteng Pu'u.....	81
Gambar 4.19	Profil To, Ti dan RHo, RHi rumah Niang Todo.....	82
Gambar 4.20	Profil To, Ti dan RHo, RHi rumah Niang Kumba.....	82
Gambar 4.21	Prosentase Sensasi Termal Penghuni Rumah Niang.....	84
Gambar 4.22	Pola Berpakaian Penduduk di Lokasi Penelitian.....	85
Gambar 4.23	Nilai Insulasi Pakaian yang digunakan penghuni.....	86

Gambar 4.24 Pola Berpakaian Penduduk di Saat Cuaca Dingin	87
Gambar 4.25 Aktifitas Harian Penghuni Rumah Niang.....	87
Gambar 4.26 Profil To dan Ti di Rumah Niang Ruteng Pu'u.....	88
Gambar 4.27 Profil To dan Ti di Rumah Niang Todo.....	89
Gambar 4.28 Profil To dan Ti di Rumah Niang Kumba	90
Gambar 4.29 Grafik <i>Degree Hours</i> di Rumah Niang Hasil Lapangan.....	92
Gambar 4.30 Periode Nyaman di Rumah Niang	93
Gambar 4.31 Profil To BMKG dan Hasil Lapangan.....	95
Gambar 4.32 Verifikasi Data BMKG dan Data Hasil Lapangan.....	97
Gambar 4.33 Model Simulasi.....	98
Gambar 4.34 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 1 Bulan Terdingin.....	101
Gambar 4.35 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 2 Bulan Terdingin	102
Gambar 4.36 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 3 Bulan Terdingin.....	103
Gambar 4.37 Kondisi To dan Ti Model 1, 2 dan 3 di Bulan Terdingin.....	104
Gambar 4.38 Grafik <i>Degree Hours</i> Simulasi Model 1, 2, 3 di Bulan Terdingin	104
Gambar 4.39 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 1 Bulan Terpanas.....	105
Gambar 4.40 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 2 Bulan Terpanas.....	106
Gambar 4.41 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 3 Bulan Terpanas.....	106
Gambar 4.42 Kondisi To dan Ti Model 1, 2 dan 3 di Bulan Terpanas.....	107
Gambar 4.43 Grafik <i>Degree Hours</i> Simulasi Model 1, 2, 3 di Bulan Terpanas...	107
Gambar 4.44 Grafik <i>Degree Hours</i> Simulasi Bulan Dingin dan Panas.....	110
Gambar 4.45 Periode Nyaman pada Model Simulasi.....	110
Gambar 4.46 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 1 di Bulan Dingin.....	112
Gambar 4.47 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 2 di Bulan Dingin.....	113
Gambar 4.48 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 3 di Bulan Dingin.....	114
Gambar 4.49 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 1,2,3 di Bulan Dingin.....	115
Gambar 4.50 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 1 di Bulan Panas.....	117
Gambar 4.51 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 2 di Bulan Panas.....	118
Gambar 4.52 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 3 di Bulan Panas.....	119
Gambar 4.53 <i>Elemental Breakdown</i> pada Model 1, 2, 3 di Bulan Panas.....	120

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Riangkalan Penelitian Kinerja Termal.....	35
Tabel 3.2	Variabel Penelitian.....	41
Tabel 3.3	Rancangan Penelitian Lapangan.....	44
Tabel 3.4	Kelebihan dan Kekurangan Software Simulasi.....	50
Tabel 3.5	Model Rumah Niang.....	52
Tabel 4.1	Data Cuaca Kabupaten Manggarai Tahun 2009-2013.....	57
Tabel 4.2	Karakteristik Rumah Niang Ruteng Pu'u.....	65
Tabel 4.3	Dimensi Elemen Rumah Niang di Ruteng Pu'u.....	65
Tabel 4.4	Karakteristik Rumah Niang Todo.....	68
Tabel 4.5	Dimensi Elemen Rumah Niang di Todo.....	68
Tabel 4.6	Karakteristik Rumah Niang di Kumba.....	70
Tabel 4.7	Dimensi Elemen Rumah Niang di Kumba.....	70
Tabel 4.8	Sensasi Termal Penghuni Rumah Niang di 3 Lokasi Penelitian.....	84
Tabel 4.9	Nilai Pakaian yang Digunakan Penghuni Rumah Niang.....	85
Tabel 4.10	Profil To Bulan Terdingin dan Terpanas.....	94
Tabel 4.11	Perbandingan Data Temperatur BMKG dan Hasil Lapangan.....	96
Tabel 4.12	Karakteristik Material Model Simulasi.....	111

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Hourly Indoor Temperatures</i> pada Model 3.....	125
Lampiran 2	<i>Elemental Breakdown</i> pada Model 3.....	126
Lampiran 3	<i>Hourly Indoor Temperatures</i> pada Model 2	127
Lampiran 4	<i>Elemental Breakdown</i> pada Model 2	128
Lampiran 5	<i>Hourly Indoor Temperatures</i> pada Model 1	129
Lampiran 6	<i>Elemental Breakdown</i> pada Model 1	130
Lampiran 7	Data Pengukuran Elemen Iklim	131
Lampiran 9	<i>Cloting Value</i> Masyarakat Di Lokasi Penelitian	132
Lampiran 10	Form Data Penghuni	133
Lampiran 11	Form Data Elemen Bangunan	134
Lampiran 12	Form Data Elemen Bangunan	135

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern saat ini, energi listrik sudah menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan manusia. Segala kelengkapan dan peralatan pendukung dalam memenuhi kebutuhan hidup manusia sehari-hari, kini banyak menggunakan energi listrik. Pada skala mikro konsumsi energi listrik untuk rumah tinggal di daerah tropis rata-rata mencapai 40% dan konsumsi energi listrik untuk penggunaan pendinginan (AC) relatif lebih besar daripada untuk kebutuhan lain (Prianto, 2012).

Konsumsi energi listrik akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah bangunan. Dengan melihat besarnya konsumsi energi listrik pada bangunan yang digunakan untuk kenyamanan termal maka diperlukan upaya konservasi dan penghematan energi pada bangunan agar dalam mencapai kenyamanan termal diperoleh dengan energi yang rendah. Salah satu cara dalam konservasi dan penghematan energi adalah dengan mengoptimalkan sistem pasif. Indonesia merupakan daerah beriklim tropis lembab memiliki potensi yang besar untuk dapat memanfaatkan sumber-sumber energi alam sebagai solusi untuk masalah krisis energi guna mendapatkan kenyamanan termal melalui sistem pasif bangunan yang berbasis pada konsep arsitektur tropis.

Arsitektur tradisional dianggap sebagai arsitektur yang hemat energi, karena menerapkan strategi desain pasif dengan mengandalkan potensi alam/ iklim (Karyono, 2010). Beberapa penelitian mengenai rumah-rumah tradisional di Indonesia khususnya tentang aspek kinerja termal, menyimpulkan bahwa penggunaan energi untuk penghawaan dan penerangan dalam ruangan pada rumah-rumah tradisional sangat minim dan efisien. Pencahayaan pada siang hari pada bangunan tradisional didapatkan dari sinar alami siang hari dengan memanfaatkan bukaan pada sisi-sisi rumah dan untuk penghawaan didapatkan dari aliran udara yang masuk didalam bangunan melalui pembukaan jendela,

pintu, lubang atau celah-celah dinding. Penelitian yang dilakukan oleh Herniwati (2008) pada rumah tradisional Suku Kaili (Saoraja) menyimpulkan bahwa rumah yang dibangun di kawasan yang masih hijau atau terbuka (pemukiman yang tidak terlalu padat) suhu disekitarnya relatif lebih rendah dan tiupan angin yang masih memadai untuk memberi kenyamanan bagi penghuni bangunan. Dengan menggunakan konstruksi yang ringan maka akan mengakibatkan peningkatan suhu di siang hari dan penurunan suhu pada malam hari karena sistem konstruksinya tidak terjadi pelepasan panas, sehingga pada malam hari suhu udara terasa nyaman.

Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Suwantara, dkk (2011) pada rumah tradisional “*Uma Bot*” di kampung adat Matabesi, menjelaskan bahwa dengan penggunaan material organik (bahan penutup atap dari alang-alang, dengan struktur atap yang terbuat dari kayu) dan rumah yang berbentuk panggung sangat berpengaruh terhadap kondisi termal penghuni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja termal rumah “*Uma Bot*” sangat responsif terhadap suhu baik di musim kemarau maupun musim hujan, hal ini dibuktikan dengan besar suhu dalam ruangan yang lebih rendah pada saat suhu luar ruangan menjadi lebih tinggi dan sebaliknya.

Penelitian lainnya adalah kajian termal rumah tradisional Bena dan Wogo di Flores (Nugroho, 2012). Kenyamanan termal didapat dengan pengendalian udara yang baik melalui bukaan jendela dan celah-celah pada bagian atap, lantai dan dinding. Suhu udara dalam ruangan lebih rendah dengan suhu di luar ruangan karena strategi desain rumah tradisional ini mempertimbangkan *shading* matahari dan isolasi dari bahan serta struktur yang menyelubungi bangunan. Dengan menggunakan lapisan dinding ganda (kayu dan bambu) dapat menahan suhu selama siang hari dan meningkatkan suhu di malam hari.

Arsitektur tradisional merupakan hasil dari pengalaman klimatik selama bertahun-tahun dan telah banyak membuktikan ketangguhannya dalam merespon iklim setempat dengan baik. Sehingga arsitektur tradisional dapat dijadikan contoh dalam mendesain bangunan pada lokasi yang memiliki karakteristik iklim yang sama. Namun prinsip-prinsip dari rumah tradisional saat ini jarang dipertimbangkan dalam desain rumah masa kini, karena rumah-rumah tinggal

masa kini cenderung mengikuti perubahan global dan tren modernisasi. Dan banyak juga dijumpai rumah-rumah tradisional di Indonesia yang mengalami pergeseran makna/fungsi dan perubahan bentuk yang disebabkan oleh modernisasi (perkembangan teknologi, telekomunikasi, dan transportasi).

Dalam banyak kasus, manusia di daerah iklim tropis seringkali gagal menciptakan kondisi termis yang nyaman di dalam bangunan. Ketika berada di dalam bangunan, pengguna bangunan justru seringkali merasakan udara ruang yang panas (Karyono, 2000) sehingga kerap mereka lebih memilih menggunakan pendinginan mekanis/AC. Kegagalan dan ketidakjelian dalam merancang bangunan dengan tidak mempertimbangkan iklim setempat (panas matahari, hujan, keberadaan angin dan kelembaban) menyebabkan kita berusaha untuk menghadirkan energi tambahan (sistem pendinginan) agar dapat memperoleh kondisi nyaman dalam bangunan (Prianto, 2007).

1.1.1 Desain Rumah Tradisional di Indonesia

Indonesia merupakan daerah beriklim tropis lembab yang banyak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses terjadinya bentuk bangunan rumah tinggal, khususnya rumah tradisional. Iklim merupakan salah satu aspek sebagai penentu bentukan arsitektur, meskipun bukan merupakan aspek satu-satunya yang berpengaruh (Santosa, 1997). Kondisi iklim seperti suhu udara, kelembaban udara, radiasi matahari, angin, serta curah hujan, sangat mempengaruhi desain dari rumah-rumah tradisional. Ciri-ciri dari iklim tropis lembab yang ada di Indonesia adalah kelembaban udara yang tinggi dan temperatur udara yang relatif panas sepanjang tahun, curah hujan yang cukup tinggi serta kecepatan angin yang rendah. Dengan kondisi iklim tersebut, maka diperlukan syarat-syarat khusus dalam merancang bangunan (Lippsmeier, 1980).

Masyarakat pada jaman dahulu dalam membangun rumahnya berusaha untuk selalu menyesuaikan/beradaptasi dengan kondisi iklim setempat. Rumah-rumah tradisional di Indonesia pada umumnya sudah sangat memperhatikan prinsip-prinsip desain yang sesuai dengan kondisi iklim, hal ini dapat dilihat dari tatanan lingkungan dan sistim konstruksi hunian tradisional rata-rata menghasilkan tingkat responsivitas yang tinggi pada lingkungan iklim (Santosa, 1995). Struktur

dan konstruksi rumah tradisional menggunakan bahan atau material lokal yang mempunyai tahan panas yang besar (seperti kayu, batu, rotan dan bambu). Orientasi bangunan menghadap Utara dan Selatan, dengan memperkecil luas permukaan yang menghadap ke Timur dan Barat serta melindungi dinding dengan alat peneduh/*overstek* merupakan cara untuk melindungi/mengurangi aliran panas yang masuk ke bangunan. Lantai diangkat dari tanah dan berbentuk panggung, hal ini dilakukan dengan tujuan agar terhindar dari banjir dan untuk mengatasi kelembaban yang tinggi.

Menurut Egan (1995), pemakaian energi pada bangunan tradisional yang beriklim tropis lembab dapat efisien bila bangunan tradisional tersebut mempunyai:

- Lingkungan disekitar bangunan yang masih hijau sehingga dapat berfungsi sebagai penyaring atau penahan aliran angin.
- Disekitar bangunan ditumbuhi rumput dan tanaman hijau yang dapat berfungsi untuk mengurangi refleksi panas yang ditimbulkan oleh radiasi matahari secara langsung ke tanah.
- Ventilasi yang cukup sehingga angin dapat masuk melalui ruang atap (ruang antara langit-langit dan atap).
- Lantai yang ditinggikan dari tanah/berbentuk panggung karena memungkinkan udara dibawah lantai dapat bersirkulasi dengan baik sehingga tidak terjadi lembab.
- Teritisan bangunan yang dapat melindungi sinar matahari sehingga panas matahari tidak langsung mengenai dinding bangunan.
- Dinding yang ringan sehingga dapat mencegah munculnya panas dari radiasi matahari pada sore hari.

1.1.2 Rumah Tradisional Niang

Rumah tradisional Niang merupakan bangunan berbentuk panggung bertingkat lima dan masih dapat ditemui di beberapa lokasi di Kabupaten Manggarai, yaitu di Todo, Waerebo (masih sesuai dengan karakter fisik aslinya) dan di Ruteng Pu'u, Kumba, Cibal, Narang, Pagal (yang mengalami perubahan

bentuk). Dalam buku *Arsitektur Proto Mongoloid Negroid Austroloid* dikatakan bahwa bangunan tradisional Manggarai terletak di Kabupaten Manggarai dan merupakan salah satu dari sepuluh ragam arsitektur tradisional di Provinsi Nusa Tenggara Timur (Damayanti dan Suprijanto, 2009).

Menurut tata adat Manggarai, rumah tradisional Niang terdiri dari tiga bagian utama yakni, bagian bawah (kolong), bagian tengah (ruang tinggal) dan bagian atas (atap). Bangunan tradisional Manggarai yang dikenal dengan sebutan Mbaru Niang, merupakan tipe bangunan bertingkat lima dengan ketinggian mencapai 11 - 22 m. Bentuk dasar denah bangunan adalah lingkaran dengan diameter 11 - 20 m dan mampu menampung 6 sampai 8 kepala keluarga.

Rumah Niang ini memiliki kekhasan tersendiri yaitu bentuknya yang unik dan berbeda dengan rumah-rumah tradisional lainnya yang ada di Indonesia, karena bentuk denahnya bundar dengan atap kerucut. Konstruksi atapnya yang menjuntai ke bawah berfungsi sebagai pelindung/pernaungan bangunan. Dinding pada bangunan hanya terdapat pada bagian depan pintu masuk. Tidak memiliki jendela, hanya memiliki sebuah pintu pada bagian depan. Desain bangunan yang tertutup dan sedikit bukaan, hal ini sesuai dengan prinsip perancangan arsitektur pada daerah dataran tinggi yaitu menghindari kondisi panas pada siang hari dan mereduksi pelepasan panas pada malam hari ketika suhu menjadi dingin. Keistimewaan dari desain rumah Niang tersebut, merupakan potensi yang perlu diteliti lebih lanjut.

Keberadaan rumah Niang, saat ini makin terpinggirkan dan mengalami perubahan bentuk karena masyarakat pada umumnya sudah tidak menggunakan rumah Niang sesuai dengan karakter fisik aslinya. Karakteristik fisik rumah Niang yang telah mengalami perubahan bentuk adalah denah berbentuk lingkaran dengan patahan struktur di tiap sudut (membentuk segi 12) dengan diameter 11 m x 11 m, seluruh bangunan diselubungi dinding dan di sekeliling dinding terdapat bukaan jendela. Perubahan karakteristik bentuk rumah Niang tersebut disebabkan oleh beberapa faktor-faktor yaitu kesulitan dalam pelaksanaannya, masyarakat sudah tidak lagi menguasai pengerjaan struktur seperti aslinya dan sulitnya dalam mendapatkan material lokal.

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan pada rumah Niang adalah penelitian tentang ekologi dan budaya (Alerton, 2008), konservasi rumah Niang (Damayanti, 2009; Antar, 2011), teknologi struktur dan konstruksi (Damayanti, 2012), namun sampai saat ini belum pernah ada penelitian mengenai rumah Niang dalam aspek termal. Penelitian mengenai rumah-rumah tradisional di Indonesia khususnya tentang aspek termal didataran tinggi memang telah banyak dilakukan (Nugroho, 2012; Fitriaty, 2011; Samodra, 2009; Suskowiyo, 2004), namun penelitian-penelitian tersebut pada umumnya adalah rumah-rumah tradisional yang berbentuk persegi panjang, hal inilah yang membedakan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya karena desain dari rumah Niang denahnya berbentuk lingkaran dan atap berbentuk kerucut dengan ketinggian 6 m hingga 22 m dari permukaan lantai. Oleh karena itu, penelitian mengenai desain rumah Niang khususnya dalam aspek termal perlu dilakukan guna mengetahui prinsip-prinsip desainnya dalam merespon kondisi termal di dataran tinggi. Sehingga prinsip-prinsip dari desain rumah Niang ini dapat dipertahankan dan didayagunakan kembali pada kondisi iklim lokalnya.

Secara umum 75% luas daratan kabupaten Manggarai memiliki ketinggian di atas 800 - 1500 meter diatas permukaan air laut dan suhu udara di wilayah ini terbilang cukup dingin dengan suhu udara berkisar 15°C sampai dengan 25°C. Pada musim kemarau terutama pada bulan Juli sampai Agustus adalah bulan terdingin, dimana suhu udara dapat mencapai 12°C pada pagi hari. Ada kebiasaan unik masyarakat dan penghuni rumah Niang, adalah kebiasaan berjemur di bawah terik sinar matahari pada pagi hari untuk mengusir udara dingin. Dan untuk menghangatkan tubuh ketika udara dingin, mereka banyak mengkonsumsi makanan yang hangat dan memakai pakaian lebih tebal dan tertutup. Pakaian yang sering dipakai sehari-hari adalah baju kaos, baju kemeja, celana pendek, celana panjang dan sarung. Apabila kondisi iklim lebih dingin, maka pakaian yang dikenakan berlapis-lapis dengan menambah jaket, sarung, penutup kepala dan leher.

Penghuni rumah Niang sering melakukan aktifitas mereka dengan bekerja di kebun dari pagi sampai sore hari (pukul 08.00 hingga 16.00). Bertani adalah mata

pencapaian utama yang digeluti secara turun temurun. Komoditas utama yang dibudidayakan adalah kopi, cengkeh, pala, vanili, sayuran dan buah-buahan. Selain bertani aktifitas yang dilakukan pada siang hari adalah menerima tamu (kunjungan wisatawan), berternak, memasak dan menenun. Disaat malam hari, penghuni rumah Niang sering berkumpul dan melakukan aktifitas seperti, berdiskusi, menerima tamu, menonton televisi, dan menganyam tikar.

Meskipun dalam kondisi lingkungan dan suhu udara yang cukup dingin, masyarakat dan penghuni rumah Niang masih dapat merasakan nyaman. Kenyamanan ini didasari oleh bentuk dari adaptasi penghuni rumah dalam merespon kondisi termal di dataran tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat ditentukan indikasi permasalahan sebagai berikut:

- Kondisi lingkungan yang cukup dingin dengan suhu udara berkisar 15°C sampai dengan 25°C, tingkat kelembaban rata-rata relatif tinggi yaitu 85%, dan kondisi langit cenderung mendung serta berkabut. Dengan kondisi iklim tersebut, dapat berpotensi untuk menciptakan kondisi *underheating* pada malam hari sehingga mempengaruhi kondisi kenyamanan dalam bangunan.
- Desain dari rumah Niang dengan karakteristik fisik yang Asli, yaitu tertutup dan tidak ada bukaan permanen, namun berbentuk *single layer* dan terdapat celah-celah (atap, dinding dan lantai) serta menggunakan material konstruksi ringan (*lightweight*). Secara teori, hal ini dapat menyebabkan panas di dalam bangunan mudah dilepaskan dan mengalir keluar, sehingga menurut Antarayama, dkk, (2006), Samodra (2009) dan Fitriaty (2011) bangunan dengan material konstruksi ringan tidak dianjurkan untuk di aplikasikan di daerah dataran tinggi.
- Desain rumah Niang yang mengalami perubahan bentuk menggunakan material konstruksi ringan (*lightweight*) dan memiliki banyak bukaan/jendela. Jumlah bukaan/jendela terbanyak berada pada posisi arah Timur – Barat, hal ini tidak sejalan dengan teori yang disampaikan oleh Koeningsberger, dkk

(1975) bahwa didaerah dataran tinggi, memasukan angin dan udara dingin tidak terlalu diperlukan sehingga tidak terlalu membutuhkan bukaan/ventilasi.

- Di lokasi penelitian, penghalang lingkungan (*obstruction*) seperti bangunan sangat kecil, jarak antar bangunan relatif jauh (kepadatan rendah) dan pola permukimannya menyebar, sehingga menurut Evans (1980) dan Samodra, (2009) hal ini dapat berpotensi untuk pergerakan udara dingin yang cukup tinggi.

Dari indikasi permasalahan diatas, dapat dipaparkan beberapa pertanyaan dari penelitian yang diajukan adalah:

1. Bagaimana pengaruh desain rumah Niang terhadap kondisi termal di dalam bangunan?
2. Bagaimana respon penghuni rumah Niang terhadap kondisi termal di dataran tinggi?
3. Bagaimana perilaku material dari elemen desain rumah Niang terhadap kinerja termal rumah Niang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi pengaruh desain rumah Niang dalam merespon kondisi termal di dataran tinggi.
2. Menganalisa respon dari penghuni rumah Niang terhadap kondisi termal di dataran tinggi.
3. Menganalisa perilaku material dari elemen desain yang berpengaruh terhadap kinerja termal rumah Niang.
4. Memperoleh gambaran mengenai kinerja (*performance*) dari ketiga model/varian rumah Niang (karakter fisik asli dan karakter fisik mengalami perubahan bentuk), yang lebih mampu merespon kondisi termal di dataran tinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Aspek teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya teori dan pengetahuan terhadap pengaruh desain bentuk, elemen bangunan dan penggunaan material bangunan terhadap kondisi termal di dataran tinggi sehingga menjadi masukan bagi penelitian-penelitian sejenis dan memberikan gambaran aplikasi teori yang dipakai.

2. Aspek Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepada perancang/arsitek, pengembang bangunan dan masyarakat di Kabupaten Manggarai, agar dalam mendesain hunian perlu mempertimbangkan perletakan desain bangunan (orientasi bangunan terhadap matahari dan angin), pemanfaatan elemen-elemen arsitektur dan pemakaian material/bahan bangunan yang sesuai dengan karakter dan prinsip-prinsip aspek termal di dataran tinggi tropis lembab.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk mendapatkan penelitian yang terarah dan mencapai sasaran yang diharapkan, maka dibuat batasan penelitian sebagai berikut :

1. Kondisi termal bangunan yang dimaksud adalah kondisi temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin pada desain rumah Niang.
2. Penelitian ini dibatasi pada desain bentuk (volume dan proporsi bangunan), elemen (luas permukaan dari lantai, atap dan dinding) dan material (*thermal properties*) dari desain rumah Niang.
3. Penelitian ini hanya didasarkan pada kondisi dan iklim yang ada pada saat masa sekarang.
4. Dalam penelitian ini simulasi dilakukan hanya pada bulan terdingin dan bulan terpanas. Tujuan simulasi pada bulan-bulan tersebut untuk memberikan gambaran bagaimana respon dari bangunan terhadap potensi iklim ekstim yang terjadi dalam satu tahun.

'Halaman ini sengaja di kosongkan'

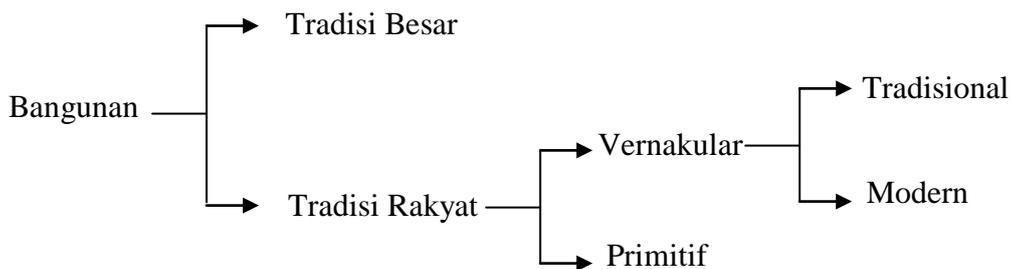
BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Arsitektur Tradisional

Arsitektur tradisional merupakan karya dari pewarisan norma-norma adat istiadat dan pewarisan dari budaya yang secara turun-temurun dari generasi ke generasi. Arsitektur tradisional sangat melekat dengan tradisi, tatanan kehidupan masyarakat, serta pola perilaku pada kehidupan masyarakatnya sehari-hari. Arsitektur tradisional tumbuh dari rakyat dengan segala macam tradisi dan memanfaatkan berbagai potensi-potensi lokal seperti material, teknologi dan pengetahuan yang ada.

Rapoport (1969) membagi arsitektur tradisi rakyat dalam dua bagian yaitu: arsitektur primitif dan arsitektur vernakular, sedangkan arsitektur vernakular dibagi menjadi dua bagian lagi yaitu vernakular tradisional dan vernakular modern.



Gambar 2.1. Pengelompokan Arsitektur Tradisi (Rapoport, 1969)

Arsitektur tradisi besar merupakan karya-karya yang bersifat monumental, megah, dan dibuat untuk kepentingan bersama, pemerintah atau kelompok-kelompok tertentu untuk menunjukkan kekuasaannya. Arsitektur tradisi rakyat, merupakan tuntutan akan kebutuhan dan nilai-nilai yang ada didalam kehidupan manusia yang dilakukan secara sadar ke dalam bentuk fisik dari suatu budaya.

Arsitektur tradisional ditemukan secara *trial and error* oleh rakyat itu sendiri. Bentuk-bentuk atau model dari arsitektur tradisional terjadi karena disebabkan

oleh enam faktor yang dikenal sebagai *modifying factor* diantaranya adalah: faktor bahan, faktor teknologi, faktor iklim, metode konstruksi, penentuan lokasi dan faktor sosial-budaya (Rapoport, 1969). Papanek (1995) menerangkan bahwa karya arsitektur dibuat untuk pemenuhan akan kebutuhan dalam memenuhi hasrat manusia sebagai makhluk sosial. Kebutuhan dasar manusia di mana saja adalah sama, tetapi kebudayaan mencerminkan suatu kebutuhan dasar manusia ke dalam suatu bentuk arsitektur yang menjadi sangat berbeda satu sama lainnya.

Arsitektur tradisional memiliki hubungan yang sangat erat dengan budaya dan kepercayaan masyarakat. Elemen-elemen arsitektur tradisional merupakan suatu perwujudan dari keseluruhan kehidupan masyarakat dalam hubungannya dengan kepercayaan, sosial budaya, hubungan kekeluargaan/kekrabatan, serta dalam kaitannya dengan kehidupan manusia sejak lahir sampai akhir hayat.

Dalam pembentukan *setting* lingkungan, Paul (1995) berpendapat bahwa terdapat beberapa unsur yang dapat dijadikan pendekatan, antara lain: *Climate*: kutub dan semi kutub, berkaitan dengan benua, gurun, kelautan, laut Tengah, Tropis, sub tropis, *Location and Site*: perladangan, pantai, padang pasir, hutan, padang rumput, dataran rendah, kelautan, lereng, dataran tinggi, lembah, *Natural Disaster*: gempa bumi, banjir, longsor, salju, topan tropis, *Population*: dari tempat asli, dampak kepadatan, pertumbuhan, migrasi, urbanisasi, *Settlement*: mengelompok, bersatu, daerah tertutup, acak, grid, linear, titik, organik, daerah antara/pinggiran.

2.2 Rumah Tradisional di Indonesia

2.2.1 Pola Permukiman Tradisional

Pola permukiman adalah cara manusia menempatkan diri di wilayah dia bermukim yang berkaitan dengan tempat tinggalnya. Pola permukiman juga merupakan refleksi dari lingkungan alam, tingkat teknologi dan keragaman dari komunitas yang bersangkutan (Sukawi, 2010). Dalam pemilihan lokasi dan penataan/pola letak permukiman, masyarakat tradisional mengikuti kepercayaan dan aturan-aturan yang ada. Beberapa aturan sangat praktis dan beberapa juga sangat simbolik. Namun demikian pemilihan dan penataan/pola letak permukiman tersebut secara langsung ataupun tidak langsung sangat terkait dengan

pertimbangan dengan iklim. Tatanan lingkungan dan hunian pada umumnya mengikuti pertimbangan orientasi tertentu dengan pertimbangan kondisi geografi atau berorientasi pada satu arah tertentu (Santosa, 2001).

Di Indonesia, pola permukiman dari kampung-kampung tradisional berupa pola memusat, mengikuti kontur tanah dan linear. Pola linier adalah pola permukiman yang sering dijumpai di daerah dataran tinggi. Bangunan pada kampung-kampung yang bersifat linear letaknya berbaris dan saling berhadapan satu sama lainnya, diantara barisan bangunan tersebut terdapat ruang bersama yang digunakan untuk berbagai macam kegiatan seperti untuk berkumpul, melakukan pemujaan atau ritual keagamaan (Fitri, 2006).



Gambar 2.2 Desa tradisional di Nias (kiri), rumah Toraja (tengah), rumah suku Batak (kanan) (Sumber diambil dari: <http://rumahadat.blog.com>)



Gambar 2.3 Desa tradisional di Sumba (kiri), desa Wae Rebo di Flores (tengah), desa Bena di Flores (kanan) (Sumber : <http://noenkcahyana.blogspot.com>)

Pola tatanan lingkungan yang tersebar dengan ruang publik di beberapa tempat (ruang bersama, ruang terbuka) dan jarak antara hunian yang cukup, dapat memberikan kesempatan angin untuk dapat terdistribusi ke masing-masing hunian (Santosa, 2001).

2.2.2 Tatanan Ruang Rumah Tradisional

Konsep tatanan ruang dalam rumah tradisional pada umumnya sama dengan konsep dari tatanan ruang perkampungan. Bentuk tatanan ruang yang sederhana dilingkungan/pola permukiman maupun dihunian/tatanan ruang dalam keduanya merupakan satu kesatuan. Secara fisik tatanan ruang dalam sangat sederhana, pembatas ruang tidak sampai mencapai ketinggian dari atap, sehingga ruang dalam pada rumah tradisional terbentuk satu volume ruang yang kompak yang dapat menghasilkan sistem ventilasi dan pergantian udara yang mudah tanpa hambatan. Tatanan ruang dengan geometri yang kompak dan sederhana dalam bentuk *single zone* merupakan bentuk yang potensial untuk penghalauan panas (Santosa, 2001).

Pembagian ruang dapat dikategorikan secara vertikal dan horizontal. Secara horizontal, terdapat bagian dari rumah yang dianggap paling sakral atau suci adalah bagian dalam atau belakang, sehingga menjadi tempat untuk pemujaan atau penyimpanan benda-benda keramat atau warisan dari leluhur, (Fitri, 2006). Secara vertikal, pembagian ruang terdiri dari bagian atas, tengah dan bawah. Bagian atas sebagai ruang sakral sehingga barang-barang yang dianggap keramat disimpan di ruang atas. Ruang tengah, adalah untuk kehidupan manusia dan ruang bawah adalah untuk binatang atau ternak (Fitri, 2006). Pembagian atas tiga bagian ini dipengaruhi oleh kondisi alam dan kosmologi dari masyarakatnya. Umumnya masyarakat tradisional memiliki kepercayaan terhadap pembagian dunia atau alam ke dalam tiga bagian yaitu dunia atas sebagai tempatnya para dewa, dunia tengah bagi kehidupan manusia, dan dunia bawah bagi roh-roh jahat, (Soeroto, 2007).

2.2.3 Bentuk Rumah Tradisional

Arsitektur tradisional di Indonesia pada umumnya berbentuk panggung yang dimanifestasikan dengan antropometrik dengan tubuh manusia yaitu atap sebagai kepala, badan sebagai bagian tengah dan bagian bawah sebagai kaki pada tubuh manusia (Sumalyo, 2001). Sebagian besar rumah tradisional di Indonesia kecuali rumah Jawa, Bali, Lombok dan Papua, menggunakan struktur rangka tiang kayu atau tipe rumah panggung sebagai upaya dari adaptasi dengan iklim dan geografi (Fitri, 2006).

Umumnya rumah tradisional di Indonesia terdiri dari persegi panjang dan bujur sangkar, contohnya seperti rumah Aceh, Batak, Nias Selatan, Mentawai, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali dan Sumba. Namun ada juga beberapa rumah tradisional yang menggunakan bentuk lingkaran dan elips seperti rumah di Nias Utara, Lombok, Nusa Tenggara Timur (Manggarai, Alor, Timor) dan Papua. Beberapa rumah tradisional di Indonesia adalah tipe rumah komunal, dimana terdapat beberapa keluarga yang memiliki kekerabatan dengan beberapa generasi yang berbeda, tinggal dalam satu rumah besar seperti rumah tradisional Batak Toba, Karo, Minangkabau, Mentawai, Kalimantan, Flores, Sumba, (Fitri, 2006).



Gambar 2.4 Rumah Nias Utara (kiri), rumah Sasak, Lombok (tengah), rumah Niang, Manggarai (kanan)



Gambar 2.5 Rumah Honai, Papua (kiri), rumah adat Alor (tengah), rumah adat Timor (kanan)

Rumah panggung adalah salah satu bentuk kearifan tradisional di Indonesia, yang merupakan hasil produk dari budaya masyarakat setempat. Bentuk rumah panggung ini merupakan adaptasi masyarakat terhadap lingkungan alam, seperti menghindari banjir dan binatang buas. Huyen (1983) menjelaskan bahwa bentuk rumah panggung dibangun karena berbagai aspek yaitu aspek dari luar, antara lain: pengaruh alam (banjir, lahan tidak rata, berbukit-bukit, kelembaban,

keamanan). Dan aspek dari dalam adalah adat istiadat, pola hidup maupun kepercayaan dan religi penghuninya. Menurut Sukawi (2009) dan Mangunwijaya (1995), konstruksi lantai panggung dibuat dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Untuk mendapatkan ventilasi yang baik dibawah bangunan.
- Untuk mengurangi kelembaban yang tinggi pada permukaan tanah, sehingga lantai dinaikan.
- Agar bangunan diatasnya aman terhadap banjir dan binatang buas.

Diberbagai daerah di Indonesia, rumah panggung masih dipertahankan karena keselarasannya dengan alam sekitar. Lantai rumah panggung di daerah daratan biasanya berjarak 1-2 meter dari tanah, sedangkan di daerah rawa atau lahan basah bisa berjarak hingga 4-10 meter dari permukaan air terendah saat surut, (Prasetyo. dkk, 2007). Banyak rumah panggung terutama di kawasan darat, ruang kolong rumah digunakan untuk melakukan aktivitas bagi penghuninya seperti menenun dan memelihara ternak.

Selain bentuk panggung, bentuk atap pada rumah tradisional juga sangat dipengaruhi oleh adaptasi dengan lingkungan, karena bentuk atap merupakan produk dari mitosis, latar belakang sosial dan budaya atau pendekatan semiotika (Hardiman, 2008). Bentuk atap yang bervolume besar menjulang dengan teritisan yang lebar, salah satu tujuannya adalah sebagai penyelesaian terhadap permasalahan kondisi iklim tropis panas lembab dengan curah hujan yang tinggi (Tjahjono, 1998) serta kemiringan atap yang cukup tinggi digunakan untuk mempercepat limpahan air hujan. Bentuk atap yang bervolume besar juga dapat digunakan sebagai penyimpan panas (*thermal mass*) sehingga dapat dilepaskan ke dalam ruangan pada malam harinya (Saud. dkk, 2012).

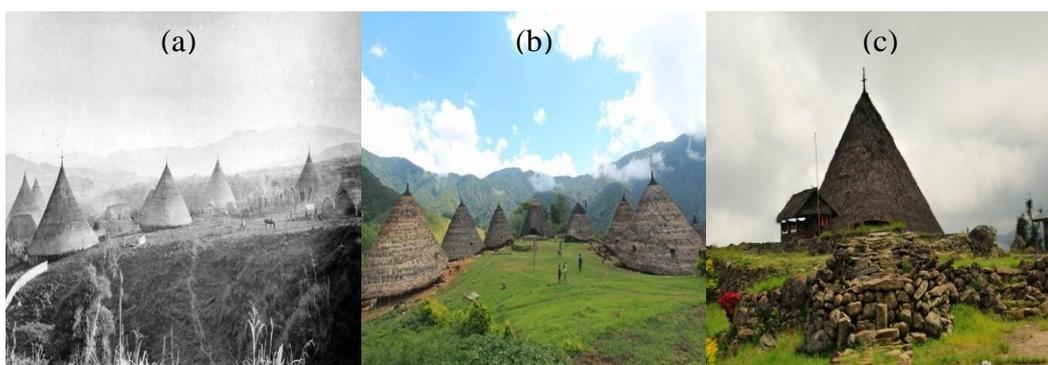
2.2.4 Rumah Tradisional Niang

Rumah Niang adalah rumah tradisional suku Manggarai. Suku Manggarai menyebar di tiga kabupaten ujung barat Pulau Flores, yaitu Manggarai Timur, Manggarai dan Manggarai Barat. Rumah Niang merupakan bangunan bertingkat lima dan masih dapat ditemui di beberapa lokasi di Kabupaten Manggarai. Rumah Niang dengan karakter fisik yang asli sudah sangat jarang ditemukan. Rumah

Niang dengan karakter fisik yang asli hanya ada di wilayah Satar Mese (desa Todo) dan Satar Mese Barat (desa Waerebo).

Dulu awalnya di seluruh wilayah Manggarai, masyarakat kebanyakan masih hidup terisolasi dan pada umumnya masih tinggal di rumah-rumah tradisional yang berbentuk bundar dengan atap kerucut (rumah Niang), namun ketika Belanda datang di Manggarai (tiga kali ekspedisi Belanda ke Manggarai, yaitu tahun 1850, 1890, dan tahun 1905) dan mengambil alih penguasaan atas Manggarai, akhirnya dimulailah pembangunan dimana-mana dan mempersatukan kedaulan menjadi satu kerajaan (Moeliono, 2008).

Pada tahun 1929, Alexander Baruk dari Todo dipilih dan dinobatkan sebagai pemimpin Manggarai dan Ruteng menjadi ibukota. Kemudian rumah-rumah Niang dirobohkan karena dianggap rumah tersebut tidak *higienis*. Atas kebijakan pemerintahan kolonial, penduduk dari desa di gunung didorong melakukan perpindahan ke dataran rendah dan dimulailah pembangunan rumah-rumah kecil berbentuk petak (Allerton, 2008). Dan keberadaan rumah bundar dengan atap kerucut yang ada di seluruh wilayah Manggarai, akhirnya punah dan hanya tersisa di desa Todo dan Wae Rebo.



Gambar 2.6 Desa Cumbi tempo dulu (a), desa Wae Rebo (b), desa Todo (c)

Karena memiliki nilai sejarah, rumah bundar dengan atap kerucut (Niang Gendang) di desa Todo tetap dilestarikan oleh raja pada masa itu. Berdasarkan cerita lisan rumah Niang di desa Todo diperkirakan dibangun pertengahan abad ke-18 dan bangunan itu kemudian roboh pada akhir tahun 1960-an. Dengan bantuan dari LSM Swiss dan Misionaris luar negeri, pada tahun 1990 sampai 1993 rumah itu bisa dibangun kembali, dengan gaya dan cara yang hampir sama

persis dengan rumah bersejarah yang lama (Erb, 2008). Selain di desa Todo, Wae Rebo merupakan salah satu desa yang rumah Niangnya masih dipertahankan. Bertahannya rumah Niang di desa Wae Rebo, tentu saja berkaitan dengan letaknya yang relatif terpencil dan masyarakatnya pada saat itu menolak untuk meninggalkan dataran tinggi.

Untuk mempertahankan eksistensi dan keberlanjutan bangunan tradisional di Manggarai, pada tahun 1930-an masyarakat adat membangun rumah adat mereka (rumah Niang) berbentuk bundar dengan tetap mempertimbangan faktor *higienis*, sesuai arahan dari pemerintahan Kolonial. Sehingga mulai saat itu, rumah adat (rumah Niang) mengalami perubahan fungsi dan bentuk (berbeda dengan keadaan sebelumnya).

Setelah masa kemerdekaan, masyarakat adat kembali melakukan upaya pelestarian bangunan tradisional. Namun upaya-upaya tersebut mendapatkan kendala-kendala yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain dari segi pendanaan, partisipasi masyarakat (masyarakat sudah tidak lagi menguasai pengerjaan struktur seperti aslinya) dan teknologi struktur dan konstruksi yang digunakan (kesulitan dalam pelaksanaannya dan sulitnya dalam mendapatkan material lokal).

2.3 Lingkungan Termal

2.3.1 Kondisi Termal Bangunan

Kondisi termal pada bangunan dipengaruhi oleh kondisi iklim dan ditentukan oleh kinerja termal dari bangunan. Kondisi termal tersebut disebabkan oleh adanya perpindahan aliran panas antara bangunan dan lingkungannya. Perpindahan panas antara bangunan dan lingkungannya dipengaruhi oleh modifikasi dari material selubung bangunan yang akan menentukan temperatur dalam bangunan.

Menurut Givoni (1998) pertukaran panas antara bangunan dan lingkungannya dapat berlangsung dan terjadi melalui proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.

- Konduksi adalah proses perpindahan panas dari molekul yang panas ke molekul yang dingin melalui zat padat. Kecepatan perpindahan panas secara

konduksi tergantung pada nilai konduktifitas dari material serta ketebalan elemen selubung bangunan.

- Konveksi adalah proses perpindahan panas oleh gas dan air (zat fluida) yang disebabkan oleh perbedaan temperatur dan pergerakan udara secara paksa.
- Radiasi adalah proses perpindahan panas antara permukaan melalui gelombang elektromagnetik yang melalui udara.

Dalam proses pertukaran panas yang terjadi akan melibatkan perolehan panas dan pelepasan panas yang berlangsung melalui selubung bangunan dengan cara yang berbeda-beda, tergantung pada *thermophysical properties* dan material dari selubung bangunan (Givoni, 1998). Penggunaan bahan atau material yang mempunyai tahanan panas yang besar, dapat mengurangi panas karena laju aliran panas yang menembus bahan tersebut menjadi terhambat.

Pada bidang bangunan yang terbayangi, panas yang masuk ke dalam ruang hanya terjadi melalui proses konduksi saja karena adanya perbedaan suhu luar dan suhu di dalam. Akan tetapi pada bidang bangunan yang terkena sinar matahari (tidak terkena bayangan), maka panas yang masuk ke dalam ruang dapat melalui proses radiasi akibat dari radiasi balik dari panasnya dinding yang terkena sinar matahari (Sukawi, 2010). Menurut Egan (1995) kehilangan (atau pengumpulan) panas dari bangunan dapat dikurangi dengan penggunaan bahan-bahan insulasi yang mempunyai sifat konduksi rendah dan penggunaan bahan-bahan yang dapat memantulkan cahaya di udara untuk mengurangi perpindahan panas melalui radiasi.

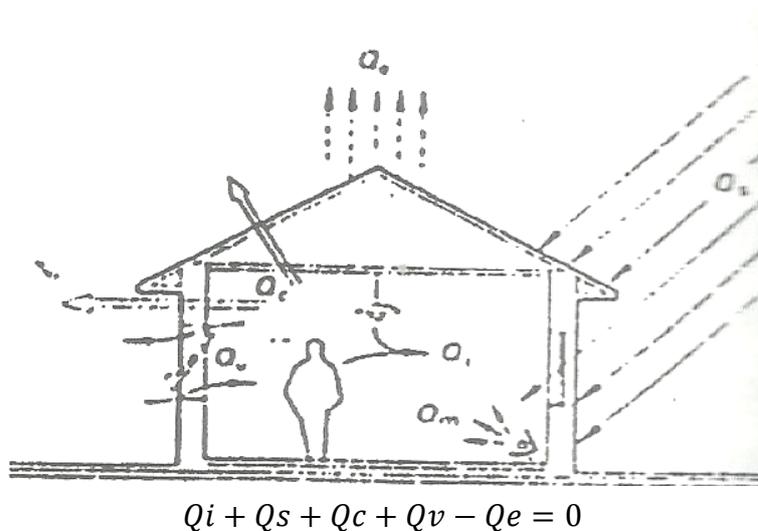
Santamouris dan Asimakopoulos (1996) menjelaskan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi respon termal pada bangunan adalah:

- Kapasitas penyimpanan panas suatu bahan dan insulasi termal dari selubung bangunan untuk daerah iklim tropis lembab diperlukan adanya pertimbangan pada *thermal performance* dan kemampuan dari bahan dan sistem struktur dalam melepas atau menyerap panas.
- Kontrol radiasi panas matahari dapat di upayakan melalui orientasi bukaan, pemilihan warna, rasio bukaan terhadap dinding serta sistem pembayangan terhadap suatu bukaan.

- Ventilasi berfungsi sebagai sarana pergantian udara sekaligus perpindahan beban panas pada bangunan. Di iklim tropis lembab, ventilasi alami akan sangat bergantung pada aliran dan pergerakan angin dan faktor pendorong angin. Posisi *inlet* (angin masuk) dan *outlet* (angin keluar) yang berbeda dapat menciptakan tekanan yang dapat mendorong aliran dan pergerakan angin.

2.3.2 Keseimbangan Termal dalam Bangunan

Keseimbangan termal tercapai apabila terjadi keseimbangan panas dalam ruangan. Keseimbangan termal pada bangunan terjadi apabila jumlah dari semua variabel beban panas adalah nol ($\sum Q = 0$). Dengan rumusan sebagai berikut: $\sum Q = Q_i + Q_s + Q_c + Q_v - Q_e = 0$.



Gambar 2.7 Sistem termal pada bangunan (Szokolay, 1980)

Keterangan :

- Q_i = panas dari internal : beban panas yang dihasilkan oleh aktifitas internal manusia, lampu, peralatan listrik dan lainnya.
- Q_s = panas dari radiasi yaitu beban panas yang dihasilkan radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan melalui dinding, atap, lantai, langit – langit.
- Q_c = panas secara konduksi yaitu beban panas lewat proses konduksi yang disebabkan karena perbedaan suhu antara ruang luar dan dalam.

Q_v = panas melalui ventilasi yaitu beban panas yang masuk lewat pergantian dan pergerakan udara saat perbedaan suhu berlangsung.

Q_e = panas oleh evaporasi yaitu beban panas/ pelepasan panas akibat proses evaporasi.

Jika $\sum Q > 0$ berarti temperatur udara ruang bertambah panas (positif), maka diperlukan pendinginan. Apabila $\sum Q < 0$ maka temperatur udara turun (negative) sehingga dibutuhkan pemanasan. Proses penyeimbangan panas di dalam bangunan yang dapat menghasilkan ataupun menghilangkan beban panas dalam ruangan sangat dipengaruhi oleh desain elemen bangunan yaitu dinding, atap, lantai, plafond dan ventilasi. Aktifitas manusia dalam ruangan dapat juga sebagai beban panas karena tubuh manusia melepaskan panas yang dihasilkan dari metabolisme tubuh.

2.4 Kenyamanan Termal

Kenyamanan berarti kondisi nyaman/perasaan nyaman, yang memiliki pengertian yaitu suatu kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungannya atau dimana tubuh merasakan keadaan yang lebih baik daripada keadaan fisik lingkungannya (Fanger, 1970). Menurut Szokolay (1980) kenyamanan termal adalah kondisi yang mengekspresikan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya. Rasa kepuasan dari seseorang terhadap lingkungannya karena dipengaruhi oleh iklim (radiasi matahari, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin) dan individu (pakaian, usia dan jenis kelamin).

2.4.1 Respon Tubuh terhadap Kondisi Termal

Tubuh manusia melepaskan panas secara terus menerus sesuai dengan kondisi lingkungan dan pakaian yang di pakainya, tetapi juga dapat menghasilkan panas sebanding dengan makanan dan tingkat kegiatan tubuhnya. Tubuh manusia akan kedinginan bila terlalu cepat kehilangan panas, dan merasa kepanasan bila tidak bisa melepas panas dalam waktu yang tepat.

Apabila suhu udara di daerah sekitar tubuh manusia lebih tinggi dari suhu nyaman yang diperlukan, maka aliran darah pada permukaan tubuh akan

meningkat dan terjadi peningkatan suhu kulit. Peningkatan suhu ini bertujuan untuk melepaskan panas secara radiasi dari dalam tubuh ke udara di sekitarnya. Proses pengeluaran keringat akan terjadi pada suhu udara yang lebih tinggi, sebagai tindak lanjut dari usaha pelepasan panas tubuh melalui proses penguapan (Karyono, 2001).

Pada situasi dimana suhu udara lebih rendah dari yang diperlukan tubuh, peredaran darah ke permukaan tubuh akan dikurangi untuk mengurangi pelepasan panas ke udara disekitarnya. Pada situasi ini tangan atau kaki menjadi dingin dan pucat. Otot-otot akan berkontraksi dan tubuh akan menggigil pada suhu udara yang lebih rendah, ini merupakan usaha tubuh untuk dapat memperoleh tambahan panas melalui peningkatan proses metabolisme. Pada kondisi lebih ekstrim, baik terlalu panas ataupun terlalu dingin, manusia mungkin tidak lagi mampu bertahan untuk hidup (Szokolay, 1980).

Tubuh manusia mempunyai kemampuan dalam mengatur keseimbangan suhu tubuh dengan berbagai cara. Suhu tubuh manusia memerlukan suhu tetap dan harus dipertahankan sekitar 37°C , sedangkan untuk suhu kulit dapat bervariasi antara 31 dan 34°C . Daerah suhu inilah yang kemudian disebut dengan suhu netral atau nyaman. Dalam kondisi yang nyaman ini terdapat daerah suhu dimana manusia tidak memerlukan usaha apapun, seperti halnya menggigil/ tidak merasakan dingin atau mengeluarkan keringat/ tidak merasakan panas (Karyono, 2001). Suhu netral dapat terjadi bila seseorang telah terbiasa sebagai hasil dari proses aklimatisasi fisiologi dan kebiasaan yang berhubungan dengan kondisi lingkungan termalnya (Szokolay, 1980).

Szokolay (1980) menjelaskan bahwa setiap individu dapat mengontrol tingkat pertukaran panas antara permukaan tubuh dan lingkungannya dengan cara memilih pakaiannya. Untuk iklim dingin, jenis pakaian yang digunakan adalah pakaian katun, jas dan rompi dengan indikasi nilai $1.0 - 3.0 \text{ clo}$ ($1.0 \text{ clo} = 0.15 \text{ m}^2 \text{ K/W}$). Bekerja dan melakukan aktivitas juga mempengaruhi besar kecilnya panas yang timbul dari dalam tubuh. Semakin giat manusia bekerja dan melakukan aktivitas maka semakin besar suhu panas yang dilepaskan tubuh ke udara, sehingga dapat menghasilkan kenaikan suhu tubuh dan menghangatkan

tubuh. Panas yang dihasilkan ketika tubuh melakukan pekerjaan secara sadar 1.0 – 3.0 met ($1 \text{ met/metabolic rate} = 58 \text{ W/m}^2$), (Frick & Suskiyatno, 2007).

Pada umumnya manusia yang tinggal di daerah dingin biasanya mempunyai pola makan dan cara berpakaian yang berbeda dengan daerah lainnya. Untuk menghangatkan tubuhnya mereka banyak mengkonsumsi makanan yang hangat dan lebih tertutup dalam cara berpakaian serta memakai pakaian yang lebih tebal. Ada juga kebiasaan unik yaitu berjemur di bawah terik sinar matahari pada pagi hari untuk mengusir udara dingin. Api juga salah satu unsur wajib yang harus hadir di dalam rumah bagi masyarakat di daerah yang berhawa dingin. Perapian digunakan bukan hanya untuk keperluan memasak saja namun dapat digunakan sebagai pemanas ruangan serta untuk menghangatkan badan.

2.4.2 Standar Kenyamanan Termal

Standar ASHRAE 55-56, 1992 mengisyaratkan bahwa suatu kondisi lingkungan termal dinyatakan nyaman apabila tidak kurang dari 90% responden yang diukur menyatakan nyaman. Sementara Standar Internasional, ISO-7730 juga mensyaratkan kondisi yang sama, yakni tidak lebih dari 10% responden yang diukur diperkenankan berada dalam kondisi tidak nyaman. Dalam menyatakan suatu kondisi termal lingkungan tertentu, ISO 7730-94, menggunakan index yang diperkenalkan oleh Fanger (1970) yakni PMV (*Predicted Mean Vote*, prediksi sensasi termis rata-rata) dan PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*, prediksi prosentase ketidaknyamanan). Standar Amerika, ANSI/ASHRAE 55-1992 juga menyatakan hal yang tidak jauh berbeda dari Standar Internasional (ISO 7730-94), yang hampir seluruhnya diilhami oleh pemikiran Fanger (1970) dengan teori keseimbangan panas (*the heat balance model*) atau model statis (*static model*).

Batasan daerah nyaman (*comfort zone*) bisa berbeda antara satu orang dengan orang yang lainnya. Karena itu dalam mengevaluasi kenyamanan termal di perlukan jumlah mayoritas. Beberapa penelitian mengenai kenyamanan termal baik dari Lippsmeier (1994), Santosa (1993), maupun dari Karyono (2001), tidak disepakati suatu besaran kenyamanan yang sama. Kenyamanan termal tidak dapat diartikan sebagai suatu besaran tetap, tetapi merupakan ambang batas relatif yang

menunjukkan bahwa kondisi iklim tertentu, lingkungan, jenis kelamin, usia, aktifitas dan lain sebagainya.

Dalam ilmu kenyamanan termal dikenal teori adaptasi (*the adaptive model*) yang dicetuskan oleh Humphreys (1976) dan Auliciems (1985). Humphreys dan Auliciems yakin bahwa nyaman suhu akan dipengaruhi oleh adaptasi dari masing-masing individu terhadap suhu luar disekitarnya. Adaptasi memiliki peran penting terhadap kenyamanan manusia. Manusia yang biasa hidup di iklim panas cenderung akan memilih suhu nyaman lebih tinggi dibandingkan manusia yang biasa hidup pada suhu udara rendah. De Dear, Brager dan Cooper (1997) menyatakan ada tiga bentuk adaptasi yaitu penyesuaian perilaku (termasuk penyesuaian pakaian yang dikenakan), adaptasi fisiologis (aklimatisasi) dan reaksi psikologis (keinginan/harapan).

Humphreys dan Auliciems juga menggunakan temperatur netral untuk menentukan rentang kondisi nyaman pada level sensorik, dimana variasi dari temperatur netral dihubungkan dengan variasi dari temperatur rata-rata. Temperatur netral adalah kondisi termal dimana seseorang tidak merasakan panas dan tidak juga dingin. Persamaan yang dikemukakan oleh Humphreys dan Auliciems yaitu $T_n = 0,31 + 17,6 \times T_{av}$. Adapun rentang kenyamanan dapat diambil +/- 2.5 K diatas dan dibawah temperatur netral (T_n).

2.5 Iklim di Indonesia

2.5.1 Iklim Tropis Lembab

Daerah tropis didefinisikan sebagai daerah yang terletak diantara garis isotherm 20° di sebelah bumi Utara dan Selatan. Menurut Lippsmeier (1994) iklim tropis di Indonesia termasuk *zona warm-humid climate* (panas lembab), zona ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- Kelembaban relatif (RH) yang sangat tinggi (kadang-kadang mencapai 90%),
- Curah hujan yang cukup tinggi (curah hujan tahunan berkisar 2000-5000mm),
- Rata-rata suhu tahunan umumnya berkisar 23°C dan dapat naik sampai 38°C pada musim panas.
- Radiasi dan panas matahari tinggi yakni berkisar 1500-2500 kwh/m²/tahun.

Iklm tropis adalah iklim dimana panas merupakan masalah yang dominan pada hampir keseluruhan waktu dengan suhu rata-rata per tahunnya tidak kurang dari 20°C (Koenigsberger. dkk, 1975). Santosa (1997), iklim tropis lembab ditandai dengan adanya perbedaan suhu antara siang dan malam, kelembaban udara cukup tinggi pada malam hari serta cukup rendah pada siang hari. Kecepatan angin rata-rata pada siang hari dapat memadai untuk mencapai kenyamanan yaitu sekitar 1.0 m/detik pada waktu musim hujan dan pada waktu musim panas sekitar 2.0 m/detik.

2.5.2 Iklim di Dataran Tinggi

Karakteristik iklim pada permukaan bumi akan berbeda dari suatu tempat ke tempat lain, faktor yang berperan menentukan perbedaan iklim antar wilayah di muka bumi adalah posisi relatif terhadap garis edar matahari, keberadaan laut, dan pola angin (Lakitan, 2002). Faktor-faktor yang mempengaruhi iklim adalah topografi, ketinggian, jarak dari laut dan vegetasi (Evans, 1980).

Variasi suhu di Indonesia tergantung pada ketinggian suatu tempat (altitude/elevasi), suhu udara akan semakin rendah seiring dengan semakin tingginya ketinggian suatu tempat dari permukaan laut. Suhu akan menurun sekitar 0.6°C untuk setiap kenaikan elevasi setinggi 100 meter (Lakitan, 2002). Menurut Evans (1980) setiap kenaikan *altitude* 100 meter akan menyebabkan perubahan iklim dimana temperatur akan turun 1°C pada kondisi udara kering dan tidak jenuh. Dan menurut teori Houbolt, setiap kenaikan 100 meter dari permukaan laut pada daerah di bawah garis lintang 60° akan terjadi penurunan sebesar 0,57°C, (Mangunwijaya,1995).

Dalam hal ini dapat digambarkan bahwa bertambahnya ketinggian suatu tempat biasanya makin besar perubahan pada tekanan udara, suhu udara menurun, radiasi matahari meningkat, dan kelembaban udara berkurang. Pada umumnya daerah dataran tinggi memiliki iklim yang sedang dan malam bisa menjadi dingin pada saat musim dingin dan terjadi perbedaan temperatur antara siang hari dan malam hari akan menjadi besar (Frick & Suskiyatno, 2007).

Evans (1980) menjelaskan bahwa iklim dataran tinggi dapat ditemui di lokasi dekat garis ekuator pada ketinggian sekitar 1000 meter dari permukaan laut, yang mempunyai karakteristik iklim sebagai berikut:

- Temperatur udara: ketinggian pada suatu lokasi dapat menyebabkan temperatur udara menurun ± 4 degC jika dibandingkan dengan lokasi didataran rendah yang berada di sekitarnya. Terjadi perbedaan temperatur udara yang tinggi antara siang dan malam, sedangkan rentang perbedaan temperatur udara untuk tahunan rendah. Temperatur rata-rata akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian.
- Kelembaban relatif cukup tinggi.
- Intensitas radiasi matahari meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian.

2.6 Desain Bangunan di Iklim Dataran Tinggi

Tujuan dari perancangan bangunan pada iklim tropis lembab adalah mereduksi temperatur panas, memaksimalkan rata-rata ventilasi udara untuk meningkatkan efektifitas dari evaporasi, dan mengusahakan proteksi terhadap sinar matahari dan hujan.

- Lokasi

Lokasi adalah salah satu faktor yang menjadi suatu pertimbangan untuk mendirikan bangunan, khususnya dari sisi kelembaban. Dari sisi temperatur, Lippsmeier (1994), menyatakan bahwa bidang daratan menjadi lebih cepat panas dua kali daripada bidang air dengan luas yang sama. Bidang air akan kehilangan sebagian dari energi panasnya karena terjadi penguapan.

- Kepadatan Bangunan

Kepadatan bangunan adalah jarak antara bangunan disuatu area. Suatu area dengan kepadatan yang tinggi akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada area yang kurang padat. Namun, tentunya kondisi tersebut juga harus diperhatikan dengan kondisi lainnya seperti kecepatan angin, jenis dari vegetasi, ketinggian lokasi dari permukaan air laut serta posisi terhadap garis lintasan/perputaran dari matahari.

- Tatanan Geometri

Bentuk dan keteraturan dari tatanan lingkungan akan banyak berpengaruh pada arah dan kecepatan angin. Dengan semakin banyak belokan/patahan maka kecepatan tersebut dapat dipertimbangkan apakah angin akan diperlukan untuk berhembus lebih kuat ataukah sebaliknya harus dikurangi kecepatannya (Juhana, 2001).

Menurut Evans (1980) dan Koeningsberger (1975), di iklim dataran tinggi angin tidak menjadi sangat signifikan, tetapi hanya dibutuhkan sesekali/sesaat saja. Hal ini disebabkan oleh radiasi matahari yang tinggi maka orientasi bangunan menjadi hal yang sangat penting. Bentuk bangunan seharusnya bisa melindungi dari radiasi matahari dan angin.

a. Bentuk dan denah:

- Bentuk bangunan yang tepat adalah bentuk yang mampu menghindari panas siang hari dan berpengaruh pada jalannya angin untuk mendapatkan pergantian udara yang diperlukan. Pada dasarnya, bentuk denah empat persegi panjang dengan orientasi Timur-Barat, dengan posisi panjang seharusnya menghadap Utara-Selatan. Dan bukaan-bukaan ditempatkan pada dinding bagian Utara-Selatan karena bidang tersebut menerima radiasi matahari lebih sedikit (Evans, 1980).
- Bangunan yang berbentuk *compact* atau *double layer* dapat membantu memperlambat panas bangunan terhadap kondisi termal. Bentuk bangunan dapat mereduksi perolehan panas pada siang hari dan melepaskan panas pada malam hari (Evans, 1980).
- Lantai bangunan diangkat dari tanah (bentuk panggung) untuk mengatasi kelembaban yang tinggi. Dibuat tinggi diatas permukaan tanah dengan tujuan agar material bangunan pada bagian bawah tidak mengalami pelapukan (Mangunwijaya, 1988).

b. Ventilasi :

- Ukuran dari bukaan tergantung pada pertimbangan kemampuan menerima sinar matahari dengan pertimbangan temperatur. Pada sisi yang menerima

langsung sinar matahari, paling sedikit adanya bukaan. Untuk ventilasi dan penerangan alami, cukup 20% dari luasan lantai (Koeningsberger, 1973).

- Temperatur udara jarang melebihi ambang batas dari zona nyaman, maka *physiological cooling* dari pergerakan udara tidak terlalu dibutuhkan sehingga ventilasi silang tidak terlalu diutamakan selama masalah radiasi matahari dapat diatasi. Apabila diberikan ventilasi silang maka dapat memberikan suasana tidak nyaman, yang disebabkan oleh udara dingin (Koeningsberger. dkk, 1975).
- Memasukkan angin dan udara dingin tidak terlalu diperlukan, sehingga bukaan tidak mempertimbangkan arah angin melainkan mempertimbangkan perolehan panas dari sinar matahari dimana jendela dan bukaan harus terlindung dari sinar matahari (Koeningsberger. dkk, 1975).
- Penggunaan overstek dan elemen–elemen pematah sinar matahari harus dapat memperhitungkan dengan arus ventilasi sehingga dalam menentukan alat pelindung matahari harus tepat dengan sistim ventilasi yang akan digunakan (Juhana, 2001).

c. Atap dan dinding :

- Material ringan seperti pada bangunan tradisonal akan rentan panas pada siang hari namun akan lebih dingin pada malam sampai pagi hari (Samodra, 2009).
- Bahan alami dari atap bangunan seperti, bambu, genteng kayu (sirap), jerami, dapat menyerap radiasi matahari secara perlahan, (Hardiman, 2008).
- Pemilihan material atap yang memiliki *time lag* yang panjang dengan kapasitas termal yang tinggi, agar peningkatan panas yang terjadi pada siang hari dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan kenyamanan pada saat malam hari (Evans, 1980).
- Prinsip dari material bangunan adalah yang bisa menyimpan dan menahan panas pada siang hari dan dapat melepaskannya pada malam hari sehingga

properties material yang dipertimbangkan adalah konduktivitas panas, resistansi panas dan koefisien dari transfer panas (Sukowiyono, 2004).

- Konstruksi dinding yang solid akan memberikan performa *time lag* yang panjang. Posisi Timur-Barat di usahakan menggunakan dinding yang masiv sedangkan pada arah Utara-Selatan menggunakan dinding dari bahan yang ringan. Untuk radiasi matahari dibutuhkan saat ketika cuaca dingin terutama pada saat di pagi hari (Evans, 1980).

d. Tata lingkungan :

- Temperatur udara cenderung lebih dingin di daerah dataran tinggi, dibandingkan dengan di daerah dataran rendah. Tata lingkungan dapat dimanfaatkan sebagai pelindung terhadap angin, saat temperatur udara dingin (Evans, 1980).
- Jarak antara bangunan yang rapat dan bentuk tapak yang menyatu sangat menguntungkan pada daerah dataran tinggi, hal ini dapat menghambat dan mengurangi pergerakan udara yang dingin dan dapat menahan panas pada saat malam hari (Samodra, 2009).

2.7 Dasar Teori

Panas atau kalor adalah salah satu bentuk dari energi. Jika suatu benda melepaskan panas/kalor pada benda lain maka panas yang diterima benda lain sama dengan panas yang dilepas benda itu. Media yang digunakan dalam perpindahan panas bisa berupa zat padat, zat cair maupun udara (gas). Teori yang disampaikan oleh Szokolay (1980), ada 3 cara terjadinya perpindahan panas yaitu: radiasi, konveksi dan konduksi. Radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Konveksi adalah perpindahan panas karena terjadinya perpindahan zat dan konduksi adalah perpindahan panas melalui benda padat.

Panas dari lingkungan dapat mencapai permukaan tubuh oleh salah satu atau semua dari tiga cara perpindahan panas tersebut dan kulit merasakan efek, dari gabungan perpindahan panas tersebut. Szokolay (1980) menjelaskan bahwa, permukaan tubuh dipengaruhi oleh sejumlah kenyamanan atau ketidaknyamanan dimana tergantung pada: suhu udara, kelembaban udara, pergerakan udara dan

radiasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi termal dalam tubuh manusia dipengaruhi oleh: aklimatisasi, usia dan jenis kelamin, bentuk tubuh, kondisi kesehatan, kegiatan, makanan dan minuman.

Menurut Szokolay (1980), suatu iklim dengan kondisi lokasi atau musim mempengaruhi baik tingkat metabolisme dan sirkulasi individu, sehingga mempengaruhi preferensinya. Metabolisme orang tua lebih lambat, akibatnya mereka biasanya lebih suka suhu yang sedikit lebih tinggi. Perempuan memiliki tingkat metabolisme lebih rendah dibandingkan laki-laki, preferensi mereka, rata-rata, untuk suhu 1 °C lebih tinggi daripada yang disukai oleh laki-laki.

Kondisi termal pada bangunan disebabkan oleh adanya perpindahan aliran panas antara bangunan dan lingkungannya. Perpindahan panas antara bangunan dan lingkungannya dipengaruhi oleh modifikasi dari material selubung bangunan yang akan menentukan temperatur dalam bangunan. Bangunan dapat memodifikasi kondisi lingkungan termal menjadi kondisi yang nyaman ataupun tidak nyaman melalui penempatan orientasi bangunan, desain/bentuk bangunan dan pemilihan material bangunan. Hal ini sejalan dengan teori dari Evans (1980), yaitu untuk daerah dataran tinggi, bentuk bangunan harusnya *compact* atau *double layer*, sebab bangunan yang berbentuk *compact* atau *double layer* dapat membantu memperlambat panas bangunan terhadap kondisi termal.

Selain bentuk bangunan, rasio dari luas permukaan dan volume bangunan (*surface to volume ratio*) serta pemilihan material juga mempengaruhi kondisi termal bangunan. Dalam teori Evans (1980), dijelaskan bahwa semakin besar nilai rasio dari luas permukaan dan volume bangunan (*surface to volume ratio*), maka semakin besar pula energi panas yang dibutuhkan untuk menciptakan kondisi nyaman dalam bangunan. Luas permukaan berhubungan dengan perolehan dan pelepasan panas pada bangunan dan volume bangunan berkaitan dengan kapasitas termal bangunan. Evans (1980) juga menjelaskan bahwa, prinsip dari material bangunan adalah yang bisa menyimpan dan menahan panas pada siang hari dan dapat melepaskannya pada malam hari. Material yang disarankan adalah yang memiliki *time lag* yang panjang dengan kapasitas termal yang tinggi, agar peningkatan panas yang terjadi pada siang hari dapat dimanfaatkan untuk kenyamanan pada malam hari.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi desain rumah Niang dalam menciptakan kenyamanan termal bagi penghuninya. Secara garis besar yang akan diamati dalam penelitian ini adalah kondisi lingkungan termal pada rumah Niang dan respon termal dari penghuni pada situasi nyata dengan melihat fenomena pada kondisi lingkungan luar/ iklim dan kemudian digeneralisasikan (simulasi) secara objektif untuk menghasilkan hasil yang stabil (Groat and Wang, 2002).

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Postpositivism*. Pendekatan *Postpositivism* mementingkan kualitas penelitian dengan *Validitas Eksternal dan Validitas Internal* yaitu kesamaan antara data dari penelitian dengan fenomena yang ditampilkan dan dapat digeneralisasikan yang bersifat objektif dengan instrument yang menghasilkan hasil yang stabil (Groat and Wang, 2002).

Strategi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi. Salah satu tujuan dari penelitian dengan metode simulasi adalah untuk menangkap kompleksitas perilaku dunia nyata dimana melibatkan replikasi yang terkontrol secara dinamis dalam suatu *setting* (Groat and Wang, 2002). Dengan menggunakan metode simulasi, peneliti dapat melakukan *treatment/modifikasi* pada kondisi dunia nyata. Metode simulasi mampu melakukan prediksi mengenai deskripsi kondisi pada kurun waktu yang berbeda dengan studi lapangan.

3.1 Metoda Penelitian

Metoda yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Studi lapangan, yaitu melakukan monitoring obyek penelitian dengan menggunakan alat ukur untuk mendapatkan data dari keadaan sebenarnya. Tujuan melakukan studi lapangan adalah untuk mengetahui kondisi termal rumah Niang yang sesungguhnya dan respon penghuninya terhadap kondisi termal di dataran tinggi.

2. Simulasi, dilakukan untuk membantu memprediksi kondisi termal rumah Niang pada bulan terpanas dan bulan terdingin serta mengetahui perilaku material dari elemen-elemen desain rumah Niang terhadap kinerja termal rumah Niang dalam merespon kondisi termal di dataran tinggi.

Beberapa penelitian pada rumah tradisional, terutama untuk meneliti tentang desain bangunan tradisional dan pengaruhnya terhadap kenyamanan termal menggunakan metode studi lapangan maupun metode simulasi. Beberapa dari peneliti terdahulu seperti Ryua *et al* (2008), Singh *et al* (2009), Rijal *et al* (2010), Suwantara, dkk (2011), Nugroho (2012) menggunakan metode studi lapangan.

Singh *et al* (2009), melakukan studi lapangan mengenai kondisi termal rumah tinggal *vernacular* di India Utara dan Timur. Studi lapangan yang dilakukan meliputi survei terperinci dari 150 rumah tinggal dan termal sensasi dari 300 penghuni berdasarkan skala sensasi termal standar ASHRAE 55/2004. Variabel yang digunakan adalah variabel bebas dan terikat. Variabel bebas meliputi, bukaan, dinding dan bahan bangunan. Dan untuk variabel terikat adalah, temperatur dan kelembaban udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kisaran suhu yang nyaman dalam bangunan *vernakular* untuk musim yang berbeda dalam satu tahun.

Rijal *et al* (2010), melakukan survei lingkungan termal dan sensasi termal di dalam ruangan dan ruang semi terbuka di rumah tradisional, selama musim panas dan musim dingin dalam lima distrik di Nepal yaitu: Banke, Bhaktapur, Dhading, Kaski dan Solukhumbu. Survei dilakukan selama 40 hari, dengan mengumpulkan total dari 7116 sensasi termal dari 103 subyek. Atap, dinding dan bahan merupakan variabel bebas sedangkan temperatur, kelembaban dan kecepatan angin sebagai variabel terikat. Temuan dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa orang-orang di daerah yang diteliti beradaptasi dengan baik dengan lingkungan alamnya.

Beberapa peneliti lain yang menggunakan simulasi dengan bantuan *software* pada penelitian desain bangunan tradisional antara lain, seperti Nicola *et al* (2012), dan Francesca *et al* (2013). Penelitian oleh Nicola *et al* (2012), dilakukan pada dua jenis bangunan yang merupakan contoh dari arsitektur *vernakular* di Italia Selatan. Pengukuran dilakukan pada sifat termal, kinerja energi dan

kenyamanan *hygrothermal* dalam ruangan. Variabel penelitiannya adalah orientasi dan bentuk bangunan, bukaan, atap, dan material dinding (variabel bebas) dan variabel terikat yang digunakan adalah temperatur, kelembaban dan kecepatan angin. Penelitian ini menggunakan simulasi dengan bantuan *software computer DesignBuilder/ EnergyPlus*. *Software* digunakan untuk memvalidasi kode numerik yang disediakan oleh *DesignBuilder/ EnergyPlus* yang digunakan untuk menyelidiki kebutuhan energi dalam bangunan.

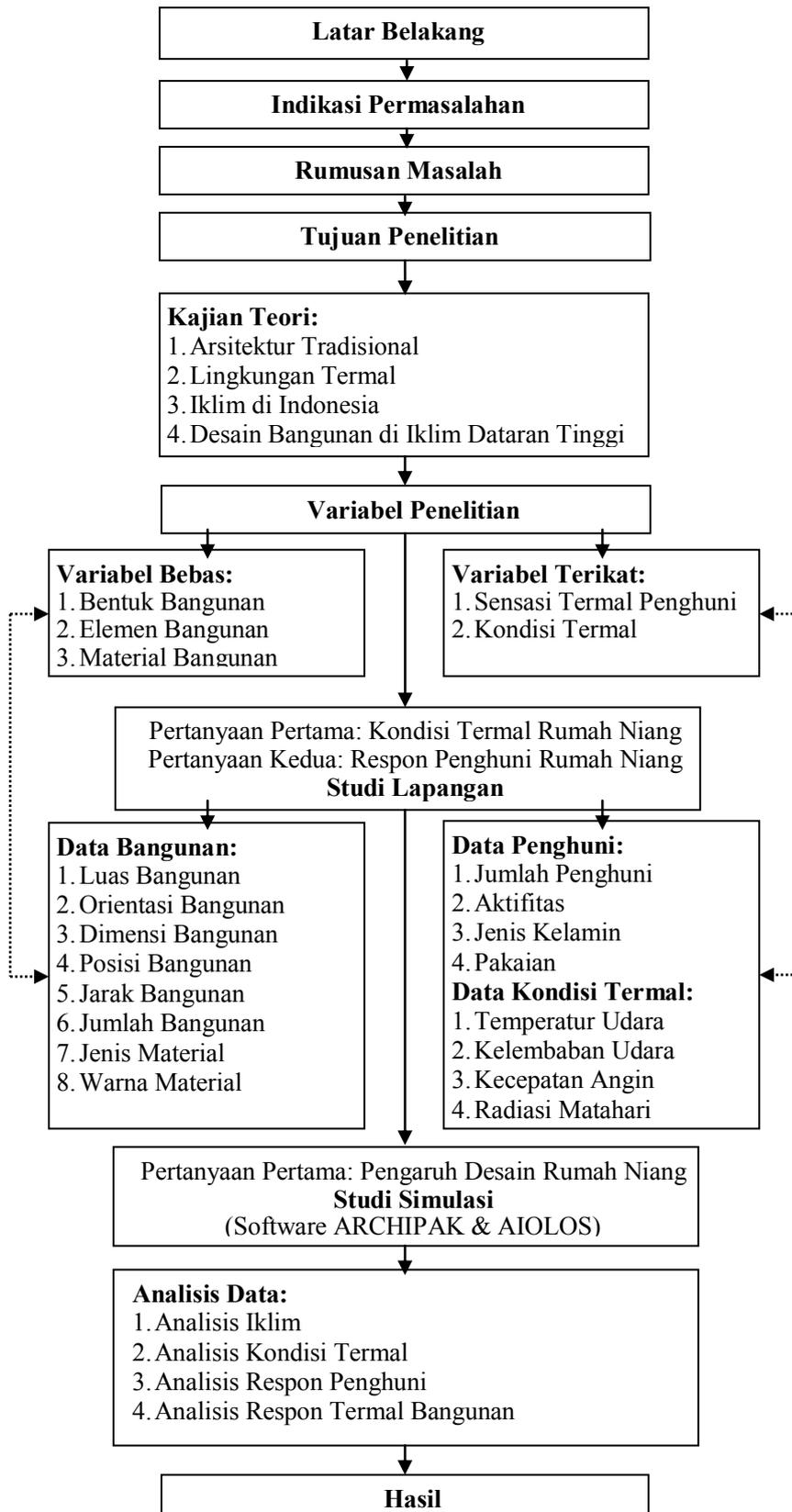
Francesca *et al* (2013), dalam penelitiannya menggunakan *software EnergyPlus* dan CFD *Fluent* untuk menganalisis parametrik dinamis dan analisis termo fisik. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk memverifikasi kinerja dari 3 buah selubung bangunan dengan menggunakan konstruksi dinding tradisional di daerah beriklim sedang (musim panas dan dingin).

Untuk ringkasan dari beberapa penelitian sebelumnya yang sejenis dengan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1

3.2 Tahapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, tahap-tahap yang harus dilakukan yaitu: pertama, melakukan studi lapangan dan kedua, melakukan simulasi dengan menggunakan *software*. Studi lapangan dilakukan untuk memonitor objek penelitian, menggunakan alat-alat ukur untuk mengetahui kondisi termal pada objek yang diteliti.

Tahap berikutnya adalah melakukan simulasi dengan *software* AIOLOS dan ARCHIPAK untuk mengetahui pengaruh desain dan elemen material yang berpengaruh terhadap kondisi termal dari objek rumah Niang. Untuk mengetahui tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Tabel 3.1 Ringkasan dari beberapa penelitian tentang kinerja termal yang berkaitan dengan rumah tradisional

No	Tahapan Penelitian	Jurnal 1: Youngryel Ryua, et al (2008)	Jurnal 2: Kumar Singh, et al (2009)	Jurnal 3: H.B. Rijal, et al (2010)	Jurnal 4: S.Priyaa, et al (2011)	Jurnal 5: Nicola, et al (2012)	Jurnal 6: Francesca, et al (2013)
		“The influence of wind flows on thermal comfort in the Daechung of a traditional Korean house”	“Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India”	Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses	Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India	Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello	Experimental comparison between 3 different traditional wall constructions and dynamic simulations to identify optimal thermal insulation strategies
1	Tujuan & Sasaran Penelitian	Menganalisis efek turbulensi pada kenyamanan termal rumah Tradisional	Mengevaluasi kinerja termal dari bangunan vernakular	Mengevaluasi kenyamanan termal rumah Tradisional	<ul style="list-style-type: none"> • Mengidentifikasi elemen arsitektur sebagai respon terhadap iklim pada bangunan vernakular • Menilai kenyamanan termal 	Menganalisis kenyamanan dalam ruangan dan kinerja energi Bangunan vernakular.	Menverifikasi kinerja dari 3 selubung & konstruksi dinding bangunan tradisional
	Objek Penelitian	Rumah Tradisional Yunjeung, Nonsan City, Chungnam Provinsi di Republik Korea.	Rumah vernakular India Utara-Timur	Rumah tradisional di Nepal: Banke, Bhaktapur, Dhading, Kaski dan Solukhumbu.	Rumah vernakular di wilayah pesisir Nagapattinam, India	Bangunan vernakular di Italia selatan, yaitu Sassi Matera dan Trulli Alberobello	Bangunan tradisional (1940-1980an) di Italia
2	Pendekatan /Metode		Survey lapangan	Survey lapangan	Eksperimental	Eksperimental	Eksperimental
3	Variabel	a) Variabel bebas: <ul style="list-style-type: none"> • bukaan b) Variabel terikat: <ul style="list-style-type: none"> • Suhu udara • Kecepatan dan arah angin 	a) Variabel bebas: <ul style="list-style-type: none"> • Bukaan, dinding, bahan b) Variabel terikat: <ul style="list-style-type: none"> • Suhu udara (To-Ti) • Kelembaban relatif • Tingkat iluminasi 	a) Variabel bebas: <ul style="list-style-type: none"> • Bahan atap, atap,dinding b) Variabel terikat: <ul style="list-style-type: none"> • Suhu udara • Kelembaban • kecepatan angin 	a) Variabel bebas: <ul style="list-style-type: none"> • Orientasi bangunan • Bukaan,dinding, atap b) Variabel terikat: <ul style="list-style-type: none"> • Suhu udara (To - Ti) • Kelembaban relatif • Kecepatan angin. 	a) Variabel bebas: <ul style="list-style-type: none"> • orientasi,bentuk, • bukaan,atap, • material dinding b) Variabel terikat: <ul style="list-style-type: none"> • suhu udara, RH • kecepatan udara 	Atap, Lantai, Pemanas ruangan, Ventilasi alami, Material/Dinding

No	Tahapan Penelitian	Jurnal 1: Youngryel Ryua, et al (2008)	Jurnal 2: Kumar Singh, et al (2009)	Jurnal 3: H.B. Rijal, et al (2010)	Jurnal 4: S.Priyaa, et al (2011)	Jurnal 5: Nicola, et al (2012)	Jurnal 6: Francesca, et al (2013)
4	Populasi & Sampel	1 bh rumah vernakular	150 bh rumah vernakular	5 bh objek dengan 103 subjek.	1 bh rumah vernakular.	2 bh bangunan vernakular.	3 bh bangunan vernakular.
5	Data	<ul style="list-style-type: none"> • Komponen angin (u-,v-, dan w-axis) - anemometer sonik. • Aliran angin ambien – AWS (Sistem Cuaca Otomatis) • Kecepatan/arah angin - HOBO • Suhu udara-HOBO Temp. 	<ul style="list-style-type: none"> • Data sekunder (Pusat Meteorologi, Guwahati, India) • Suhu : data logger (HOBO RH / Temp) • Kelembaban (RH) • Intensitas cahaya (lumen/ft2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu udara (TR-72) • Kelembaban (TR-72) • Radiasi matahari (H-205) • Kecepatan angin (A-702) • Arah angin (A-802) • SuHU Globe (150 mm ø) • Kecepatan udara (AM-03) 	<ul style="list-style-type: none"> • Metrologi Station Mini • Bangunan/struktural: (sensor dan saluran data sistem) • Suhu atap/ dinding • Data logger 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemantauan parameter lingkungan indoor dan outdoor • Pengukuran sifat material (ISO 9869) 	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu permukaan internal dan eksternal dari dinding(Thermore sistances) • Kepadatan fluks panas di sisi internal dinding (Flux meters panas) • Kinerja selubung: (dataloggers) • Tes khusus pada dinding:(thermographic Survei)
6	Pengumpulan Data	Pengukuran lapangan	Studi lapangan: <ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran • Kuesioner (standar ASHRAE & ISO 7730) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran • Kuesioner/ Wawancara. 	Pengukuran lapangan	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran lapangan • Pengujian bahan • Simulasi : DesignBuilder/ EnergyPlus 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran lapangan • Simulasi : EnergyPlus & CFD Fluent
7	Analisis Data	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis karakteristik turbulensi: waktu, durasi, dan kecepatan angin. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis kinerja termal bangunan. • Analisis kenyamanan penghuni. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis sensasi termal. • Analisis termal lingkungan (iklim). 	<ul style="list-style-type: none"> • Analisa kondisi termal bangunan (To-Ti, RH, Angin). 	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis parameter termo fisik. • Analisis parameter lingkungan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis parametric • Analisis termo-fisik

3.3 Lokasi Penelitian

Letak geografis Kabupaten Manggarai terletak diantara 8.30° LS dan 120.30° BT dengan batas wilayah sebagai berikut: Utara berbatasan dengan Laut Flores, Timur berbatasan dengan Kab.Manggarai Timur, Barat berbatasan dengan Kab.Manggarai Barat dan arah Selatan berbatasan dengan Laut Sawu. Lokasi penelitian dilakukan di tiga lokasi yang ada di wilayah Kabupaten Manggarai, yaitu di Kampung Ruteng Pu'u, Kampung Kumba dan Desa Todo.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian
(Sumber diambil dari:<http://loketpeta.pu.go.id>)

3.4 Objek Penelitian

Obyek pada penelitian ini adalah rumah tinggal suku Manggarai. Rumah tinggal suku Manggarai dikenal dengan nama *Mbaru Niang* (rumah kerucut). Rumah Niang dengan karakter fisik yang asli sudah sangat jarang ditemukan. *Mbaru Niang* dengan karakter fisik yang asli hanya ada di wilayah Satar Mese (Todo) dan Satar Mese Barat (Wae Rebo). Berdasarkan temuan di lapangan, rumah Niang memiliki beberapa varian yang tersebar di Kabupaten Manggarai yaitu di wilayah Langke Rembong (Ruteng Pu'u, Kumba), Cibal (Pagal, Kuwu).

Varian dari rumah Niang tersebut memiliki bentuk, konstruksi, material yang hampir sama dengan rumah Niang dengan karakter fisik yang asli. Adanya varian lain/perubahan dari rumah Niang, disebabkan oleh beberapa faktor-faktor yaitu kemudahan dalam pelaksanaannya, masyarakat setempat sudah tidak lagi menguasai pengerjaan struktur seperti aslinya (Damayanti dan Suprijanto, 2009) serta sulitnya dalam mendapatkan material lokal. Konstruksi rumah Niang beserta variannya dapat dilihat pada gambar 3.3 hingga gambar 3.5.

Objek penelitian ditentukan berdasarkan temuan di lapangan yaitu:

a. Rumah Niang yang asli adalah:

- Bentuk dasar denah bangunan adalah lingkaran. Setengah lingkaran bagian depan digunakan untuk tamu dan setengah lingkaran bagian belakang digunakan untuk tinggal penghuni.
- Terdiri dari tiga bagian utama yakni, bagian bawah (kolong), bagian tengah (ruang tinggal) dan bagian atas (atap).
- Bagian rumah terdiri atas 5 tingkat (tempat tinggal, penyimpanan makanan sehari-hari, penyimpanan makanan cadangan, penyimpanan benih dan sesajen untuk para leluhur).
- Dinding pada bangunan hanya terdapat pada bagian depan pintu masuk. Dinding tidak sebagai pelindung bangunan, karena konstruksi atap yang menjuntai ke bawah sekaligus sebagai pernaungan bangunan.
- Bahan bangunan yang digunakan: Kolom: kayu lokal. Balok: kayu kenti (bersifat lentur, tidak getas). Penutup atap: ijuk/ alang-alang.

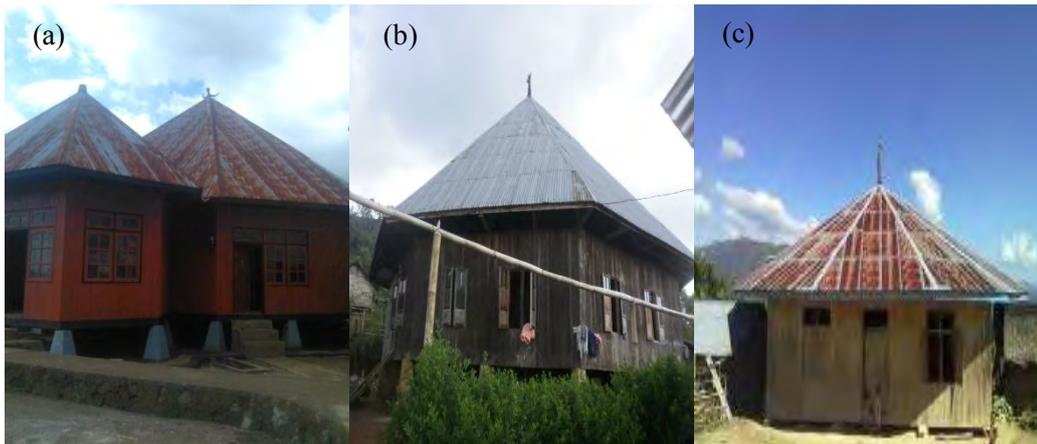
- *Upper struktur*: struktur rangka. *Lower struktur*: tanpa pondasi (kolom tertanam di dalam tanah).
- b. Varian dari rumah Niang adalah:
- Denah berbentuk lingkaran dengan patahan struktur di tiap sudut sambungan antar balok (membentuk segi 8 / 12).
 - Seluruh bangunan diselubungi dinding. Di sekeliling dinding terdapat bukaan jendela.
 - Bahan bangunan yang digunakan: kayu lokal, dinding dari papan dan penutup atap dari ijuk/ seng.
 - Struktur: rangka batang, konstruksi kolom dan balok. *Upper struktur*: struktur rangka. *Lower struktur*: tanpa pondasi, kolom diletakkan di atas batu/ coran semen.



Gambar 3.3 Rumah Niang di desa Todo (a), desa Waerebo (b)
(sumber: dokumentasi pribadi, 2014)



Gambar 3.4 Rumah Niang di Ruteng Pu'u (a), desa Narang (b)
(sumber: dokumentasi pribadi, 2014)



Gambar 3.5 Niang di kampung Kumba (a), desa Kuwu (b), kampung Purang (c)
(sumber: dokumentasi pribadi, 2014)

3.5 Variabel Penelitian

3.5.1 Jenis Variabel

Variabel dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan kajian pustaka yang telah dilakukan dan referensi dari beberapa penelitian sejenis yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Untuk mengetahui pengaruh desain rumah Niang terhadap kondisi termal di dataran tinggi, maka variabel-variabel yang akan diteliti dalam penelitian ini terdiri dari:

- a. Variabel bebas (*independent variable*), adalah variabel yang dapat diubah-ubah sesuai kondisi yang sering terjadi pada objek penelitian. Variabel bebas meliputi: bentuk, elemen dan material bangunan.
- b. Variabel terikat (*dependent variable*), adalah variabel yang sifatnya tetap atau variabel yang terjadi karena pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat meliputi: kondisi termal dan sensasi termal dari penghuni bangunan.

3.5.2 Definisi Operasional Variabel

Definisi operasional variabel dilakukan guna menjelaskan variabel-variabel yang digunakan sebagai tolak ukur dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas:
 - Bentuk merupakan wujud /gambaran dari bangunan, diindikasikan dengan rasio dari luas permukaan bangunan terhadap volume bangunan dan proporsi denah (rasio antara lebar dan panjang denah).

- Atap dan dinding, merupakan penutup bangunan, diindikasikan dengan dimensi (lebar, tinggi, tebal) dan luas permukaan.
- Pintu dan jendela, merupakan bukaan pada bangunan yang berfungsi sebagai tempat keluar masuk udara dan cahaya ke dalam ruangan, diindikasikan dengan dimensi (lebar, tinggi, tebal), jumlah dan luas permukaan.
- Lantai, merupakan bagian dasar suatu ruangan atau bangunan yang berfungsi sebagai penutup bangunan, diindikasikan dengan dimensi (panjang, lebar, tebal), ketinggian dan luas permukaan.
- Material, merupakan bahan yg akan dipakai untuk menutup bangunan (*thermal properties*).

b. Variabel terikat:

- Kondisi termal dari objek penelitian yaitu, kondisi temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin yang ada didalam dan diluar bangunan.
- Sensasi termal penghuni adalah kondisi dari perasaan penghuni yang berkaitan dengan termal.

Tabel 3.2 Variabel Penelitian

Variabel	Sub Variabel/Indikator/Petunjuk	Parameter/Ukuran
A. Variabel Bebas :		
• Bentuk Bangunan	Volume dan Proporsi Bangunan	Luas, Panjang dan Lebar
• Elemen Bangunan	Dimensi, Jarak dan Jumlah dari Elemen Bangunan (Atap, Dinding, Lantai, Pintu dan Jendela)	Luas, Panjang, Lebar, Tinggi dan Tebal
• Material Bangunan	<i>Thermal Properties</i>	<i>U-value, Time Lag, Absorpsi, Resistance dan Conductance</i>
B. Variabel Terikat :		
• Kondisi Termal	Kondisi Termal Ruang Luar Kondisi Termal Ruang Dalam	Temperatur Udara Kelembaban Udara Arah Dan Kecepatan Angin Radiasi Matahari
• Sensasi Termal	Kenyamanan Termal	Zona Nyaman

3.6 Pengumpulan Data

3.6.1 Jenis Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini diambil berdasarkan variabel-variabel yang telah ditetapkan. Data yang digunakan dalam penelitian ini secara umum diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

a. Data Primer

Data primer berupa data yang didapatkan dari hasil studi lapangan yaitu: observasi, pengukuran, fotografi dan wawancara. Dalam penelitian ini data primer meliputi:

- Data lokasi dan orientasi bangunan.
- Data bangunan: denah, tampak, potongan, dan detail material.
- Data temperatur, kelembaban arah dan kecepatan angin di dalam bangunan.
- Data temperatur, kelembaban, arah dan kecepatan angin serta radiasi matahari pada ruang luar.
- Data Okupansi: aktifitas, pakaian, jenis kelamin dan jumlah penghuni.

b. Data Sekunder

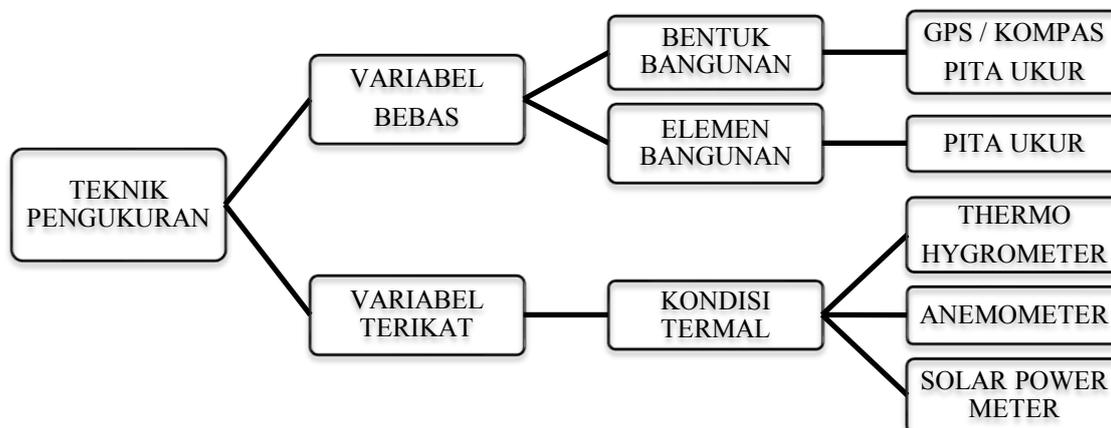
Data sekunder dalam penelitian ini berupa data-data iklim dari daerah penelitian. Pada penelitian ini data sekunder yang diperlukan adalah: data iklim. Data iklim berupa: temperatur, kelembaban, arah dan kecepatan angin, serta radiasi matahari dari daerah penelitian selama 5 tahun terakhir (2009-2013) yang didapatkan dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika).

3.6.2 Teknik Pengumpulan Data

a. Pengukuran

Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data-data kuantitatif berupa orientasi bangunan dengan menggunakan alat ukur Kompas/GPS (*Global Positioning System*), dimensi bangunan dan elemen-elemen bangunan dengan menggunakan alat ukur seperti pita ukur serta data-data iklim pada objek penelitian dengan menggunakan alat *Thermohyrometer*, *Anemometer* dan *Solar*

Power Meter yang digunakan untuk mengukur temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas cahaya.



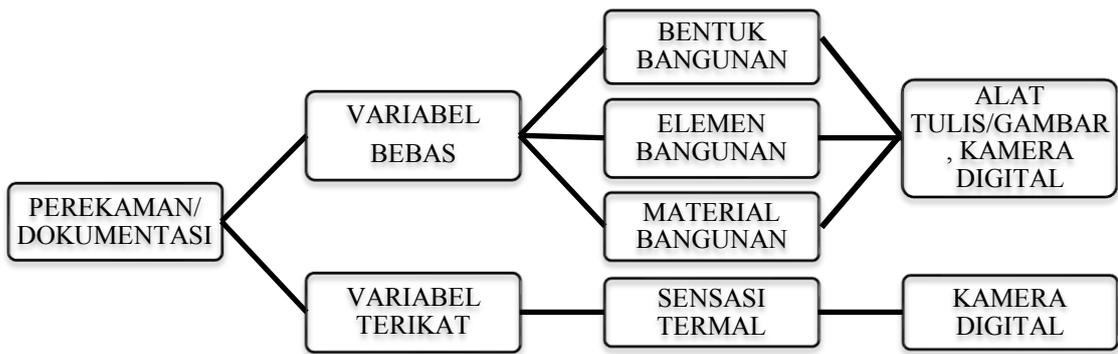
Gambar 3.6 Skema Teknik Pengukuran

Pengukuran temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas cahaya pada objek penelitian dilakukan pada dua titik ukur yaitu ruang luar dan ruang dalam. Pengukuran pada titik ruang luar dilakukan pada ruang yang masih terlindung dari sinar matahari secara langsung namun masih berhubungan dengan ruang dalam. Untuk pengukuran pada ruang dalam dilakukan pada ruang berkumpul keluarga.

b. Perekaman/ Dokumentasi

Perekaman dan dokumentasi dilakukan dengan cara pemotretan, pencatatan dan sketsa/ gambar pada objek penelitian. Pemotretan dilakukan pada lingkungan sekitar bangunan, bentuk bangunan, elemen bangunan dan material bangunan seperti kondisi tapak, tampak, dinding, jendela, atap, tiang kolom, lantai dan kondisi ruang-ruang dalam pada objek penelitian. Pemotretan juga dilakukan pada penghuni rumah untuk melihat aktifitas dan jenis pakain yang digunakan.

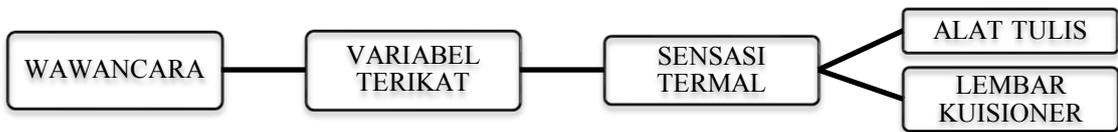
Pencatatan dilakukan untuk mendapatkan data-data seperti dimensi ruang/ bangunan dan elemen bangunan seperti denah, tampak, bukaan, dan lain-lain dengan menggunakan alat tulis. Sketsa/ gambar dilakukan untuk merekam denah bangunan, layout ruang-ruang, tampak, potongan dan detail-detail yang ada pada objek penelitian dengan menggunakan alat tulis dan gambar.



Gambar 3.7 Skema Teknik Perekaman/Dokumentasi

c. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk mengetahui jumlah penghuni, aktifitas dan respon penghuni terhadap kondisi lingkungan termal pada objek penelitian dengan menggunakan alat tulis dan lembar wawancara.



Gambar 3.8 Skema Teknik Wawancara

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian Lapangan

Variabel	Katagori Data	Data	Teknik Pengumpulan Data	Instrumen/Alat
Variabel Bebas	Bentuk Bangunan	<ul style="list-style-type: none"> • Luas dan • Orientasi Bangunan 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran • Pencatatan • Sketsa • Dokumentasi 	<ul style="list-style-type: none"> • GPS / Kompas • Pita Ukur • Kamera Digital • Alat Tulis dan Gambar
	Elemen Bangunan	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensi • Posisi • Jarak • Jumlah 		
	Material Bangunan	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis Material • Warna 		
Variabel Terikat	Sensasi Termal Penghuni	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah Penghuni • Aktifitas • Jenis Kelamin • Pakaian 	<ul style="list-style-type: none"> • Pencatatan • Wawancara • Dokumentasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Alat Tulis • Kamera Digital • Lembar Kuisioner
	Kondisi Termal	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur • Kelembaban • Kecepatan Angin • Radiasi Matahari 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran 	<ul style="list-style-type: none"> • Hobo Data Logger • Anemometer • Solar Power Meter

Keterangan instrumen/alat penelitian lapangan:

- *Thermohygrometer*: alat untuk mengukur temperatur udara dan kelembaban udara.
- *Anemometer*: alat untuk mengukur kecepatan angin.
- *Solar Power Meter*: alat untuk mengukur intensitas matahari
- GPS/Kompas: alat untuk menentukan letak astronomis dan orientasi bangunan.
- Kamera Digital: alat untuk merekam gambar/visual di lapangan.
- Pita Ukur: alat untuk mengukur dimensi dari elemen-elemen bangunan.
- Alat Tulis dan Gambar: untuk mencatat dan menggambarkan/sketsa data-data di lapangan.



Gambar 3.9 Alat/ Instrumen Penelitian
(sumber: dokumentasi pribadi, 20014)

3.7 Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk mendapatkan data dari keadaan sebenarnya berdasarkan variabel-variabel yang telah ditentukan dan dilakukan pada bulan tertentu saja dalam setahun. Hasil dari studi penelitian dapat digunakan untuk melakukan validasi model simulasi guna mendekati hasil simulasi dengan fenomena dunia nyata. Pada studi lapangan langkah-langkah yang dilakukan adalah: pengukuran kondisi lokasi penelitian, pengamatan, pencatatan dan wawancara.

a. Pengukuran Kondisi Termal

Pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran kondisi lingkungan luar dan lingkungan dalam bangunan. Pengukuran kondisi di luar bangunan meliputi pengukuran temperatur udara, kelembaban udara yang direkam dengan menggunakan alat ukur *Data Logger/Thermohygrometer* dengan interval 5 menit. Pengukuran kecepatan angin digunakan *Anemometer* yang dilakukan setiap jam mulai dari pkl.06.00 sampai pkl.18.00, arah angin dilihat dengan menggunakan pergerakan asap. Pengukuran radiasi matahari menggunakan alat ukur *Solar Power Meter* yang dilakukan setiap jam mulai dari pkl.06.00 sampai pkl.18.00.

Pengukuran kondisi termal didalam bangunan meliputi pengukuran temperatur udara, kelembaban udara yang direkam dengan menggunakan alat ukur *Data Logger/Thermohygrometer* dengan interval 5 menit. Pengukuran kecepatan angin digunakan *Anemometer* yang dilakukan setiap jam mulai dari pkl.06.00 sampai pkl.18.00, yang dilakukan bersamaan dengan pengukuran kecepatan angin diluar bangunan.

Alat ukur *Data Logger/Thermohygrometer* untuk mengukur temperatur dan kelembaban diletakan pada ketinggian 0.80 meter karena aktifitas yang dilakukan di dalam rumah adalah duduk melantai. Posisi alat diletakan pada titik tengah ruang utama (ruang keluarga), karena ruang keluarga adalah ruang dimana penghuni sering berkumpul dan melakukan aktivitas.



Gambar 3.10 Pemasangan alat ukur *Data Logger* diluar dan didalam bangunan (sumber: dokumentasi pribadi, 2014).

b. Wawancara Kenyamanan Termal

Untuk mengetahui rentang kenyamanan penghuni Rumah Niang, dilakukan wawancara mengenai sensasi termal penghuni rumah. Wawancara dilakukan pada tiga periode waktu yaitu: pagi, siang dan sore. Tiga periode waktu diambil berdasarkan pola/waktu okupansi penghuni rumah yaitu, dimulai pada pukul 12:00 hingga pukul 13:00 dan pukul 17:00 hingga pukul 07:00 (17 jam).

Pertanyaan sensasi termal terdiri dari tiga bagian yaitu, pertama adalah kenyamanan yang ditinjau dari faktor waktu, kedua kenyamanan yang ditinjau dari faktor pakaian dan ketiga kenyamanan yang ditinjau dari faktor kebiasaan (lihat lampiran 1). Responden yang diambil adalah penghuni yang berusia diatas 15 tahun. Jumlah responden yang di wawancara adalah 20 orang penghuni rumah yang di ambil di 3 lokasi yaitu Ruteng Pu'u: 8 orang, Todo: 7 orang dan Kumba: 5 orang.

Skala kesan termal yang diambil berdasarkan indeks yang diperkenalkan oleh Fanger (1970) yakni PMV (*Predicted Mean Vote*). PMV merupakan sebuah indeks yang memperkirakan nilai rata-rata *vote* kelompok besar manusia pada 7 poin skala sensasi termal, yaitu dingin, sejuk, agak sejuk, netral/nyaman, agak hangat, hangat, dan panas.



Gambar 3.11 Wawancara mengenai sensasi termal penghuni rumah

3.8 Kompilasi Data

Studi lapangan yang dilakukan menghasilkan data primer yaitu data pengukuran, pengamatan dan pencatatan. data-data tersebut dikumpulkan, disusun dan dikelompokkan. dari hasil pengukuran diperoleh data kuantitatif berupa

temperatur, kelembaban, radiasi, kecepatan dan arah angin pada obyek studi yang dikomparasikan dengan standar kenyamanan termal penghuni, kemudian dibandingkan dengan teori standar kenyamanan.

Data kualitatif dari hasil perekaman dan wawancara seperti respon sensasi termal, aktifitas, jenis seks, dan jenis pakaian yang dipakai. Pada tahap ini juga dilakukan verifikasi sebelum penggunaan program simulasi untuk tahap analisis data, yang diawali dengan verifikasi kesesuaian temperatur udara yang terjadi dengan hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi.

Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan:

- Temperatur udara luar (T_o) hasil pengukuran lapangan dengan temperatur udara dari data stasiun klimatologi.
- Temperatur udara dalam ruang (T_i) hasil pengukuran lapangan dengan temperatur udara dalam ruang (T_i) hasil simulasi berdasarkan data dari stasiun klimatologi.

3.9 Simulasi

Dalam penelitian ini metoda simulasi dilakukan pada bulan terdingin dan terpanas. Tujuan simulasi pada bulan-bulan tersebut untuk memberikan gambaran bagaimana respon bangunan terhadap potensi iklim ekstim yang terjadi dalam satu tahun.

3.9.1 Pemilihan Software Simulasi

Software simulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Software* AIOLOS versi 1.0 dan *Software* ARCHIPAK versi 5.0. Alasan pemilihan terhadap *software* tersebut karena relatif mudah dan sudah banyak digunakan pada penelitian-penelitian sejenis yang meneliti tentang kenyamanan termal.

a. Simulasi AIOLOS

AIOLOS merupakan program komputer yang dapat menghitung parameter ventilasi dengan memasukkan data iklim setempat ke dalam program dan menganalisis temperatur udara, arah dan kecepatan angin di sekitar bangunan. Pemilik dari *Software* AIOLOS adalah Group Building Environmental Physics, kalaborasi dengan University of Athens-Greece, University of Seville-Spain, University of Porto-Portugal, BBRI, LASH-ENTPE France, University of La

Rochelle-France, Conphoebus Italy, ALTENER Unit European Energy Commission.

Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan dengan menggunakan *Software* AIOLOS yaitu:

- *Experimental and Numerical Analysis of a Hybrid Ventilation Room* (2002), oleh F. Cron, M. el Mankibi, C. Inard dan P. Michel (University of La Rochelle, Prancis).
- *Sistim Pendinginan Pasip (Passive Cooling) pada Bangunan di Daerah Tropis untuk Upaya Pembangunan yang Berkelanjutan* (2006), oleh I G.N. Antaryama, V.T. Noerwasito, R.N. Srilestari, B.H. Santoso, dan FX. Teddy Badai Samodra, (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya).
- *Evaluasi Penghawaan Alami Bangunan Pendidikan Berfungsi Kelas Gedung Giri Reka UPN Veteran Surabaya Jawa Timur* (2008), oleh Heru Subiyantoro, Asri Dinapradipta (UPN Veteran, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya).

b. Simulasi ARCHIPAK

ARCHIPAK merupakan program komputer yang dapat menganalisis dan menghitung parameter dari kinerja termal bangunan dengan memasukkan data iklim setempat dan data bangunan ke dalam program, menganalisis kondisi iklim kedalam grafis, menganalisis temperatur *outdoor* dan *indoor*, serta mengoptimalkan kondisi termal bangunan.

Pemilik dari *Software* ARCHIPAK adalah S.V Szokolay, Architect & Energy and Environmental Consultant, University of Queensland, Australia. Beberapa penelitian yang pernah menggunakan *Software* ARCHIPAK adalah sebagai berikut:

- *Simulation of The Thermal Performance of Low Cost Houses in Venezuela to Improve Thermal Comfort* (2005) oleh G. Siem, (Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela).
- *Spatial Formation and Cosmological Orientation as A Correlation Factor for Thermal Comfort in Javanese House* oleh B. Alarnsyah, (School of Housing Building and Planning Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia).

- Aspek Termal Rumah Tradisional Tambi (2011), oleh Puteri Fitriaty, (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya).

c. Kelebihan dan Keterbatasan *Software*

Selain memiliki kelebihan-kelebihannya, *software* AIOLOS dan ARCHIPAK memiliki beberapa kekurangan yang disebabkan oleh keterbatasan maupun kekhususan dalam perhitungan *software* simulasi tersebut. Adapun kelebihan dan kekurangan dari jenis *software* simulasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Kelebihan dan Kekurangan *Software* Simulasi

Simulasi	Software	Kemampuan	Keterbatasan
Ventilasi	AIOLOS	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat merespon kondisi iklim kedalam analisis grafis dan <i>range</i> nilai pada tabel yang dapat di running secara cepat. • Menghitung <i>global air flow rates in each simulated zones</i> dan <i>airflow through each of the openings in the structure</i>. • Merupakan model parameter untuk menghitung <i>pressure coefficient exterior surface</i>. • Merupakan model simulasi dalam menentukan strategi <i>ventilasi thermal behavior of the building</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya mampu menganalisis bentuk bangunan yang relatif sederhana (empat persegi) penyederhanaan yang ada dapat mengurangi keakurasian. • Jumlah zoning maksimal masih terbatas (10 zoning) dan kesulitan dalam memprediksi bangunan dengan ruang kompleks. • Jumlah <i>exterior/interior opening</i> dibatasi 10 buah (diperlukan penyederhanaan sehingga mengurangi akurasi),
Termal	ARCHIPAK	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat merespon kondisi iklim kedalam analisis grafis berupa <i>psychometric chart</i> dan <i>mohoney table</i> sebagai rekomendasi desain. • Menghitung temperatur <i>outdoor</i> dan <i>indoor</i> pada lokasi observasi baik secara <i>steady state</i> maupun harmon (<i>cyclic/periodic</i>). • Menganalisis temperatur dalam <i>K-hours table</i> dalam <i>range</i> bulan dan periode tertentu. • Mengoptimalkan kondisi termal dengan mendeskripsikannya dalam <i>elemental breakdown</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Input</i> kode hanya terbatas sampai 100 material tiap elemen (hal ini dapat mengurangi akurasi pada bangunan kompleks). • <i>Output</i> pad <i>K-hours</i> dan <i>driving fore</i> hanya berupa tabulasi angka (visualisasi gambar atau grafik lebih baik)

Sumber: Samodra, 2005

d. Data-data untuk Simulasi

Data-data yang disiapkan dalam melakukan simulasi adalah sebagai berikut:

- Data Iklim: temperatur (max & min), kelembaban relatif (pagi & sore), radiasi matahari, *Sunshine Duration* (max & min), curah hujan, arah dan kecepatan angin (per jam).
- Data Bangunan: selubung bangunan, partisi, *thermophysical properties* dari elemen bangunan, volume bangunan.
- Data *Air Change*/ventilasi: konstan dan variabel dibantu dengan menggunakan AIOLOS.

3.9.2 Langkah-langkah Pelaksanaan Simulasi

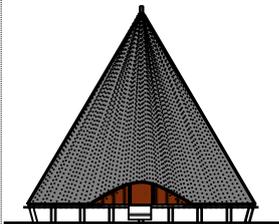
- Tahap pertama, dilakukan simulasi menggunakan *software* AIOLOS untuk mengetahui/ memperdiksi tingkat ACH di dalam ruang dari model bangunan, pada hari-hari di bulan terpanas dan terdingin dalam satu tahun. Hasil dari simulasi AIOLOS selanjutnya digunakan sebagai data input yang dibutuhkan dalam simulasi ARCHIPAK.
- Simulasi AIOLOS dilakukan dengan menggunakan data kondisi iklim (temperatur, arah dan kecepatan angin, radiasi matahari) yang mewakili satu hari di bulan terpanas dan terdingin. Dalam Simulasi AIOLOS ditentukan bahwa jendela bangunan di buka mulai pukul 07.00 hingga pukul 17.00 dan pintu mulai di buka pada pukul 06.00 hingga pukul 18.00.
- Tahap kedua, dilakukan simulasi ARCHIPAK untuk menghasilkan perhitungan termal bangunan. Dari hasil simulasi bangunan, nantinya di analisis dan dibandingkan sehingga diketahui pengaruh dari masing-masing variabel penelitian.
- Data yang dibutuhkan dalam simulasi ARCHIPAK adalah data iklim yang terdiri dari temperatur udara maksimum dan minimum, kelembaban udara pagi dan siang hari, *irradiasi* matahari dan curah hujan. Untuk *Running* simulasi dilakukan pada bulan November yaitu puncak bulan terpanas dan bulan Agustus sebagai puncak bulan terdingin. Dalam simulasi ARCHIPAK, jendela dan pintu didefinisikan sebagai lubang ventilasi, sehingga jendela dan pintu dinyatakan oleh nilai ACH yang dihasilkan dari simulasi AIOLOS.

- Model dari tipe bangunan dibuat berdasarkan studi lapangan. Model digunakan untuk memprediksi kondisi termal pada bulan panas dan bulan dingin sesuai dengan pola okupansi masyarakat.
- Simulasi AIOLOS dan ARCHIPAK dilakukan pada tiap-tiap model bangunan berdasarkan studi lapangan yang telah ditentukan dengan kondisi iklim yang sama.

3.9.3 Model Rumah Niang

Mengacu pada tipologi dan varian dari Rumah Niang yang ada di lapangan, maka diusulkan beberapa tipe model Rumah Niang yang akan disimulasikan seperti pada tabel 3.5 dibawah ini:

Tabel 3.5 Model Rumah Niang

No	Keterangan	Model 1	Model 2	Model 3
				
1	Denah	<ul style="list-style-type: none"> •Orientasi arah Selatan •Lingkaran (membentuk segi 12), diameter 11 m x 11 m 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientasi arah Utara •Berbentuk lingkaran, dengan diameter 20 m x 20 m 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientasi arah Selatan •Lingkaran (membentuk segi 12), diameter 11 m x 11 m
2	Atap	<ul style="list-style-type: none"> •Luas:78 m², Tinggi:6 m •Bahan dari ijuk dan warna hitam, tebal 5 cm 	<ul style="list-style-type: none"> •Luas:468m²,Tinggi:22m •Bahan dari ijuk dan warna hitam, tebal 5 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> •Luas:30 m². Tinggi:2.5m •Bahan dari Seng
3	Dinding	<ul style="list-style-type: none"> •Dari papan, warna cokelat tua. •Luas:60m²Tinggi:2,65m 	<ul style="list-style-type: none"> •Luas:20m²,Tinggi:2,5m •Bahan dari papan. 	<ul style="list-style-type: none"> •Dari papan, warna cokelat tua. •Luas:60m²Tinggi:2,65m
4	Lantai	<ul style="list-style-type: none"> •Dari papan, warna cokelat tua •Luas:121 m², lebar 22,5cm, tebal 2cm 	<ul style="list-style-type: none"> •Dari papan, warna cokelat tua •Luas:400 m², lebar 25cm, tebal 2cm 	<ul style="list-style-type: none"> •Dari papan, warna cokelat tua •Luas:121 m², lebar 22,5cm, tebal 2cm
5	Pintu	<ul style="list-style-type: none"> •Pintu dari papan kayu. •Ukuran pintu depan dan belakang: tinggi 1,80 m x lebar 0,90 m 	<ul style="list-style-type: none"> •Pintu dari papan kayu. •Ukuran: tinggi 1,60 m, lebar 1,06 m, tebal 0,6 cm 	<ul style="list-style-type: none"> •Pintu dari papan kayu. •Ukuran pintu depan dan belakang: tinggi 1,80 m x lebar 0,90 m
6	Jendela	<ul style="list-style-type: none"> •Ukuran jendela: tinggi 1,20 m x lebar 0,65 m 	<ul style="list-style-type: none"> •Tidak memiliki jendela 	<ul style="list-style-type: none"> •Ukuran jendela: tinggi 1,20 m x lebar 0,65 m
7	Tiang kolom	<ul style="list-style-type: none"> •Tinggi 120 cm x lebar 30 cm x tebal 30 cm, bahan dari kayu 	<ul style="list-style-type: none"> •Tinggi 2 m x lebar 20 cm x tebal 20 cm, bahan dari kayu 	<ul style="list-style-type: none"> •Tinggi 30 cm x lebar 30 cm x tebal 30 cm

3.10 Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengurai dan menilai permasalahan yang ingin diteliti sesuai dengan tujuan dari penelitian. Beberapa hal yang akan dianalisis dan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Analisis Iklim

Aspek iklim yang akan dianalisis meliputi elemen iklim yaitu: temperatur, kelembaban relatif, radiasi matahari, arah dan kecepatan angin. Analisis iklim dilakukan untuk mengetahui potensi dan permasalahan iklim pada lokasi penelitian. Analisis iklim dapat dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi yaitu ARCHIPAK. Untuk membantu melakukan analisis iklim digunakan menu *Psychrometric Chart* untuk mengetahui zona nyaman pada bulan terpanas dan bulan terdingin dari lokasi penelitian.

b. Analisis Kondisi Termal

Analisis kondisi termal dilakukan untuk menganalisa kondisi temperatur di dalam (T_i) dan kondisi temperatur diluar (T_o) bangunan, yang berhubungan dengan kenyamanan termal. Evaluasi ketidaknyamanan dapat diperhitungkan dengan *degree-hours*. Analisa *degree-hours* bertujuan untuk mengetahui besar periode panas dan dingin yang terjadi dengan batas temperatur nyaman yang telah ditentukan berdasarkan kondisi iklim. Kemudian ditinjau durasi kenyamanan dimana semakin panjang durasinya berarti bangunan cukup efektif dalam merespon iklim. Rentang kenyamanan dianalisis dengan melihat kondisi temperatur diluar (T_o) dan temperatur di dalam bangunan (T_i) terhadap zona nyaman yang memiliki rentang ± 2.5 K dari temperatur netral (T_n).

c. Analisis Thermal Sensation

Analisis termal *sensation* dilakukan untuk mengetahui tingkat sensasi respon dari penghuni terhadap kondisi lingkungan termal dalam mencapai kenyamanan termal. Analisis termal *sensation* terdiri dari dua bagian, pertama adalah berkaitan dengan analisis termal yang dirasakan dan yang kedua berhubungan dengan perilaku adaptasi dari responden.

Analisis termal *sensation* dilakukan dengan menganalisis jawaban kuesioner. Kuesioner terdiri dari tiga bagian. Bagian pertama meminta responden untuk mengevaluasi lingkungan termal mereka, yang terdiri dari skala kesan termal dan penerimaan termal. Skala kesan termal yang digunakan berdasarkan indeks yang diperkenalkan oleh Fanger (1970) yakni PMV (*Predicted Mean Vote*). Skala kesan termal terdiri dari: dingin, agak dingin/ sejuk, nyaman/ netral, hangat, dan panas.

Bagian kedua adalah daftar pemeriksaan jenis pakaian yang digunakan. Pakaian yang digunakan diukur dalam satuan *clo* ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$). Bagian terakhir adalah daftar kontrol lingkungan termal, seperti pintu, jendela, kipas angin, dan naungan/*shading*.

d. Analisis Respon Termal Bangunan

Analisis respon termal bangunan untuk mengetahui tingkat perolehan panas didalam bangunan. Analisis ini dapat dilakukan dengan bantuan *software* simulasi yaitu ARCHIPAK. Untuk mengetahui tingkat perolehan panas di dalam bangunan dilakukan formulasi menggunakan rumus sebagai berikut: $Q = Q_i + Q_s + Q_c + Q_v$
Dimana:

Q = Jumlah radiasi yang masuk ke dalam ruangan.

Q_i = Panas dari internal: beban panas yang dihasilkan oleh aktifitas internal manusia, lampu, peralatan listrik dan lainnya.

Q_s = Panas dari radiasi yaitu beban panas yang dihasilkan radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan melalui dinding, atap, lantai, langit – langit.

Q_c = Panas secara konduksi yaitu beban panas lewat proses konduksi yang disebabkan karena perbedaan suhu antara ruang luar dan dalam.

Q_v = Panas melalui ventilasi yaitu beban panas yang masuk lewat pergantian dan pergerakan udara saat perbedaan suhu berlangsung.

Analisis respon termal bangunan akan dilakukan dengan pendekatan *Elemental Breakdown*. Analisis ini dapat dilakukan dengan bantuan *software* ARCHIPAK dengan menggunakan menu *Harmon* untuk kondisi respon termal dinamis.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Kabupaten Manggarai

Kabupaten Manggarai merupakan salah satu dari 22 Kabupaten/Kota yang terdapat di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Secara geografis wilayah Kabupaten Manggarai terletak diantara 8°.30 LS dan 119-120.30° BT. Kabupaten Manggarai terletak di bagian barat pulau Flores, dengan batas-batas wilayah sebagai berikut:

- Sebelah Utara : berbatasan dengan Laut Flores.
- Sebelah Timur : berbatasan dengan Kab.Manggarai Timur.
- Sebelah Barat : berbatasan dengan Kab.Manggarai Barat.
- Sebelah Selatan : berbatasan dengan Laut Sawu.

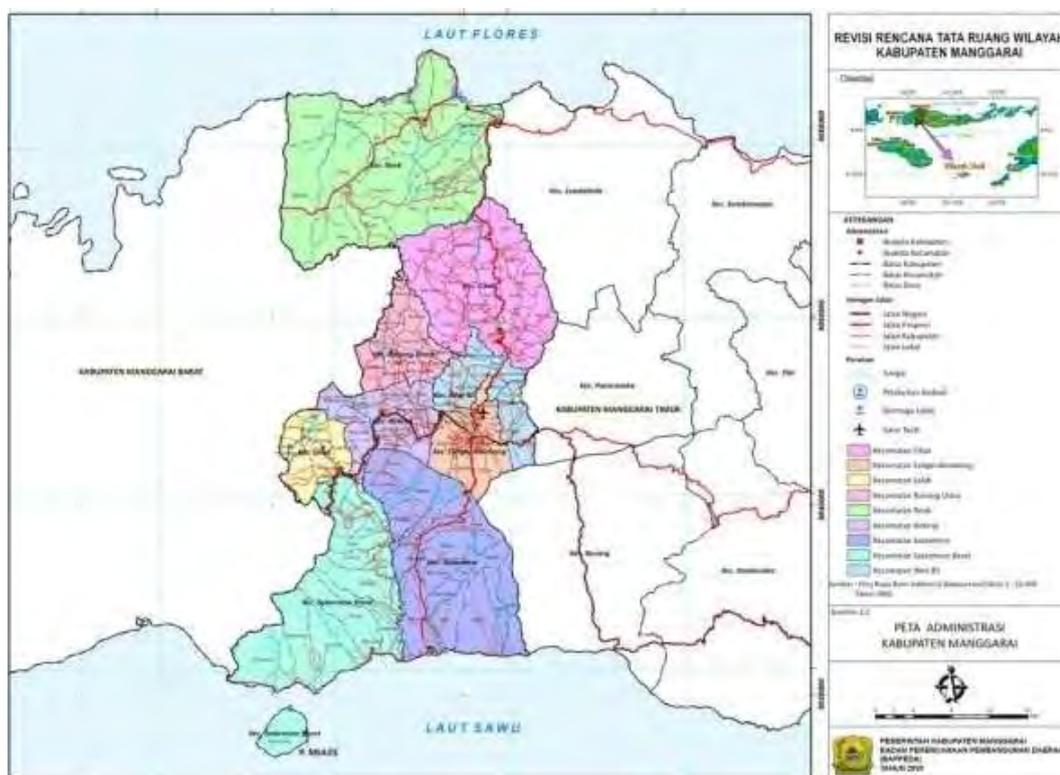
Luas wilayah Kabupaten Manggarai 4.188.9 km². Secara administrasi Kabupaten Manggarai terbagi menjadi 12 Kecamatan, 227 Desa dan 27 Kelurahan. Pusat pemerintahan kabupaten berada di Kota Ruteng Kecamatan Langke Rembong.



Gambar 4.1 Peta Provinsi Nusa Tenggara Timur (Sumber: <http://aipd.or.id/>).

4.1.1 Kondisi Geografis Kabupaten Manggarai

Kabupaten Manggarai merupakan daerah dataran tinggi dengan ketinggian 800 m dpl sampai dengan 1500 m dpl (diatas permukaan air laut) dan berada di daerah sekitar Gunung Ranaka dengan permukaan tanah berbukit-bukit. Berhubung wilayah Kabupaten Manggarai terletak di daerah dataran tinggi, maka topografi wilayah Kabupaten Manggarai didominasi oleh bentuk permukaan daratan yang bergelombang/tidak datar (pegunungan). Sebagian kecil wilayah yang datar terletak pada daerah perkotaan seperti kota Ruteng dan beberapa kota kecil lainnya seperti kota Reo yang terletak di pesisir pantai Utara, daerah pertanian seperti Satarmese dan Satarmese Barat yang terletak di pantai Selatan kota Ruteng.



Gambar 4.2 Peta Kabupaten Manggarai (Sumber: <http://ppsp.nawasis.info/>)

4.1.2 Kondisi Iklim Kabupaten Manggarai

Seperti halnya beberapa wilayah yang berada di wilayah Indonesia bagian Timur, Kabupaten Manggarai termasuk daerah yang beriklim tropis yang terdiri dari dua musim, yakni musim hujan dan musim kemarau. Adanya variasi

ketinggian dataran dimana ketinggian dataran Kabupaten Manggarai dapat mencapai 1500 m diatas permukaan laut, maka terdapat perbedaan kondisi iklim lokal antara wilayah yang ada di Kabupaten Manggarai. Dengan topografi dan posisi letaknya yang tinggi dari permukaan laut, iklim di kabupaten Manggarai tergolong kedalam iklim dataran tinggi tropis yang ditandai dengan temperatur udara yang rendah. Menurut L.R. Oldeman, yang membagi wilayah dalam *zona-zona agroclimatic*, yaitu berdasarkan kriteria bulan basah (lebih dari 200 mm/bulan) dan bulan kering (kurang dari 100 mm/bulan) menunjukkan bahwa Kabupaten Manggarai cenderung termasuk ke dalam wilayah basah, dengan curah hujan yang cukup tinggi namun tidak merata dalam setiap wilayah kecamatan.

Kondisi iklim Kabupaten Manggarai dalam 5 tahun terakhir (2009-2013), dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.1 Data Cuaca Kabupaten Manggarai Tahun 2009-2013

Tahun		Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nov	Des
2009	T	20.6	20	19.8	20.2	19.6	18.8	18.8	19.1	20.6	21.1	21.3	20.9
	RH	85	90	85	83	86	76	74	75	76	76	81	87
	Va	5.0	6.0	2.5	2.8	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0
	G	1195	618	1703	2171	1694	2511	2416	2640	2160	2457	2055	1566
	Rain	247	462	439	298	350	25.5	6.2	11.0	290	179	261	421
2010	T	20.6	20.5	20	20.3	20.7	19.5	19.5	19.3	19.8	20.6	20.7	20.5
	RH	86	90	88	89	91	83	84	84	88	86	85	89
	Va	6.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	G	1563	1288	1780	1675	1654	2131	2152	2119	1801	1687	1779	765
	Rain	300	435	673	419	525	83.2	198	159	572	273	594	423
2011	T	20	20	19.8	19.8	19.1	17.3	17.6	17.7	19.4	20.4	20.8	21
	RH	90	88	91	91	86	78	80	76	81	85	85	88
	Va	5.0	5.0	3.4	2.7	2.6	2.9	3.0	4.0	3.4	3.0	2.0	2.0
	G	1058	1230	1246	1267	2201	2363	2155	2395	2343	2060	1984	1521
	Rain	394	406	370	628	289	1.0	66.5	8.0	166	395	592	230

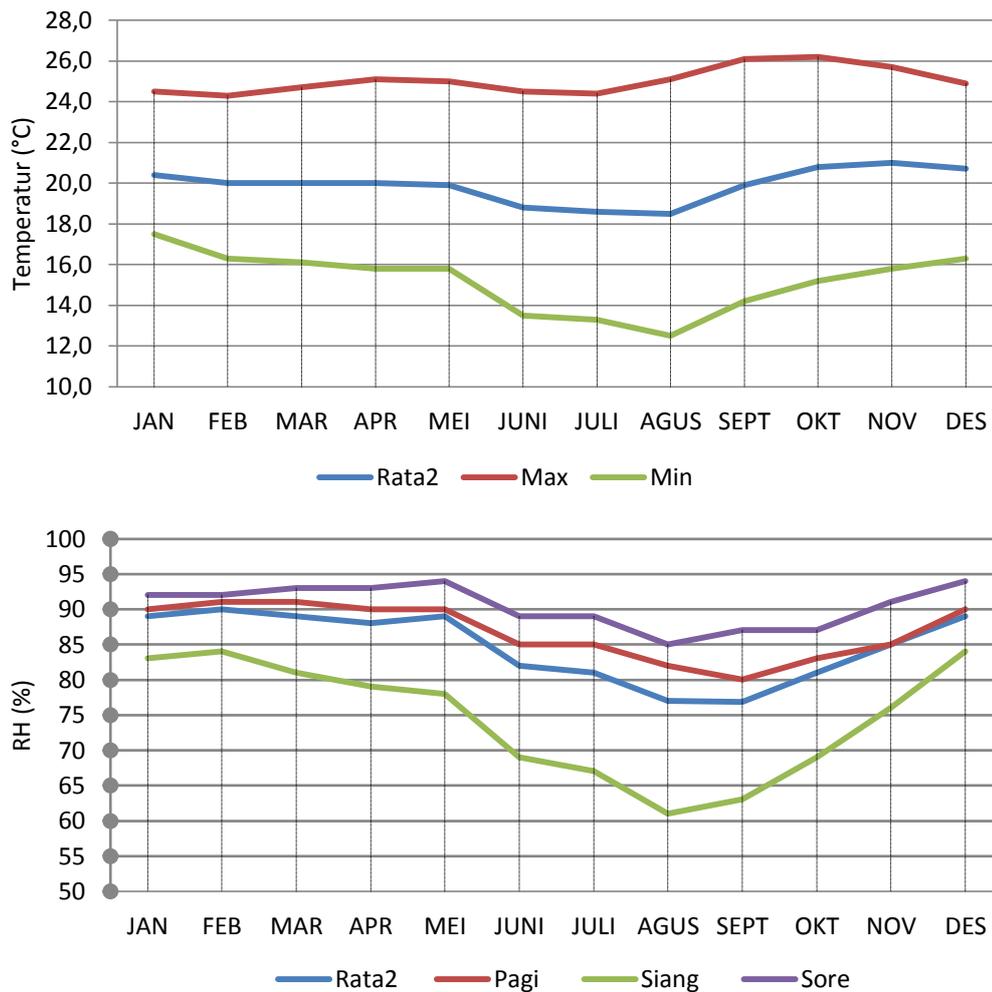
Tabel 4.1 Data Cuaca Kabupaten Manggarai Tahun 2009-2013 (Lanjutan)

Tahun		Bulan											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nov	Des
2012	T	20	20.1	19.7	19.5	19.9	18.6	18.6	18.3	20.2	20.7	21.1	20.9
	RH	92	90	93	89	90	81	80	73	69	81	85	88
	Va	3.7	4.0	4.7	2.3	2.7	3.1	3.2	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0
	G	732	1582	1137	1799	1845	2372	2468	2679	2515	2375	1979	1760
	Rain	555	386	610	537	122	97.8	59.6	0.0	61	253	441	623
2013	T	20.6	19.3	20.7	20	20.1	19.7	18.6	18.2	19.6	21.1	21	20.3
	RH	91	92	87	87	91	92	87	79	70	75	87	93
	Va	6.3	4.0	4.9	2.9	2.5	2.7	2.8	3.0	4.3	4.0	3.0	3.0
	G	29.0	1152	2276	2138	1970	1707	2409	2838	2686	2496	1898	1375
	Rain	815	644	262	338	500	167	98.0	41	39	288	362	948

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kabupaten Manggarai
 Keterangan: T: Temperatur (°C), RH: Kelembaban (%), Va: Kecepatan Angin (m/s),
 G: Radiasi Matahari (w/m²), Rain: Hujan (mm).

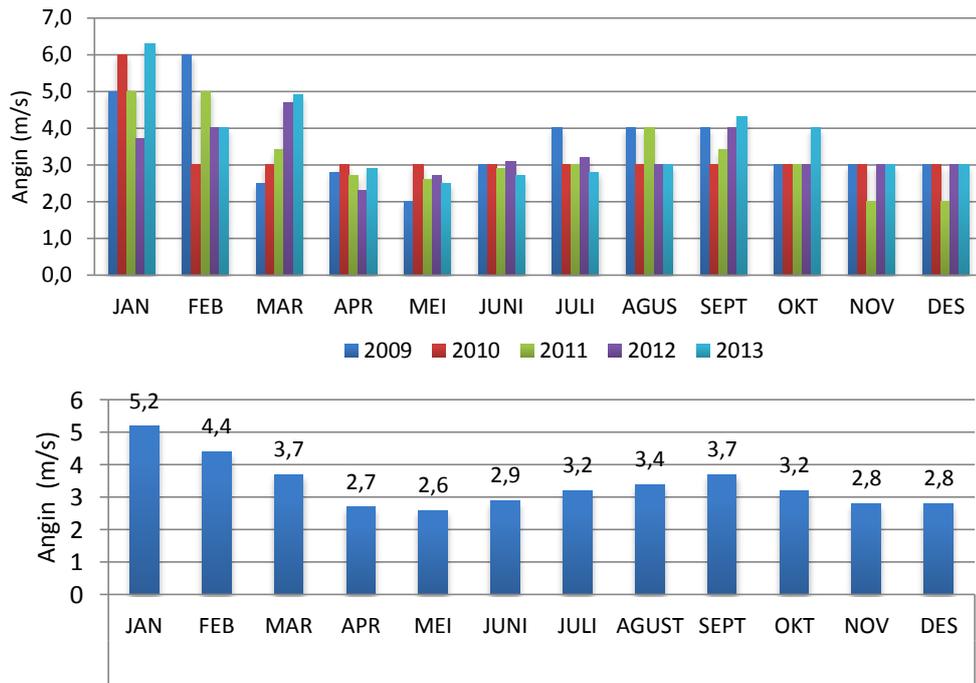
Berdasarkan data iklim tersebut, temperatur udara berkisar antara 15°C hingga 25°C, dengan rata-rata 20°C dan tingkat kelembaban rata-rata 85%. Bulan-bulan dengan temperatur minimum jatuh pada bulan Mei hingga Oktober (musim kemarau) dan bulan terdingin adalah bulan Agustus (rata-rata: 18,5°C). Sedangkan bulan-bulan dengan temperatur maksimum jatuh pada bulan Oktober hingga April (musim hujan) dan bulan terpanas adalah bulan November (rata-rata: 21°C). Kelembaban tertinggi terjadi pada bulan Februari (90%) dan kelembaban terendah terjadi pada bulan Agustus dan September (77%).

Temperatur maksimum untuk sepanjang tahun sering terjadi pada waktu siang hari dengan rata-rata 23,7°C dan temperatur minimum sering terjadi pada waktu pagi hari, dengan rata-rata 17,7°C. Kelembaban maksimum sepanjang tahun sering terjadi pada waktu sore hari dengan rata-rata 91% dan kelembaban minimum terjadi pada waktu siang hari dengan rata-rata 75%. Untuk melihat profil temperatur dan kelembaban selama 5 tahun terakhir, dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Temperatur dan kelembaban rata-rata setiap bulan selama 5 tahun

Kecepatan angin rata-rata dalam satu bulan selama 5 tahun terakhir (2009-2013) untuk wilayah Kabupaten Manggarai dapat mencapai 3,4 m/s. Pada musim kemarau (bulan Mei hingga Oktober) kecepatan angin rata-rata 3,2 m/s, dimana kecepatan angin maksimum mencapai 3,7 m/s dan kecepatan angin minimum 2,6 m/s. Pada musim hujan (bulan November hingga April) kecepatan angin rata-rata 3,6 m/s, dengan kecepatan angin maksimum mencapai 5,2 m/s dan kecepatan angin minimum 2,7 m/s. Arah datang hembusan angin pada musim kemarau berbeda dengan musim hujan, arah angin di musim kemarau dominan berhembus dari arah Utara, Timur dan Selatan, sedangkan pada musim hujan arah angin berhembus dari arah Utara, Timur dan Barat. Profil Kecepatan angin rata-rata setiap bulan selama 5 tahun terakhir dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini:

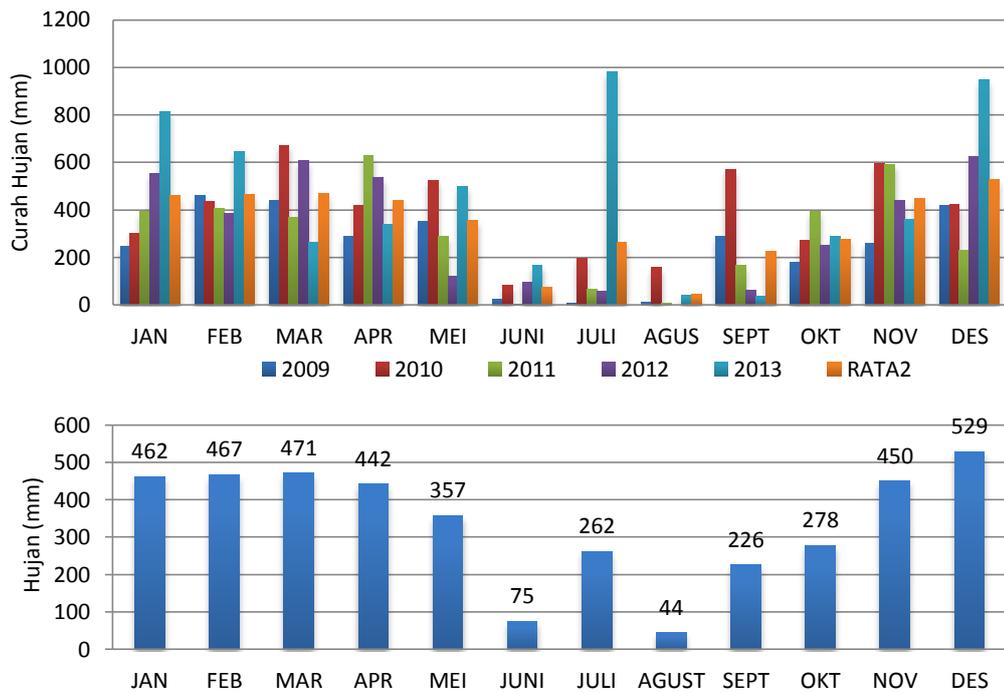


Gambar 4.4 Kecepatan angin rata-rata selama 5 tahun (2009-2013)

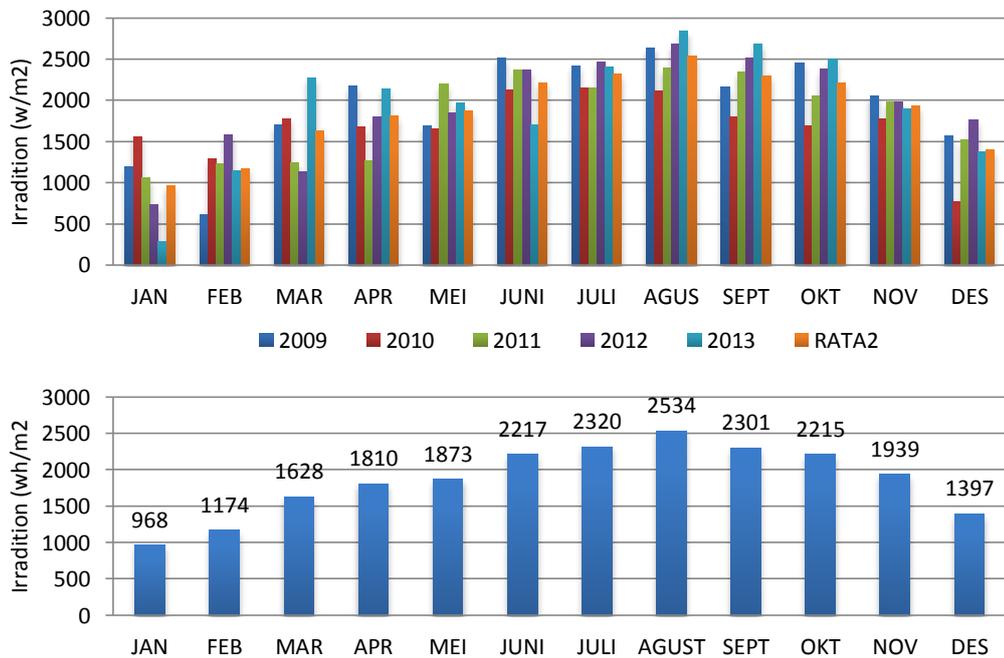
Hujan di wilayah Kabupaten Manggarai terjadi sepanjang tahun dengan intensitas yang bervariasi, yaitu rata-rata 339 mm/bulan. Curah hujan semakin tinggi memasuki bulan November hingga April, dengan rata-rata curah hujan tertinggi terjadi di bulan Desember dan rata-rata curah hujan terendah terjadi di bulan Agustus, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.5.

Di dataran tinggi intensitas radiasi matahari cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan daerah dataran rendah, namun wilayah Kabupaten Manggarai memiliki kondisi langit yang sering didominasi oleh awan tebal/mendung dan berkabut sehingga nilai radiasi matahari sangat relatif mengikuti pergerakan awan. Kondisi cuaca menjadi sangat fluktuatif akibat dari intensitas radiasi matahari yang berubah-ubah karena kondisi awan. Ketika cuaca cerah intensitas radiasi matahari menjadi begitu tinggi, namun dapat berubah menjadi rendah ketika awan mulai mendung dan berkabut.

Rata-rata nilai intensitas radiasi matahari untuk wilayah Kabupaten Manggarai, tertinggi terjadi di bulan Agustus dengan nilai 2534 w/m² dan rata-rata nilai intensitas radiasi matahari terendah 968 w/m², terjadi di bulan Januari. Rata-rata nilai radiasi matahari selama 5 tahun dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.5 Curah hujan rata-rata selama 5 tahun (2009-2013)



Gambar 4.6 Nilai radiasi matahari rata-rata selama 5 tahun (2009-2013)

Berdasarkan gambaran dari data iklim, kondisi wilayah Kabupaten Manggarai secara keseluruhan menggambarkan lingkungan yang sejuk karena temperatur udara berkisar antara 15°C hingga 25°C, tingkat kelembaban rata-rata relatif tinggi

yaitu 85%, intensitas radiasi matahari yang tinggi (2534 w/m^2) dan curah hujan yang tinggi. Kondisi ini sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Lakitan (2002), Evans (1980), Mangunwijaya (1995), Frick dan Suskiyatno (2007), yaitu variasi suhu di Indonesia tergantung pada ketinggian suatu tempat (*altitude/elevasi*) dimana suhu udara akan semakin rendah seiring dengan semakin tingginya suatu tempat dari permukaan laut. Temperatur terdingin biasanya terjadi pada waktu subuh hingga pagi hari dan temperatur tertinggi terjadi pada siang hari. Temperatur malam hari di musim kemarau lebih dingin dibandingkan dengan musim hujan. Temperatur mulai meningkat pada waktu siang hari dan kelembaban menurun seiring dengan peningkatan intensitas radiasi matahari. Kelembaban udara yang tinggi, sering terjadi pada sore hari hingga malam hari. Kelembaban tertinggi biasanya terjadi di musim hujan. Kelembaban tertinggi pada bulan Pebruari dan kelembaban terendah pada bulan Agustus dan September. Ketika kelembaban udara semakin tinggi, temperatur udara menurun dan kondisi udara menjadi dingin, kondisi ini pada umumnya terjadi di daerah dataran tinggi yang memiliki iklim sedang.

Di wilayah Kabupaten Manggarai memiliki kondisi langit yang didominasi oleh awan tebal/ mendung dan berkabut. Awan dapat meningkatkan nilai kelembaban karena mampu mengubah udara menjadi air (pengembunan). Kondisi ini akan berpengaruh terhadap curah hujan, sehingga di wilayah ini curah hujannya cukup tinggi dengan rata-rata 339 mm/bulan. Rata-rata curah hujan tertinggi bulan Desember dan curah hujan terendah bulan Agustus. Kecepatan angin rata-rata mencapai 3,4 m/s. Pada musim kemarau (Mei hingga Oktober) kecepatan angin rata-rata lebih rendah dibandingkan pada musim hujan (November hingga April). Kecepatan angin ini tergolong rendah, sehingga aliran angin tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk mengurangi kelembaban yang tinggi dan tidak dapat membantu meningkatkan kualitas udara di dalam ruang. Namun di daerah dataran tinggi tidak terlalu banyak membutuhkan angin, karena kondisi lingkungannya yang dingin dan memiliki curah hujan yang tinggi, hal ini dipengaruhi juga dengan adanya penghalang lingkungan yang sangat kecil dan jarak antar bangunan yang relatif jauh, sehingga dapat menimbulkan potensi pergerakan udara dingin yang cukup tinggi.

Dengan karakteristik iklim seperti temperatur rendah, kelembaban tinggi, radiasi matahari tinggi, curah hujan tinggi dan kecepatan angin rendah, maka secara keseluruhan di wilayah Kabupaten Manggarai menggambarkan kondisi iklim yang ada didataran tinggi tropis lembab.

4.2 Studi Lapangan

4.2.1 Kondisi Fisik Rumah Niang

a. Rumah Niang di Ruteng Pu'u

Kampung Ruteng Pu'u terletak sekitar 1200 m diatas permukaan air laut, dengan letak geografis berada diantara 8°36'41" Lintang Selatan dan 120°26'45" Bujur Timur. Kampung ini berada di Kelurahan Golo Dukal, Kecamatan Langke Rembong, Kabupaten Manggarai. Kampung ini berpola melingkar dengan halaman bundar dikelilingi batu yang tersusun rapi dan di tengah-tengahnya terdapat mezbah/altar sebagai tempat peletakan persembahan saat upacara adat. Kampung Ruteng Pu'u memiliki dua rumah adat, yang disebut *Mbaru Tambor* dan *Mbaru Gendang*. Pada samping kiri dan kanan serta di sekitar dua rumah adat tersebut dikelilingi rumah-rumah penduduk, dengan jarak rumah satu sama lain relatif berjauhan. Lingkungan di sekitar area kampung masih ditutupi hutan, dengan permukaan tanah yang tidak datar dan berbukit-bukit. Orientasi bangunan ke arah Selatan, menghadap ke arah jalan masuk kampung.



Gambar 4.7 Pola dan tata lingkungan di Kampung Ruteng Pu'u
(sumber: dokumentasi pribadi, 2014)

Bangunan terdiri dari tiga bagian utama yakni, bagian bawah (kolong), bagian tengah (ruang tinggal) dan bagian atas (atap). Denah berbentuk lingkaran dengan patahan struktur di tiap sudut sambungan antar balok (membentuk segi 12) dengan diameter 11 m x 11 m. Seluruh bangunan diselubungi dinding dari papan setinggi 2,65 m. Di sekeliling dinding terdapat bukaan jendela berjumlah 18 buah dan 6 buah pintu (4 buah pintu kamar tidur, 1 buah pintu depan serta 1 buah pintu belakang). Ukuran tinggi dan lebar pintu depan dan belakang yaitu, 1,80 m x 0,90 sedangkan ukuran pintu kamar tidur 1,80 m x 0,70 m. Semua jendela, berukuran sama yaitu tinggi 1,20 m dan lebar 0,65 m. Semua pintu dan jendela terbuat dari kayu lokal, berwarna cokelat tua sesuai warna asli kayu.

Bangunan memiliki ruang tengah di mana di bagian ini terdapat ruang tamu dengan ukuran panjang dan lebar 11 m x 6 m dan dikelilingi oleh 4 buah kamar yang dilengkapi tempat tidur. Ukuran kamar tidur 5,5 m x 2,5 m. Kamar tidur disesuaikan dengan jumlah keluarga yang berhak mendiami rumah adat tersebut. Namun seiring perkembangan penduduk, pola penghunian rumah adat mengalami perubahan dimana saat ini satu rumah *Niang* hanya dihuni oleh satu keluarga saja.



Gambar 4.8 Bagian-bagian dari rumah Niang: (a) bagian atas (atap), (b) bagian tengah (ruang tinggal), (c) bagian bawah (kolong). (sumber: dokumentasi 2014)

Tabel 4.2 Karakteristik Rumah Niang Ruteng Pu'u

No	Keterangan	Rumah Niang Ruteng Pu'u
1	Orientasi	<ul style="list-style-type: none"> • Arah Selatan
2	Denah	<ul style="list-style-type: none"> • Berbentuk lingkaran (membentuk segi 12), diameter 11 m x 11 m. • Memiliki ruang tengah, kamar tidur dipisahkan oleh sekat.
3	Atap	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi mencapai: \pm 6 m, bahan ijuk, warna hitam, setebal 5 cm. • Konstruksi dari kayu.
4	Dinding	<ul style="list-style-type: none"> • Dari papan, warna coklat tua. • Tinggi dinding: 2,65 m.
5	Lantai	<ul style="list-style-type: none"> • Dari papan, warna coklat tua. • Ukuran: lebar 22,5 cm dan tebal 2 cm.
6	Pintu	<ul style="list-style-type: none"> • Pintu dari papan kayu. • Ukuran pintu depan dan belakang yaitu, tinggi 1,80 m x lebar 0,90.
7	Jendela	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran jendela: tinggi 1,20 m x lebar 0,65 m.
8	Tiang kolom	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi 1,20 m x lebar 30 cm x tebal 30 cm. • Bahan dari kayu.

Tabel 4.3 Dimensi Elemen Rumah Niang Ruteng Pu'u

No	Orientasi	Elemen	Luas (m ²)	Panjang (m)	Lebar/Tinggi (m)	Material
1	Timur 90°	Dinding	14,098	5,32	2,65	Papan
		Jendela 1	4,68	7,2	3,9	Papan
		Jendela 2				
		Jendela 3				
		Jendela 4				
		Jendela 5				
2	Utara 360°	Dinding	13,939	5,26	2,65	Papan
		Pintu	1,62	1,80	0,90	Papan
		Jendela 1	3,12	4,8	2,6	Papan
		Jendela 2				
		Jendela 3				
Jendela 4						
3	Selatan 180°	Dinding	18,073	6,82	2,65	Papan
		Pintu	1,62	1,80	0,90	Papan
		Jendela 1	1,56	2,4	1,3	Papan
		Jendela 2				
4	Barat 270°	Dinding	14,098	5,32	2,65	Papan
		Jendela 1	4,68	7,2	3,9	Papan
		Jendela 2				
		Jendela 3				
		Jendela 4				
		Jendela 5				
Jendela 6						
5		Atap	78	13	6	Ijuk
6		Lantai	121	11	11	Papan

Atap rumah berbentuk kerucut terdiri atas dua belas sisi, sesuai dengan bentuk denah dengan menggunakan konstruksi kayu lokal dan ketinggian mencapai 6 m. Atap rumah terbuat dari bahan ijuk dengan ketebalan 5 cm dan terdapat simbol tanduk kerbau di ujung atap. Lantai terbuat dari papan kayu yang berukuran lebar 22,5 cm dan tebal 2 cm. Pada pertemuan sambungan antara papan dan papan terdapat celah-celah, sehingga memungkinkan udara keluar masuk melalui lantai.

Bagian bawah (kolong), menggunakan konstruksi panggung tanpa pondasi, dimana kolom diletakkan di atas batu/coran semen. Tiang kolom menggunakan kayu lokal, tinggi dan lebar kolom 1,20 m x 30 cm. Sedangkan ukuran batu/coran semen dengan tinggi 44 cm dan lebar 35 cm.

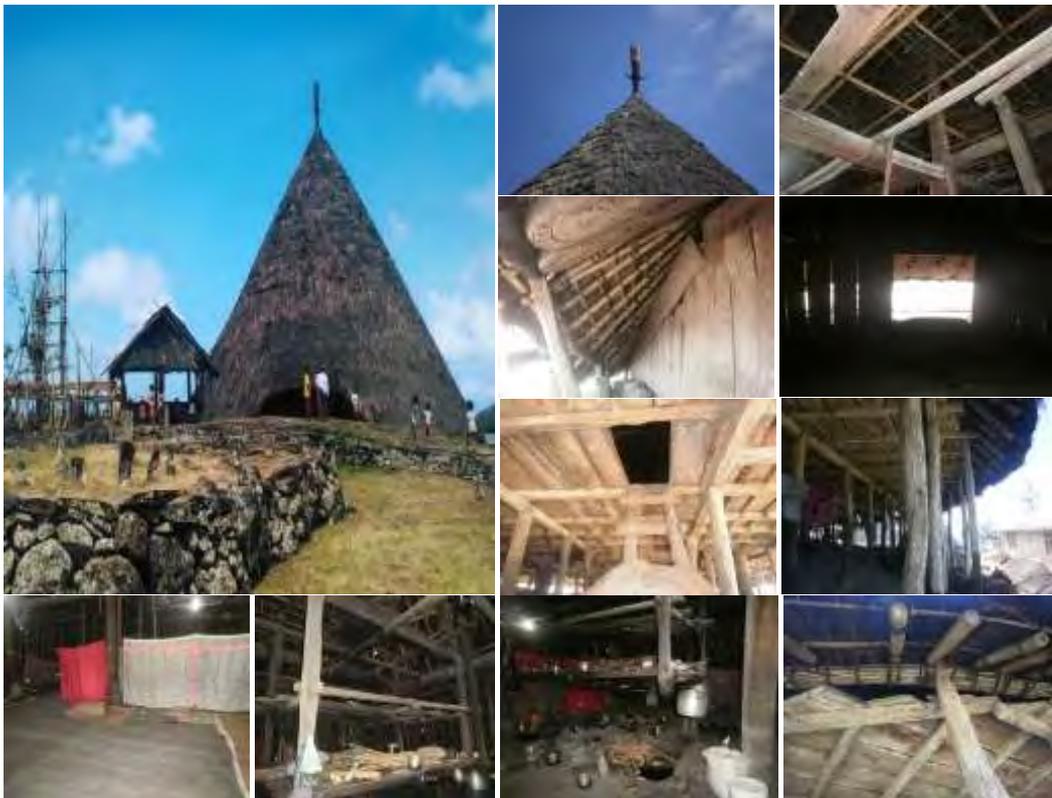
b. Rumah Niang di Desa Todo

Desa Todo berada di kecamatan Satar Mese, kabupaten Manggarai, dengan letak geografis berada diantara $8^{\circ}44'08''$ Lintang Selatan dan $120^{\circ}22'35''$ Bujur Timur. Letak ketinggian sekitar 800 m dpl (diatas permukaan air laut). Lingkungan di sekitar area desa Todo masih didominasi hutan dengan topografi yang tidak datar, jurang dan berbukit-bukit. Pada area rumah *Niang* terdapat *compang* yaitu batu-batu yang disusun membentuk lingkaran. Rumah-rumah warga di sekitarnya mengikuti pola lingkaran sesuai dengan kontur tanah yang ada karena warga menyesuaikan dengan rumah *Niang* yang telah didirikan sebelum rumah-rumah mereka. Orientasi rumah *Niang* ke arah Utara, menghadap langsung ke arah jalan masuk permukiman warga.

Bentuk dasar denah bangunan adalah lingkaran, dengan diameter 20 m x 20m. Setengah lingkaran bagian depan digunakan untuk tamu dan setengah lingkaran bagian belakang digunakan untuk tinggal penghuni (tempat untuk tidur dan memasak/dapur). Pembagian kamar tidur tidak dipisahkan oleh sekat hanya ditutupi dengan kain-kain. Dinding pada bangunan hanya terdapat pada bagian depan pintu masuk. Dinding bukan sebagai pelindung bangunan, karena konstruksi atap yang menjuntai ke bawah sekaligus sebagai pernaungan bangunan. Tidak memiliki jendela, hanya memiliki sebuah pintu pada bagian depan dengan tinggi 160 cm, lebar 106 cm dan tebal 0,6 cm.



Gambar 4.9 Pola dan tata lingkungan di Desa Todo
(sumber: dokumentasi pribadi, 2014)



Gambar 4.10 Bagian-bagian rumah Niang di Desa Todo: bagian atas (atap), bagian tengah (ruang tinggal), bagian bawah (kolong) (sumber: dokumentasi pribadi, 2014).

Bagian rumah terdiri atas 5 tingkat (tempat tinggal, penyimpanan makanan sehari-hari, penyimpanan makanan cadangan, penyimpanan benih dan sesajen untuk para leluhur). Atap rumah berbentuk kerucut dengan menggunakan konstruksi kayu dan bambu dengan ketinggian mencapai 22 m dari permukaan tanah. Atap rumah terbuat dari bahan ijuk dengan ketebalan 5 cm. Lantai terbuat dari papan kayu yang berukuran lebar dan tebal: 25 cm x 2 cm. Bagian bawah, menggunakan konstruksi panggung tanpa pondasi dengan kolom tertanam di dalam tanah. Tiang kolom dari kayu lokal dengan tinggi kolom mengikuti kontur tanah yang ada pada lokasi.

Tabel 4.4 Karakteristik Rumah Niang Todo

No	Keterangan	Rumah Niang Todo
1	Orientasi	• Arah Utara
2	Denah	• Berbentuk lingkaran, dengan diameter 20 m x 20 m. • Memiliki ruang tengah, kamar tidur tidak dipisahkan oleh sekat.
3	Atap	• Tinggi mencapai \pm 22 m, bahan ijuk, warna hitam, setebal 5 cm. • Konstruksi dari kayu dan bambu.
4	Dinding	• Hanya ada pada bagian pintu masuk, bahan dari papan kayu. • Tinggi 2,5 m x lebar 8 m.
5	Lantai	• Dari papan kayu, warna cokelat tua. • Ukuran: lebar 25 cm x tebal 2 cm.
6	Pintu	• Dari papan kayu. • Ukuran: tinggi 160 cm, lebar 106 cm, tebal 0,6 cm.
7	Jendela	• Tidak memiliki jendela.
8	Tiang kolom	• Tinggi 2 m x lebar 20 cm x tebal 20 cm, bahan dari kayu.

Tabel 4.5 Dimensi Elemen Rumah Niang Todo

No	Orientasi	Elemen	Luas (m ²)	Panjang (m)	Lebar/Tinggi (m)	Material
1	Utara	Dinding	20	8	2,50	Papan
		Pintu	1,696	1,60	1,06	Papan
2	Selatan	-	-	-	-	-
3	Timur	-	-	-	-	-
4	Barat	-	-	-	-	-
5		Atap	468	22	22	Ijuk
6		Lantai	400	20	20	Papan

c. Rumah Niang di Kampung Kumba

Kampung Kumba terletak 1200 m diatas permukaan air laut, dengan letak geografis berada diantara 8°36'24" Lintang Selatan dan 120°28'39" Bujur Timur. Kampung ini berada di Kelurahan Tenda, Manggarai. Denah berbentuk lingkaran dengan patahan struktur di tiap sudut membentuk segi 12 dengan diameter 11 m x 11 m. Dinding dari papan setinggi 2,65 m, jendela berjumlah 14 buah dan 2 buah pintu (depan dan belakang). Ukuran pintu 1,80 m x 0,90 dan jendela, 1,20 m x 0,65 m.

Memiliki ruang tengah yang berfungsi sebagai ruang tamu dan ruang keluarga dengan ukuran 11 m x 6 m dan 4 buah kamar tidur, 2 buah disisi kanan dan 2 buah disisi kiri. Ukuran kamar tidur 5,5 m x 2,5 m. Atap berbentuk kerucut dengan ketinggian 2,5 m. Atap rumah dari bahan seng dan terdapat simbol tanduk kerbau di ujung atap. Lantai dari papan berukuran 22,5 cm x 2 cm. Menggunakan konstruksi panggung tanpa pondasi, dimana lantai diletakkan di atas batu/coran semen dengan tinggi 30 cm dan lebar 30 cm.

Selain sebagai tempat tinggal, rumah Niang ini berfungsi sebagai tempat diadakan rapat-rapat penting yang berhubungan dengan warga kampung, penyimpanan barang-barang pusaka dan dilaksanakan ritual-ritual adat.



Gambar 4.11 Bagian-bagian rumah Niang di Kampung Kumba
(sumber: dokumentasi pribadi, 2014)

Tabel 4.6 Karakteristik Rumah Niang di Kumba

No	Keterangan	Rumah Niang di Kumba
1	Orientasi	• Arah Selatan
2	Denah	• Membentuk segi 12, diameter 11 m x 11 m. • Ruang tengah dan kamar tidur dipisahkan oleh sekat.
3	Atap	• Tinggi mencapai: 2.5 m. • Bahan dari seng. • Konstruksi dari kayu.
4	Dinding	• Dari papan, warna cokelat. • Tinggi dinding: 2,65 m.
5	Lantai	• Dari papan, warna cokelat. • Ukuran: lebar 22,5 cm dan tebal 2 cm.
6	Pintu	• Pintu dari papan kayu. • Ukuran pintu: tinggi 1,80 m x lebar 0,90.
7	Jendela	• Ukuran jendela: tinggi 1,20 m x lebar 0,65 m.
8	Tiang kolom	• Tinggi dan lebar: 30 cm x 30 cm. • Bahan dari coran semen.

Tabel 4.7 Dimensi Elemen Rumah Niang di Kumba

No	Orientasi	Elemen	Luas (m ²)	Panjang (m)	Lebar/Tinggi (m)	Material
1	Timur 90°	Dinding	14,098	5,32	2,65	Papan
		Jendela 1	3,12	4,8	2,6	
		Jendela 2				
		Jendela 3				
		Jendela 4				
2	Utara 360°	Dinding	13,939	5,26	2,65	Papan
		Pintu	1,62	1,80	0,90	
		Jendela 1	3,12	4,8	2,6	
		Jendela 2				
		Jendela 3				
		Jendela 4				
3	Selatan 180°	Dinding	18,073	6,82	2,65	Papan
		Pintu	1,62	1,80	0,90	
		Jendela 1	0,78	1,20	0,65	
		Jendela 2				
4	Barat 270°	Dinding	14,098	5,32	2,65	Papan
		Jendela 1	3,12	4,8	2,6	
		Jendela 2				
		Jendela 3				
		Jendela 4				
5		Atap	30	12	2,5	Seng
6		Lantai	121	11	11	Papan

Berdasarkan studi lapangan, karakteristik fisik rumah Niang di tiga lokasi penelitian (Ruteng Pu'u, desa Todo dan kampung Kumba) memiliki perbedaan pada bentuk, proporsi, elemen bangunan dan material yang digunakan. Perbedaan karakteristik fisik dari ketiga rumah Niang tersebut adalah sebagai berikut:

a. Bentuk bangunan:

- Denah rumah Niang di Todo berbentuk lingkaran sedangkan rumah Niang di Ruteng Pu'u dan kampung Kumba berbentuk lingkaran dengan patahan struktur di tiap sudut sambungan membentuk segi 12.
- Rumah Niang di Todo, konstruksi atapnya menjuntai ke bawah menutup secara keseluruhan dari bangunan dan berfungsi sekaligus sebagai dinding bangunan. Rumah Niang di Ruteng Pu'u dan kampung Kumba, atapnya berbentuk kerucut terdiri atas dua belas sisi sesuai dengan bentuk denah dan seluruh bangunan diselubungi dinding.

b. Proporsi bangunan:

- Atap rumah Niang di Todo ketinggiannya mencapai 22 m, Niang di Ruteng Pu'u mencapai 6 m dan Niang di kampung Kumba: 2,5 m.
- Tinggi tiang kolom (konstruksi panggung) dari permukaan tanah, rumah Niang di Todo ketinggiannya mencapai 2 m, Niang di Ruteng Pu'u: 1,20 m dan Niang di kampung Kumba: 30 cm.

c. Elemen bangunan:

- Dinding rumah Niang di Todo hanya terdapat pada bagian depan pintu masuk sementara pada rumah Niang di Ruteng Pu'u dan Niang kampung Kumba, seluruh bangunan diselubungi dinding.
- Di sekeliling dinding rumah Niang Ruteng Pu'u dan Niang Kumba terdapat bukaan jendela tetapi pada rumah Niang di Todo tidak memiliki jendela, hanya memiliki sebuah pintu pada bagian depan.

d. Material Bangunan:

- Material atap rumah Niang di Todo dan di Ruteng Pu'u menggunakan bahan dari ijuk, sementara rumah Niang di kampung Kumba menggunakan bahan dari seng.

4.2.2 Kondisi Iklim Lokasi Penelitian

a. Kondisi Temperatur dan Kelembaban

Temperatur dan kelembaban udara luar direkam dengan menggunakan alat ukur *Data Logger/Thermohygrometer* dengan interval 5 menit selama 3 hari di 3 lokasi (kampung Ruteng Pu'u, Desa Todo dan kampung Kumba) yang masing-masing menghasilkan sebanyak 877 data.

Dari hasil pengukuran di lapangan yang dilakukan di kampung Ruteng Pu'u, temperatur luar maksimum ($T_o \max$) terjadi sekitar pukul 10.00 hingga pukul 12.00 sedangkan temperatur luar minimum ($T_o \min$) terjadi pukul 06.00. Temperatur luar maksimum ($T_o \max$) terjadi pada hari ketiga, yaitu mencapai $27,5^{\circ}\text{C}$ dan temperatur luar minimum ($T_o \min$) terjadi pada hari kedua yaitu $15,4^{\circ}\text{C}$, dengan temperatur rata-rata selama 3 hari pengukuran adalah $20,4^{\circ}\text{C}$.

Kelembaban luar maksimum (RH max) terjadi sekitar pukul 01.00 yang mencapai 99% dan untuk kelembaban luar minimum (RH min) terjadi sekitar pukul 12.00, yaitu mencapai 48% dengan kelembaban luar rata-rata 78%.

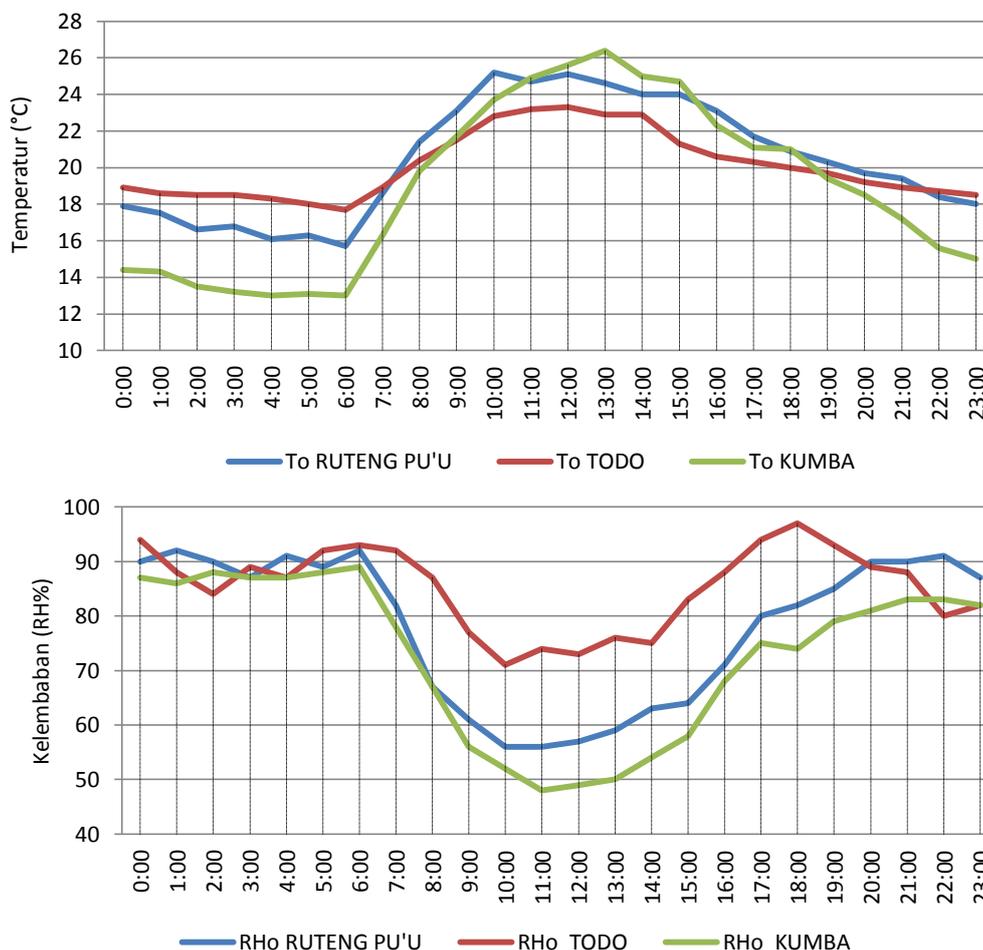
Rekaman temperatur di desa Todo menunjukkan bahwa temperatur luar maksimum ($T_o \max$) terjadi pada hari kedua sekitar pukul 12.00 sedangkan temperatur luar minimum ($T_o \min$) terjadi pada hari ketiga sekitar pukul 06.00. Temperatur luar maksimum ($T_o \max$) mencapai $25,3^{\circ}\text{C}$ dan temperatur luar minimum ($T_o \min$) mencapai $17,1^{\circ}\text{C}$, dengan temperatur rata-rata selama 3 hari pengukuran adalah $20,1^{\circ}\text{C}$.

Kelembaban luar maksimum (RH max) mencapai 99% yang terjadi selama 3 hari dengan waktu yang berbeda-beda yaitu: hari pertama pada pukul 06.00, pukul 16.00 hingga 17.00, hari kedua pukul 00.00 hingga 03.00, pukul 08.00 dan pukul 19.00 hingga 20.00, hari ketiga pukul 18.00 hingga 20.00. Sedangkan untuk kelembaban luar minimum (RH min) terjadi pada hari ketiga pada pukul 14.00, yaitu mencapai 61% dan kelembaban luar rata-rata selama 3 hari yaitu 85%.

Pengukuran lapangan yang dilakukan di kampung Kumba, menunjukkan temperatur luar maksimum ($T_o \max$) terjadi pukul 13.00 sedangkan temperatur luar minimum ($T_o \min$) terjadi pukul 06.00. Temperatur luar maksimum ($T_o \max$) mencapai $27,7^{\circ}\text{C}$ dan temperatur luar minimum ($T_o \min$) yaitu $12,4^{\circ}\text{C}$, dengan temperatur rata-rata selama 3 hari pengukuran adalah $18,9^{\circ}\text{C}$.

Kelembaban luar maksimum (RH max) terjadi sekitar pukul 04.00 hingga 06.00 yang mencapai 99% dan untuk kelembaban luar minimum (RH min) terjadi sekitar pukul 09.00 hingga 11.00, yaitu mencapai 43% dengan kelembaban luar rata-rata 73%.

Hasil pengukuran selama 3 hari di kampung Ruteng Pu'u, desa Todo dan Kumba dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Profil temperatur (To) dan kelembaban (RHo) di 3 lokasi penelitian

b. Kondisi Langit

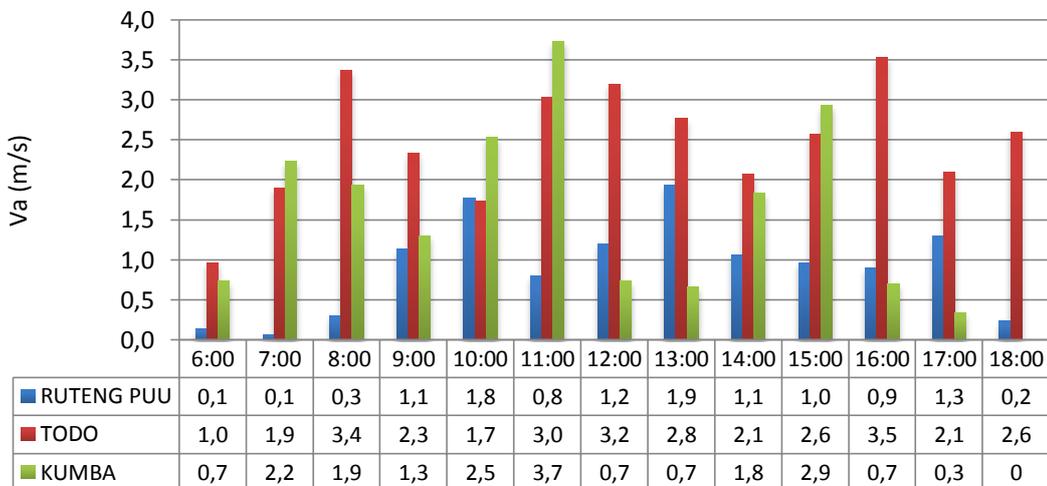
Kondisi langit dapat dibedakan menjadi empat bagian yaitu:

- Cerah, yaitu kondisi langit tidak tertutup awan.
- Berawan, yaitu kondisi langit dengan awan putih yang menutupi hanya sebagian dari kubah langit.

mencapai 4,0 m/s dan minimum 0,0 m/s dan rata-rata 1.0 m/s, dengan dominan arah datang angin dari arah Utara dan Timur.

Kecepatan angin di desa Todo selama 3 hari pengukuran, mulai dari pkl.06.00 sampai pkl.18.00, rata-rata 2,5 m/s dengan kecepatan angin maksimum mencapai 7,0 m/s dan minimum 0,5 m/s, dengan dominan arah hembusan angin dari arah Utara dan Timur. Dan hasil pengukuran yang dilakukan di kampung Kumba, kecepatan angin maksimum mencapai 8,0 m/s dan minimum 0,0 m/s dengan kecepatan angin rata-rata 2,0 m/s, serta dominan arah angin dari arah Utara dan Timur.

Hasil pengukuran kecepatan angin di kampung Ruteng Pu'u, desa Todo dan kampung Kumba dapat dilihat pada gambar 4.14



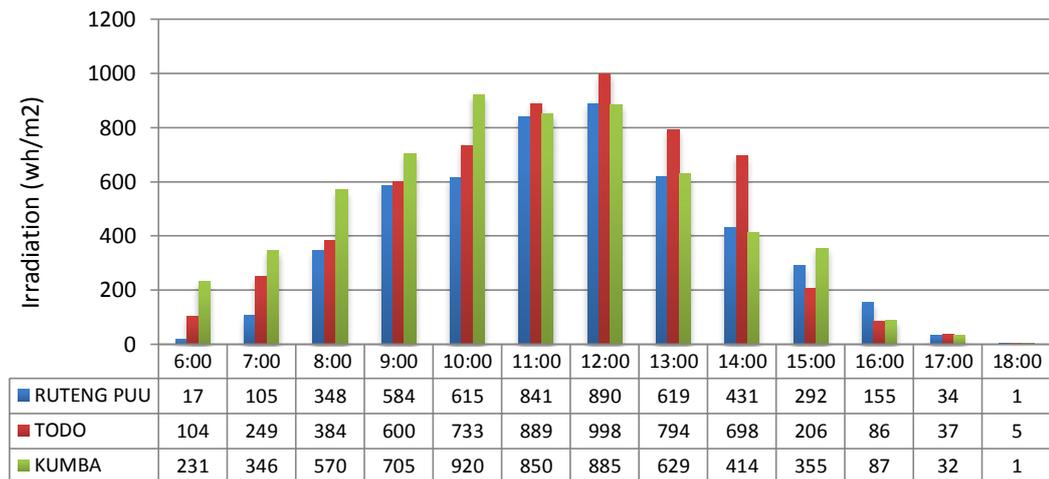
Gambar 4.14 Profil kecepatan angin di Ruteng Pu'u, Todo dan Kumba

d. Kondisi Radiasi Matahari

Pengukuran radiasi matahari menggunakan alat ukur *Solar Power Meter* yang dilakukan setiap jam mulai dari pkl.06.00 sampai pkl.18.00, selama tiga hari. Selama pengukuran dilakukan, intensitas radiasi matahari selalu berubah-ubah karena kondisi langit yang sangat fluktuatif. Ketika kondisi langit cerah intensitas radiasi matahari menjadi begitu tinggi, namun dapat berubah menjadi rendah ketika awan mulai mendung dan berkabut.

Hasil pengukuran radiasi matahari di kampung Ruteng Pu'u, selalu rendah pada pagi hari dan semakin tinggi menjelang pukul 10.00 hingga pukul 14.00. Puncak maksimum terjadi pada pukul 12.00 dengan nilai *Irradiation* mencapai 1209 w/m². Pada sore hari menjelang pukul 15.00 hingga 18.00, intensitasnya semakin menurun karena kondisi langit cenderung mendung.

Pengukuran radiasi matahari di desa Todo, semakin tinggi mulai pukul 10.00 hingga pukul 14.00 dengan puncak maksimum terjadi pada pukul 13.00 dengan nilai *Irradiation* mencapai 1173 w/m². Ketika radiasi matahari mulai semakin tinggi kondisi langit berawan dan saat intensitasnya semakin menurun menjelang pukul 15.00 kondisi langit cenderung mendung dan berkabut. Hal tersebut juga tidak berbeda dengan hasil pengukuran yang dilakukan di kampung Kumba, dimana radiasi matahari mulai tinggi pada pukul 09.00 hingga pukul 14.00. Serta puncak maksimumnya terjadi pada pukul 13.00 dengan nilai *Irradiation* mencapai 1236 w/m². Gambar 4.15 dibawah ini merupakan nilai *Irradiation* di kampung Ruteng Pu'u, desa Todo dan kampung Kumba.



Gambar 4.15 Nilai *Irradiation* di Ruteng Pu'u, Todo dan Kumba

4.2.3 Hasil Pengukuran Pada Obyek Penelitian

a. Kondisi Temperatur dan Kelembaban

Pengukuran kondisi termal di dalam bangunan meliputi pengukuran temperatur udara, kelembaban udara yang direkam dengan menggunakan alat

ukur *Data Logger/ Thermohygrometer* dengan interval 5 menit. Alat ukur *Data Logger/ Thermohygrometer* untuk mengukur temperatur dan kelembaban diletakan pada ketinggian 0,80 meter dari lantai dengan posisi alat diletakan pada titik tengah ruang keluarga.

- Pengukuran di rumah Niang Ruteng Pu'u:

Hasil pengukuran kondisi termal didalam bangunan yang dilakukan di kampung Ruteng Pu'u, adalah sebagai berikut: temperatur ruang dalam maksimum ($T_i \text{ max}$) terjadi sekitar pukul 14.00 sedangkan temperatur minimum ($T_o \text{ min}$) terjadi pukul 06.00. Temperatur dalam maksimum ($T_i \text{ max}$) dan temperatur minimum ($T_i \text{ min}$) terjadi pada hari pertama, yaitu $T_i \text{ max}$ mencapai $24,6^\circ\text{C}$ dan $T_i \text{ min}$ $16,7^\circ\text{C}$, dengan temperatur rata-rata (T_{av}) selama 3 hari pengukuran adalah $20,5^\circ\text{C}$.

Kelembaban ruang dalam maksimum ($RHi \text{ max}$) terjadi sekitar pukul 07.00 yang mencapai 88% dan untuk kelembaban ruang dalam minimum ($RHi \text{ min}$) terjadi sekitar pukul 14.00, yaitu mencapai 58% dengan kelembaban ruang dalam rata-rata 75%.

- Pengukuran di rumah Niang Todo:

Hasil rekaman temperatur di desa Todo, menunjukkan bahwa temperatur ruang dalam maksimum ($T_i \text{ max}$) terjadi pada hari kedua sekitar pukul 13.00 hingga pukul 14.00 sedangkan temperatur ruang dalam minimum ($T_i \text{ min}$) terjadi pada hari ketiga sekitar pukul 05.00 hingga pukul 07.00. Temperatur ruang dalam maksimum ($T_i \text{ max}$) mencapai $22,9^\circ\text{C}$ dan temperatur minimum ($T_i \text{ min}$) mencapai 18°C , dengan temperatur rata-rata $20,1^\circ\text{C}$.

Kelembaban ruang dalam maksimum ($RHi \text{ max}$) terjadi sekitar pukul 02.00 yang mencapai 94% dan untuk kelembaban ruang dalam minimum ($RHi \text{ min}$) terjadi sekitar pukul 23.00, yaitu mencapai 63% dengan kelembaban ruang dalam rata-rata 82%.

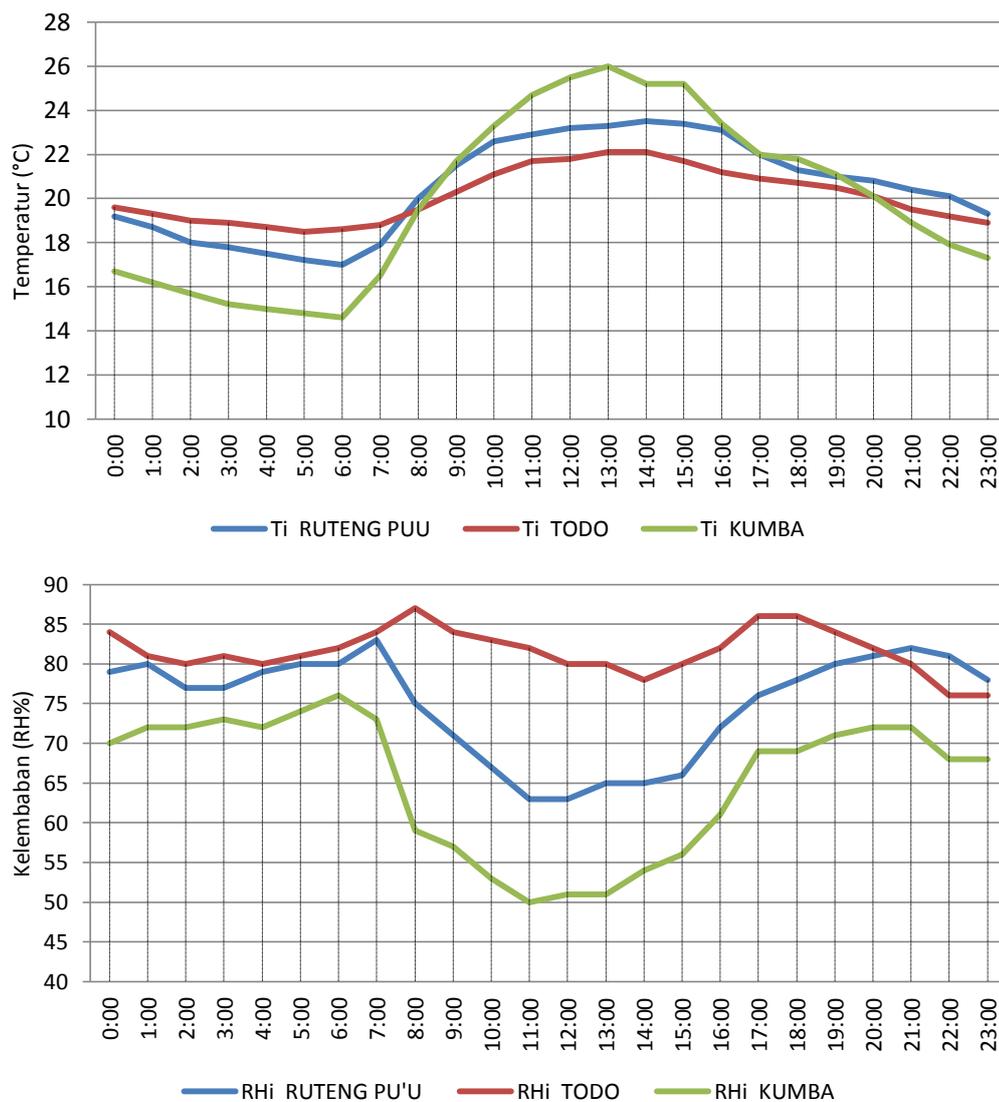
- Pengukuran di rumah Niang Kumba:

Hasil pengukuran rumah Niang di kampung Kumba menunjukkan bahwa temperatur ruang dalam maksimum ($T_i \text{ max}$) terjadi pukul 15.00 sedangkan temperatur minimum ($T_i \text{ min}$) terjadi pukul 06.00. Temperatur ruang dalam

maksimum (T_i max) mencapai 27°C dan temperatur minimum (T_i min) yaitu $14,3^{\circ}\text{C}$, dengan temperatur rata-rata selama 3 hari pengukuran adalah $19,9^{\circ}\text{C}$.

Kelembaban ruang dalam maksimum (RH_i max) terjadi sekitar pukul 06.00 yang mencapai 81% dan untuk kelembaban ruang dalam minimum (RH_i min) terjadi sekitar pukul 11.00, yaitu mencapai 44% dengan kelembaban ruang dalam rata-rata 65%.

Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban ruang dalam di kampung Ruteng Pu'u, desa Todo dan Kumba dapat dilihat pada gambar 4.16 dibawah ini:



Gambar 4.16 Profil T_i dan RH_i Rumah Niang di 3 lokasi penelitian.

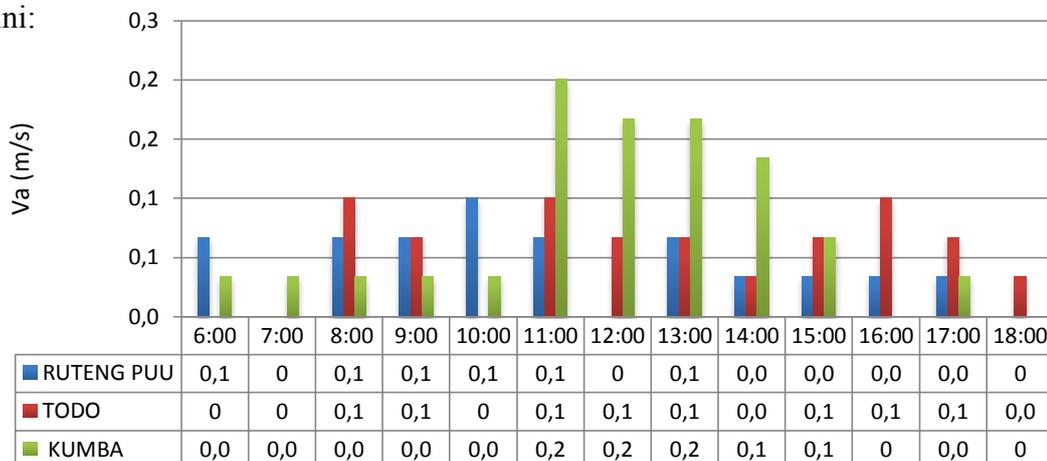
b. Kecepatan dan Arah Angin

Kecepatan angin ruang dalam diukur dengan menggunakan alat ukur *Anemometer* yang dilakukan setiap jam mulai dari pkl.06.00 sampai pkl.18.00, selama 3 hari.

Hasil pengukuran di rumah Niang kampung Ruteng Pu'u menunjukkan kecepatan angin ruang dalam maksimum mencapai 0,2 m/s dan minimum 0,0 m/s dan rata-rata 0,1 m/s dengan dominan arah dari Utara dan Timur. Kecepatan angin maksimal di dalam ruangan umumnya terjadi pada siang hari. Kecepatan angin maksimal saat pengukuran di kampung Ruteng Pu'u terjadi pada hari pertama dan ketiga.

Kecepatan angin ruang dalam di desa Todo selama 3 hari pengukuran, rata-rata 0,1 m/s dengan kecepatan angin ruang dalam maksimum mencapai 0,3 m/s dan minimum 0,0 m/s dengan dominan arah dari Utara dan Timur. Kecepatan angin maksimal saat pengukuran di desa Todo terjadi pada hari pertama. Untuk kecepatan angin maksimal di dalam ruangan mengikuti pola kecepatan angin maksimal diluar ruangan yang terjadi pada sore hari.

Dan hasil pengukuran yang dilakukan di kampung Kumba, kecepatan angin maksimal terjadi pada hari kedua pengukuran dan kecepatan angin maksimal di dalam ruangan umumnya terjadi pada siang hari. Kecepatan angin ruang dalam maksimum mencapai 0,5 m/s dan minimum 0,0 m/s dengan kecepatan angin rata-rata 0,1 m/s. Untuk hasil pengukuran kecepatan angin di kampung Ruteng Pu'u, desa Todo dan kampung Kumba dapat dilihat pada gambar 4.17 dibawah ini:



Gambar 4.17 Profil kecepatan angin ruang dalam Ruteng Pu'u, Todo dan Kumba

4.2.4 Hasil Pengukuran Lapangan

Dari data pengukuran lapangan selama 3 hari, kondisi iklim secara keseluruhan tergolong sejuk dan memiliki pola yang hampir sama. Temperatur udara (T_o) tergolong rendah hingga sedang yaitu berkisar antara 15°C hingga 27°C , dengan kelembaban udara (R_{Ho}) berkisar 48% hingga 99%. Temperatur maksimum ($T_o \text{ max}$) terjadi mulai pukul 10:00 hingga 14:00 dan temperatur minimum ($T_o \text{ min}$) terjadi pukul 06:00. Kelembaban maksimum sering terjadi pada malam hari hingga menjelang pagi hari.

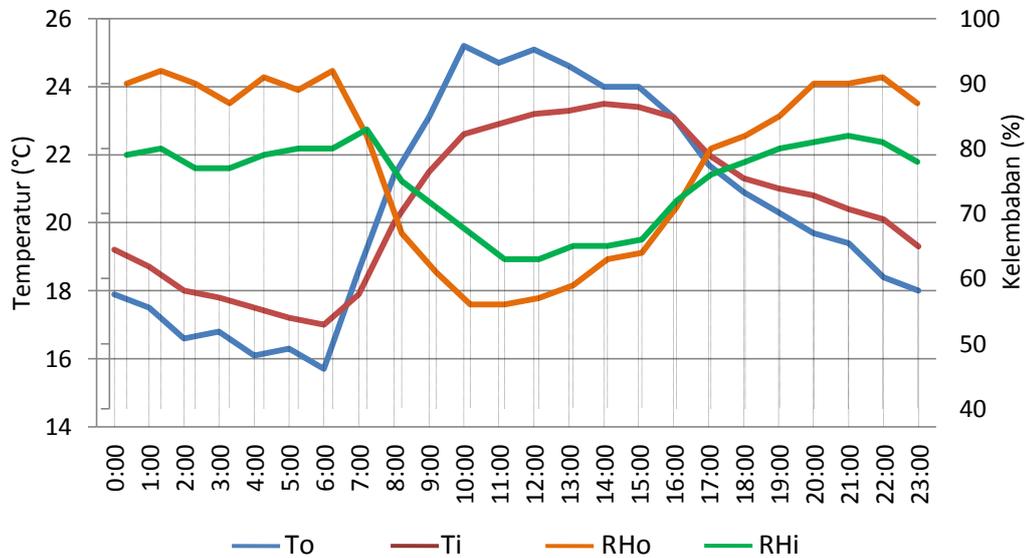
Kecepatan angin rendah berkisar antara 0,0 m/s hingga 7,0 m/s dengan dominan arah hembusan angin dari arah Utara dan Timur. Kondisi langit selalu berubah-ubah. Kondisi cerah sering terjadi pada pagi hari, mulai pukul 06:00 hingga pukul 10:00. Kondisi berawan terjadi pada siang hari, mulai pukul 11:00 hingga pukul 14:00 dan kondisi mendung pada sore hari pukul 15:00 hingga pukul 18:00.

Intensitas radiasi matahari cukup tinggi, dengan nilai *Irradiation* mencapai 1209 w/m^2 . Intensitas radiasi matahari tinggi mulai terjadi pada pukul 10:00 hingga pukul 14:00. Saat intensitas radiasi matahari tinggi, kondisi langit berawan dan ketika intensitas rendah, kondisi langit cerah dan mendung. Perbedaan ketinggian dari permukaan laut akan memberikan variasi pada nilai radiasi matahari (Oki dan Shiina, 2003).

Kondisi termal didalam bangunan secara umum mengikuti kondisi iklim yang terjadi pada lingkungan ruang luar. Selama tiga hari pengukuran, secara keseluruhan kondisi termal didalam bangunan cenderung sejuk karena temperatur udara (T_i) berkisar antara 16°C hingga 24°C . Temperatur maksimum ($T_i \text{ max}$) terjadi pukul 13:00 hingga pukul 14:00 dan temperatur minimum ($T_i \text{ min}$) terjadi pukul 05:00 hingga pukul 06:00. Kelembaban udara berkisar 58% hingga 94% dan kecepatan angin rendah berkisar antara 0,0 m/s hingga 0.1 m/s.

Pada pengukuran rumah Niang Ruteng Pu'u, $T_i \text{ max}$ mencapai $23,5^{\circ}\text{C}$ yang terjadi pukul 14:00 dan $T_i \text{ min}$ mencapai 17°C , terjadi pada pukul 06:00. Kelembaban maksimum (R_{Hi}) terjadi pukul 07:00 mencapai 83% dan kelembaban minimum (R_{Hi}) mencapai 63% terjadi pukul 11:00 hingga pukul

12:00. Ketika temperatur mencapai maksimum, perbedaan antara temperatur ruang luar (T_o) dan temperatur ruang dalam (T_i) mencapai 2,6C yang terjadi pada pukul 10:00 dan ketika temperatur minimum, perbedaannya mencapai 1,3C yang terjadi pada pukul 06:00.

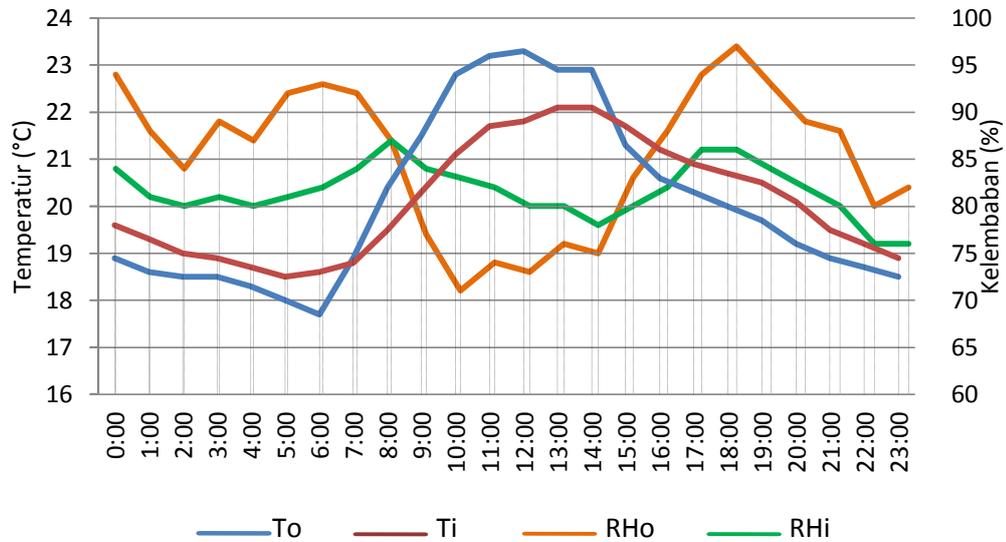


Gambar 4.18 Profil T_o , T_i dan RHo, RHi rumah Niang Ruteng Pu'u

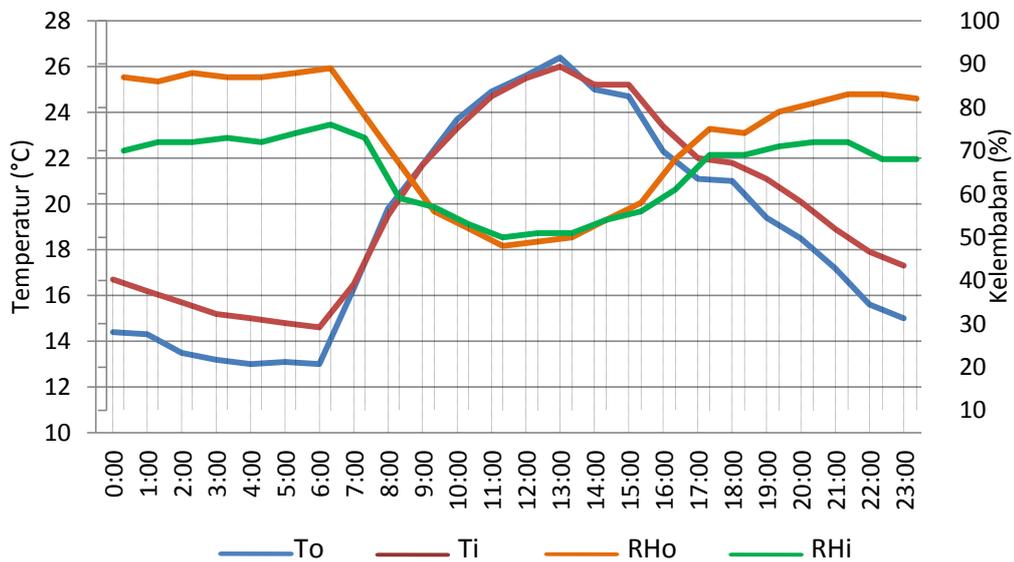
Pengukuran di rumah Niang Todo, T_i max terjadi pukul 13:00 hingga pukul 14:00 yang mencapai 21,2°C dan T_i min mencapai 18,5°C, terjadi pada pukul 05:00. Kelembaban maksimum (RHi max) terjadi pukul 08:00 yang mencapai 87% dan kelembaban minimum (RHi min) mencapai 76% yang terjadi pada pukul 22:00 hingga pukul 23:00. Ketika temperatur mencapai maksimum, perbedaan temperatur ruang luar (T_o) dan temperatur ruang dalam (T_i) mencapai 1,5°C, yang terjadi pada pukul 12:00 dan ketika temperatur minimum, perbedaannya mencapai 0,9C yang terjadi pada pukul 06:00.

Pengukuran di rumah Niang Kumba, temperatur maksimum (T_i max) terjadi pukul 13:00 yaitu mencapai 26°C. Temperatur minimum (T_i min) terjadi pukul 06.00 yaitu mencapai 14,6°C. Kelembaban maksimum (RHi max) terjadi sekitar pukul 06:00 yaitu 76% dan kelembaban minimum (RHi min) terjadi pukul 11:00 yaitu mencapai 50%. Ketika temperatur mencapai maksimum perbedaan antara temperatur ruang luar (T_o) dan temperatur ruang dalam (T_i) mencapai 0,4C,

terjadi pada pukul 13:00 dan ketika temperatur minimum perbedaannya mencapai 1,6C, yang terjadi pada pukul 06:00.



Gambar 4.19 Profil To, Ti dan RHo, RHi rumah Niang Todo



Gambar 4.20 Profil To, Ti dan RHo, RHi rumah Niang Kumba

4.2.5 Respon Penghuni Terhadap Kondisi Termal

Wawancara terhadap 20 responden dari penghuni rumah Niang di 3 lokasi (Ruteng Pu'u: 8 responden, Todo: 7 responden dan Kumba: 5 responden) terdiri dari 12 laki-laki (60%) dan 8 perempuan (40%). Usia antara 15 - 73 tahun, dilakukan pada waktu pagi, siang dan sore. Wawancara termal sensasi terdiri dari

dua bagian, pertama adalah berkaitan dengan termal yang dirasakan responden (skala kesan termal) dan yang kedua berhubungan dengan perilaku adaptasi dari responden.

Skala kesan termal yang diambil berdasarkan indeks yang diperkenalkan oleh Fanger (1970) yakni PMV (*Predicted Mean Vote*). PMV merupakan sebuah indeks yang memperkirakan nilai rata-rata *vote* kelompok besar manusia pada 7 poin skala sensasi termal, yaitu dingin, sejuk, agak sejuk, netral/nyaman, agak hangat, hangat, dan panas. Skala kesan termal yang didapat dari responden adalah dingin, sejuk, dan nyaman. Jumlah responden yang merasakan sensasi dingin sebanyak 15% dari jumlah responden. Penghuni rumah Niang di Ruteng Pu'u yang merasakan sensasi dingin hanya 1 orang, penghuni rumah Niang di Kumba sebanyak 2 orang dan penghuni Niang di Todo tidak ada yang merasakan sensasi dingin dengan jumlah responden yang merasakan sensasi dingin sebanyak 3 orang. Rentang temperatur yang merasakan sensasi dingin 16,4°C – 20,7°C, rentang kelembaban antara 66% - 83% dengan kecepatan udara berkisar 0,0 m/s – 0,1 m/s.

Jumlah responden yang merasakan sensasi sejuk sebanyak 40% dari jumlah responden. Penghuni rumah Niang di Ruteng Pu'u yang merasakan sensasi sejuk sebanyak 3 orang, penghuni Niang di Todo sebanyak 2 orang dan penghuni Niang di Kumba sebanyak 3 orang dengan jumlah responden yang merasakan sensasi sejuk sebanyak 8 orang. Rentang temperatur sensasi sejuk 18,1°C – 22,8°C, rentang kelembaban berkisar antara 73% - 80% dengan kecepatan udara berkisar 0,0 m/s – 0,1 m/s.

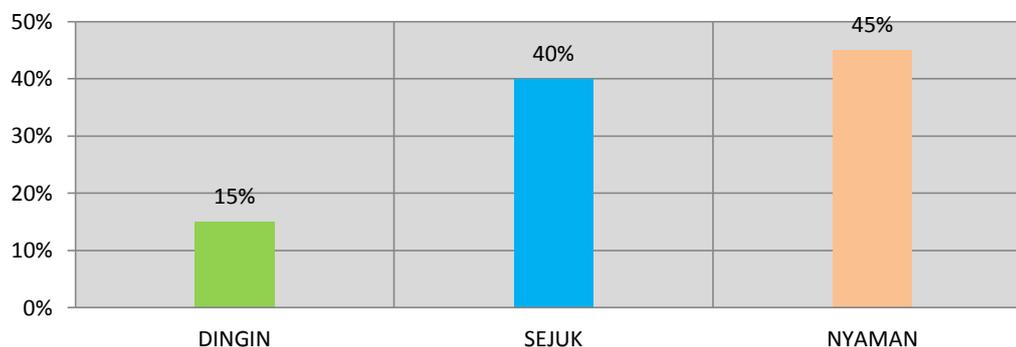
Jumlah responden yang merasakan nyaman sebanyak 45%. Penghuni rumah Niang di Ruteng Pu'u yang merasakan sensasi nyaman sebanyak 4 orang, penghuni rumah Niang di Todo sebanyak 5 orang dan penghuni Niang di Kumba tidak ada yang merasakan sensasi nyaman, sehingga jumlah responden yang merasakan sensasi nyaman sebanyak 9 orang. Rentang temperatur sensasi nyaman 19,5°C – 25,8°C dengan kelembaban berkisar antara 63% - 79% dan kecepatan udara berkisar 0,0 m/s. Pada umumnya yang merasakan sensasi dingin, sebagian besar dirasakan pada pagi hari (pukul 06:00-08:00) dan sore hari (di atas pukul

16:00) dan sensasi sejuk hingga nyaman sebagian besar terjadi pada pagi hari (di atas pukul 09:00) hingga sore hari.

Tabel 4.8 Sensasi termal penghuni rumah Niang di 3 Lokasi Penelitian

Sensasi Termal	Ruteng Pu'u	Todo	Kumba	Responden
Dingin	1	-	2	3
Sejuk	3	2	3	8
Nyaman	4	5	-	9
Jumlah	8	7	5	20

Sensasi Termal	Responden	Prosentase (%)	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)
Dingin	3 Orang	15 %	16,4°C-20,7°C	66% - 83%
Sejuk	8 Orang	40 %	18,1°C-22,8°C	73% - 80%
Nyaman	9 Orang	45 %	19,5°C-25,8°C	63% - 79%
Jumlah	20 Orang	100 %		



Gambar 4.21 Prosentase sensasi termal penghuni rumah di 3 Lokasi Penelitian

Jumlah responden yang merasakan nyaman hanya 45% dan hanya melibatkan 20 responden saja sehingga hasil yang diperoleh kurang dapat digeneralisasi (75% – 80% responden) untuk digunakan dalam menentukan zona nyaman. Untuk memprediksi zona nyaman bagi penghuni rumah Niang di 3 lokasi tersebut, akan

digunakan persamaan yang dikemukakan oleh Auliciems (1981) yaitu $T_n = 0,31 + 17,6 \times T_o$, dengan rentang kenyamanan ± 2.5 K diatas dan dibawah temperatur netral (T_n). Didapatkan rata-rata temperatur luar (T_o) dari data lapangan adalah $19,5^\circ\text{C}$. Temperatur netral berdasarkan persamaan Auliciems yaitu $23,5^\circ\text{C}$, sehingga menghasilkan ambang batas bawah 21°C dan ambang batas atas 26°C .

Rentang kenyamanan dari penghuni rumah Niang di 3 lokasi sedikit melebar dari batas zona nyaman berdasarkan persamaan Auliciems. Melebarnya rentang kenyamanan dari penghuni rumah Niang dari ambang batas bawah zona nyaman karena dipengaruhi oleh faktor non fisik seperti cara berpakaian serta jenis aktifitas yang dilakukan. Saat kondisi dilapangan berada dibawah batas temperatur nyaman ($19,5^\circ\text{C} - 25,8^\circ\text{C}$), penghuni rumah menggunakan pakaian seperti T-shirt, kemeja lengan pendek, celana pendek/panjang dengan menambah sweater lengan panjang /jaket, sarung, penutup kepala dan leher, dengan nilai insulasi $0,96 \text{ clo} - 1,30 \text{ clo}$. Sedangkan pada kondisi zona nyaman penghuni menggunakan pakaian dengan nilai $0,36 - 0,67 \text{ clo}$.

Dalam periode 24 jam, nilai insulasi pakaian yang digunakan penghuni rumah di lokasi penelitian sering dapat berubah-ubah karena tergantung kondisi temperatur luar. Pakaian pagi hari seperti: celana pendek/rok, t-shirt, kemeja lengan pendek, sweater lengan panjang, jaket ($0,54 - 1,01 \text{ clo}$), pakaian siang hari: celana pendek/rok selutut, celana panjang, kaus lengan pendek/panjang, kemeja lengan pendek/panjang ($0,36 - 0,72 \text{ clo}$), pada sore hari penghuni menggunakan pakaian dengan nilai $0,36 - 1,01 \text{ clo}$ dan malam hari menggunakan pakaian dengan nilai $0,96 - 1,30 \text{ clo}$.

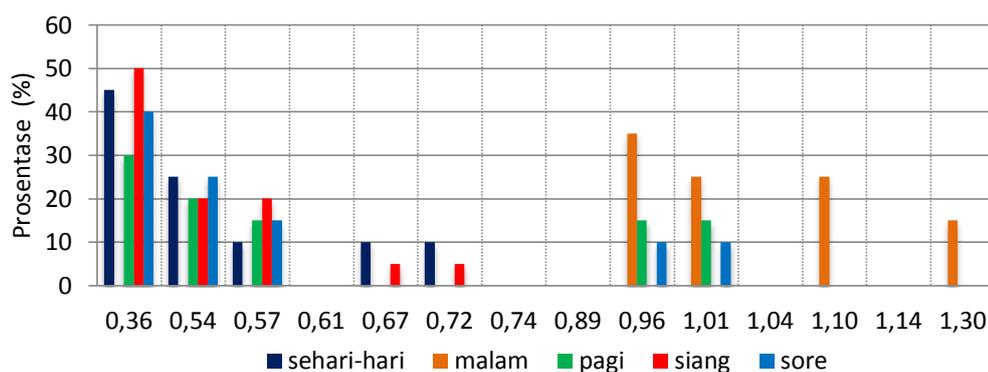


Gambar 4.22 Pola berpakaian penduduk di lokasi penelitian di waktu pagi, siang dan sore hari (sumber: dokumentasi pribadi, 2014).

Selain memakai pakaian yang lebih tebal ketika cuaca dingin (dibawah batas temperatur nyaman), bentuk adaptasi yang dilakukan oleh penghuni adalah adaptasi fisiologis (aklimatisasi) yaitu makan dan minum yang lebih banyak dan melakukan aktifitas dengan bekerja seperti berkebun, bertenun, dan memelihara ternak yang biasa dilakukan pada pagi hari hingga sore hari (pukul 08.00 – 16.00). Sementara pada malam hari penghuni melakukan aktifitas seperti menganyam tikar, mempersiapkan/memperbaiki dan membersihkan peralatan kerja.

Tabel 4.9 Nilai pakaian yang digunakan penghuni Rumah Niang

Nilai Pakaian (Clo)	Waktu				
	Sehari-Hari	Malam	Pagi	Siang	Sore
0.36	9		6	10	8
0.54	5		4	4	5
0.57	2		3	4	3
0.67	2		1	1	
0.72	2		1	1	
0.96		7			2
1.01		5			2
1.10		5			
1.30		3			
Jumlah	20	20	20	20	20



Keterangan:

1. Celana pendek, T-shirt/kaus lengan pendek : 0.36 clo
 2. Celana pendek/rok selutut, kemeja lengan pendek : 0,54 clo
 3. Celana panjang, kemeja lengan pendek : 0.57 clo
 4. Rok/celana panjang, T-shirt lengan panjang : 0.67 clo
 5. Rok/celana panjang, kemeja lengan panjang : 0.72 clo
 6. Celana, T-shirt, jaket : 0.96 clo
 7. Celana, T-shirt/kemeja, sweater lengan panjang : 1.01 clo
 8. Rok panjang/celana panjang, kemeja lengan panjang, jaket : 1.10 clo
 9. Rok panjang/celana panjang, sweater, ditambah jaket : 1,30 clo
- sumber: ANSI/ASHRAE Standard 55-2010

Gambar 4.23 Nilai pakaian yang digunakan penghuni rumah Niang



Gambar 4.24 Pola berpakaian penduduk di lokasi penelitian di saat cuaca dingin (sumber: dokumentasi pribadi, 2014)

Aktifitas penghuni didalam rumah pada umumnya dimulai pada pukul 12:00 hingga pukul 13:00 dan pukul 17:00 hingga pukul 07:00. Pada pukul 12:00–13:00, aktifitas yang dilakukan adalah makan/minum, istirahat, bekerja ringan (membersihkan/merapikan rumah). Pukul 17:00 – 07:00, aktifitas yang dilakukan adalah bekerja ringan (menganyam tikar, mempersiapkan/memperbaiki peralatan kerja), memasak, makan/minum dan istirahat/tidur. Aktifitas yang dilakukan diluar rumah dimulai pada pukul 08:00 hingga pukul 11:00 dan pukul 14:00 hingga pukul 16:00. Aktifitas yang dilakukan diluar rumah adalah bekerja di kebun, menenun, mencari kayu bakar/makanan ternak, menjemur hasil panen.

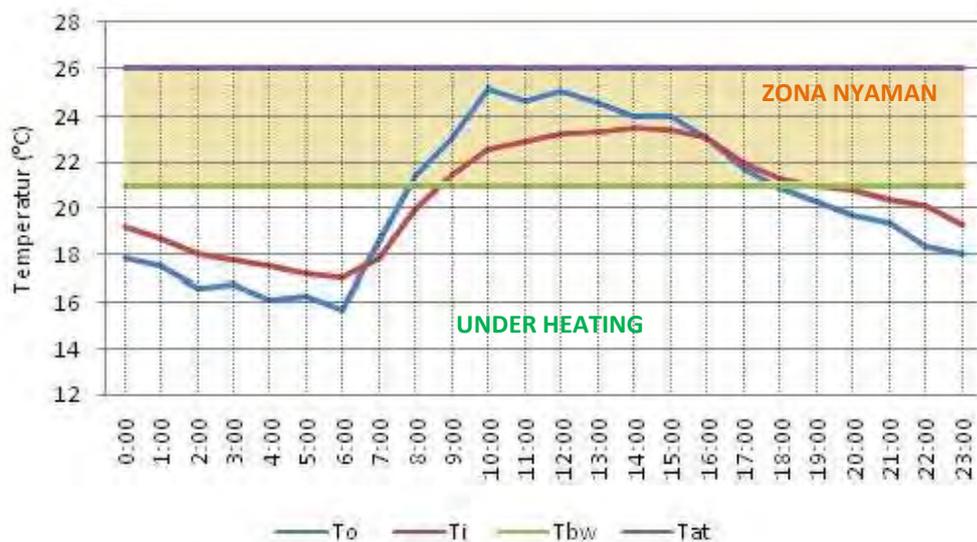


Gambar 4.25 Aktifitas harian penduduk yang dilakukan didalam dan diluar rumah (sumber: dokumentasi pribadi, 2014)

4.2.6 Evaluasi Kondisi Termal

a. Rumah Niang di Ruteng Pu'u

Hasil pengukuran lapangan rata-rata temperatur luar bangunan (T_o) adalah $20,4^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata temperatur dalam bangunan (T_i) $20,5^{\circ}\text{C}$ dengan selisih perbedaan $0,1\text{K}$. Profil temperatur di dalam bangunan (T_i) terhadap temperatur luar bangunan (T_o) dapat lihat pada gambar 4.26. Zona nyaman di lokasi penelitian berdasarkan persamaan Auliciems yaitu temperatur netral $23,5^{\circ}\text{C}$, ambang batas bawah 21°C dan ambang batas atas 26°C .



Gambar 4.26 Profil T_o dan T_i di rumah Niang Ruteng

Dari gambar 4.26 menunjukkan kondisi di dalam rumah Niang Ruteng Pu'u mengalami *underheating* dengan jumlah *heating K-hours* $29,1\text{K}$ dan tidak menunjukkan adanya kondisi *overheating*. Durasi *underheating* selama 13 jam terjadi pada sore hari hingga pagi hari, dimulai pukul $20:00$ hingga pukul $08:00$. Durasi nyaman selama 11 jam, dengan selisih 2 jam dari durasi *underheating*. Selisih temperatur minimum T_i dengan batas bawah temperatur nyaman berkisar antara $0,2\text{K}$ hingga 4K .

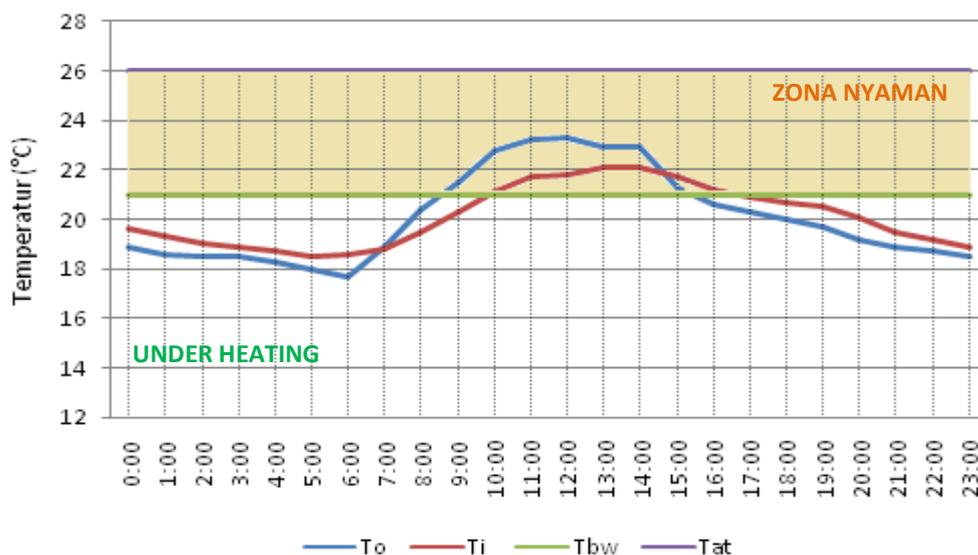
Penggunaan material konstruksi ringan dengan celah-celah yang ada pada bagian atap, dinding, lantai dan banyaknya bukaan menyebabkan pertukaran udara tetap dapat berlangsung sehingga membantu menurunkan temperatur dalam bangunan ketika temperatur luar sedikit naik pada siang hari. Namun penggunaan

material konstruksi ringan tersebut menyebabkan kelemahan karena tidak dapat menyimpan panas lebih lama sehingga panas di dalam bangunan mudah dilepaskan dan mengalir keluar.

b. Rumah Niang di Todo

Dari gambar 4.27 diketahui bahwa ketika temperatur berada dibawah ambang batas, temperatur dalam bangunan (T_i) selalu berada diatas temperatur luar (T_o). Temperatur luar (T_o) rata-rata berkisar antara $17,7^{\circ}\text{C}$ – $23,3^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata temperatur dalam bangunan (T_i) berkisar antara $18,5^{\circ}\text{C}$ – $22,1^{\circ}\text{C}$. Perbedaan waktu ketika terjadi temperatur minimum dan maksimum hanya 1 jam antara temperatur luar (T_o) dan temperatur dalam (T_i). Temperatur minimum T_o terjadi pukul 06:00 dan T_i pukul 07:00. Perbedaan diurnal antara temperatur minimum T_i dengan batas bawah temperatur nyaman berkisar antara 0,1K hingga 2,5K.

Kondisi rumah Niang di Todo tidak menunjukkan adanya *overheating* tetapi mengalami *underheating* dengan jumlah *heating K-hours* 26K. Durasi *underheating* di Niang Todo lebih lama dari 2 Niang lainnya (Niang Ruteng Pu'u dan Niang Kumba) yaitu mencapai 17 jam, dimulai pukul 17:00 hingga pukul 09:00 dengan perbedaan diurnal kondisi *underheating* T_o dan T_i mencapai 7,3K. Kondisi nyaman terjadi pada pukul 11:00 hingga pukul 17:00, dengan durasi 7 jam.



Gambar 4.27 Profil T_o dan T_i di rumah Niang Todo terhadap zona nyaman.

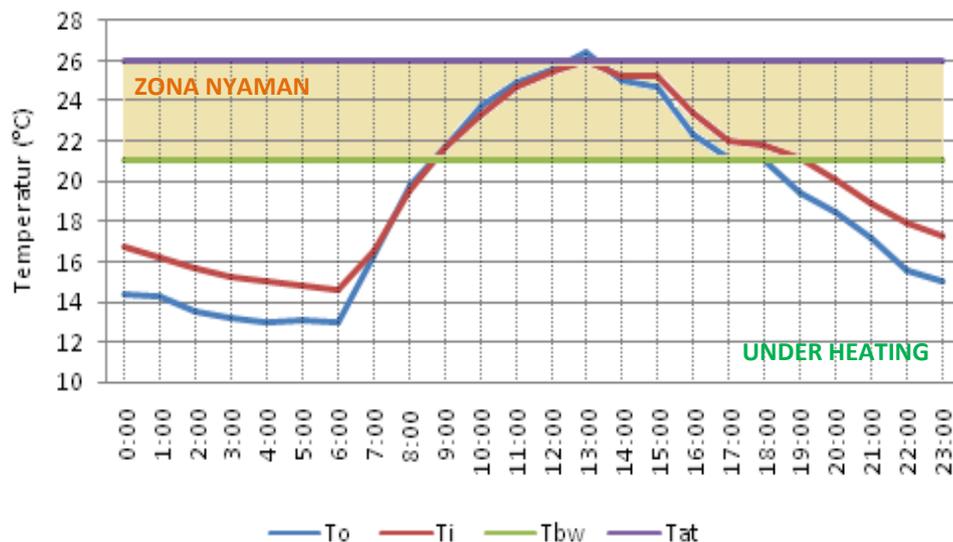
Durasi *underheating* yang cukup lama ini disebabkan oleh kondisi temperatur ruang luar yang mengalami durasi *underheating* yang sama sehingga respon bangunan mengikuti kondisi ruang luar tanpa penundaan waktu yang lama.

Kondisi *underheating* juga terjadi karena rata-rata kecepatan angin ruang luar di desa Todo lebih besar (mencapai 2,5 m/s) dibandingkan di kampung Ruteng Pu'u (1 m/s) dan kampung Kumba (2 m/s), sehingga angin diluar ruangan dapat dengan mudah masuk kedalam bangunan melalui bukaan celah-celah yang ada pada bagian atap, dinding, dan lantai.

Lingkungan di sekitar area desa Todo juga masih didominasi hutan dengan penghalang lingkungan (*obstruction*) sangat kecil serta jarak antar bangunan relatif jauh (kepadatan rendah), sehingga memiliki potensi pergerakan udara yang dingin cukup tinggi.

c. Rumah Niang di Kumba

Hasil pengukuran lapangan rata-rata temperatur luar bangunan (T_o) adalah $18,9^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata temperatur dalam bangunan (T_i) $19,9^{\circ}\text{C}$ dengan selisih perbedaan 1,1K. Gambar 4.35, menunjukkan kondisi T_i senantiasa hampir mendekati kondisi T_o saat temperatur mulai mencapai maksimum (pukul 07:00 – 15:00). Perbedaan diurnal antara temperatur minimum T_i dengan batas bawah temperatur nyaman berkisar antara 0,9K hingga 6,4K.



Gambar 4.28 Profil T_o dan T_i di rumah Niang Kumba terhadap zona nyaman.

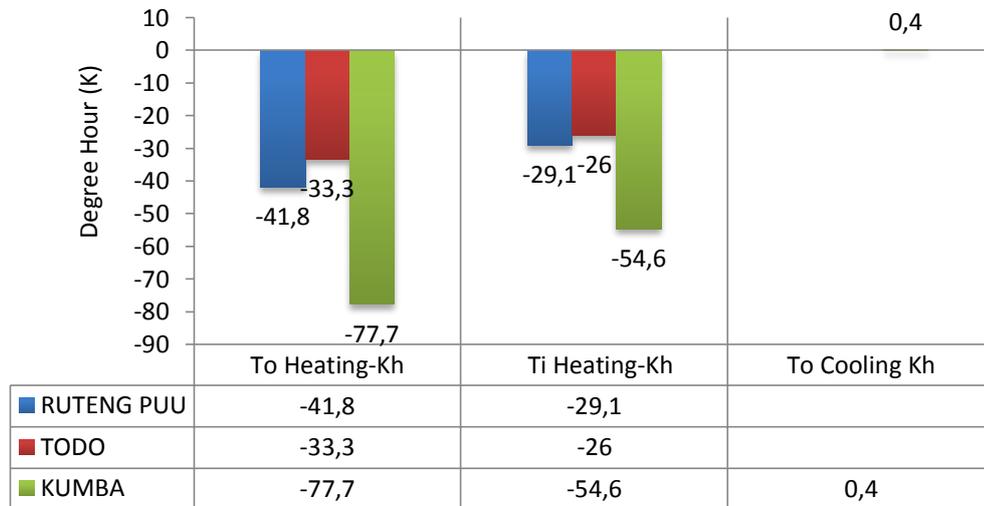
Pada rumah Niang Kumba, kondisi *underheating* (54,6K) terjadi pada pukul 20:00 hingga pukul 08:00 dengan durasi selama 13 jam sama seperti yang terjadi pada rumah Niang Ruteng Pu'u. Ketika T_o dan T_i mencapai temperatur maksimum (pukul 13:00) T_i tetap berada pada zona nyaman namun T_o mengalami kondisi *overheating* meskipun hanya sebesar 0,4K. Kondisi nyaman terjadi pada pukul 10:00 hingga pukul 20:00 dengan lama durasi 11 jam.

Kondisi *overheating* T_o terjadi karena terhalangi oleh tata lingkungan luar (*obstruction*) dengan jarak antar bangunan yang relatif dekat, sehingga angin diluar ruangan yang mencapai maksimum 2,9 m/s tidak dapat optimal untuk mencegah terjadinya kondisi *overheating*. Kecepatan angin di luar yang berkisar antara 0,0 m/s – 2,9 m/s dan rata-rata kecepatan angin dalam ruangan 0,1 m/s, menyebabkan pertukaran udara dalam bangunan pada siang hari tidak dapat menghapus akumulasi panas di dalam ruangan sehingga T_i maksimum mencapai ambang batas atas yaitu 26°C.

Dari hasil evaluasi kondisi termal dan *degree hours* dari ketiga rumah Niang dapat diketahui bahwa rumah Niang di Todo memiliki kinerja lebih baik dengan jumlah *heating K-hours* temperatur ruang dalam (T_i) sebesar 26K dan *heating K-hours* temperatur luar (T_o) sebesar 33,3K. Rumah Niang Todo mampu mengatasi masalah *underheating* jika dibandingkan dengan rumah Niang di Ruteng Pu'u dan Niang di Kumba, walaupun waktu durasi nyaman lebih pendek dan durasi *underheating* lebih panjang dari kedua Niang lainnya. Hal tersebut disebabkan karena Niang Todo tidak memiliki bukaan permanen, sehingga panas dari dalam bangunan pada malam hari tidak mudah keluar.

Selanjutnya adalah kinerja termal rumah Niang di Ruteng Pu'u, dengan jumlah *heating K-hours* temperatur ruang dalam (T_i) sebesar 29,1K dan *heating K-hours* temperatur luar (T_o) sebesar 41,8K. Rumah Niang di Ruteng Pu'u juga mampu mengatasi kondisi *underheating* karena memperbaiki kondisi T_i kedalam zona nyaman selama 11 jam dengan selisih 2 jam dari durasi *underheating*. Namun rumah Niang di Ruteng Pu'u belum mampu mengatasi kondisi *underheating* ketika saat kondisi T_o sudah berada dalam zona nyaman. Hal tersebut disebabkan oleh adanya bukaan (jendela) dan penggunaan *lightweight*

structure sehingga tidak bisa menyimpan dan menahan panas lebih lama didalam bangunan di saat temperatur minimum pada malam hari.



Gambar 4.29 Grafik *Degree Hours* Rumah Niang Hasil Studi Lapangan

Kinerja termal yang berikutnya adalah rumah Niang di Kumba dengan jumlah *heating K-hours* temperatur ruang dalam (Ti) sebesar 54,6K dan *heating K-hours* temperatur luar (To) sebesar 77,7K.

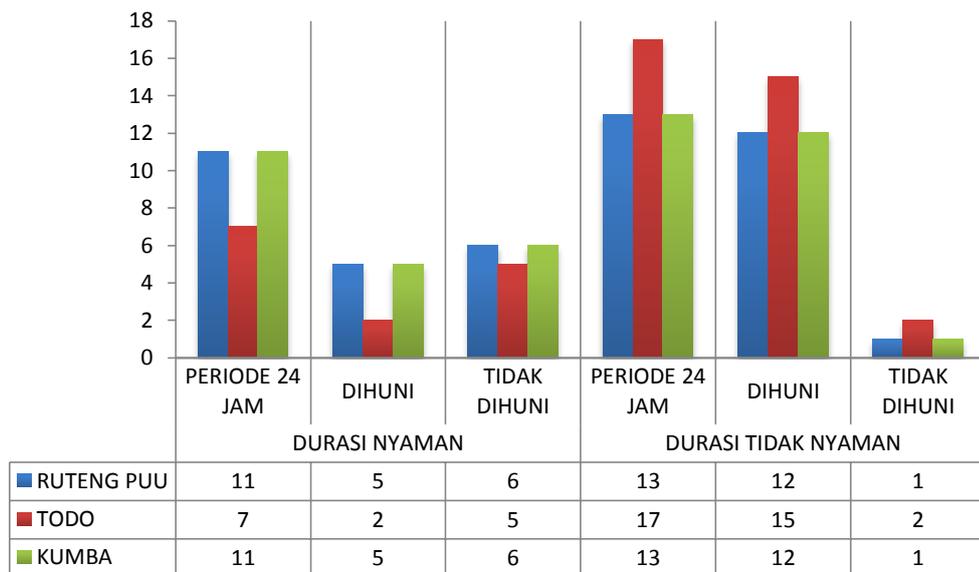
4.2.7 Durasi Nyaman dan Tidak Nyaman

Durasi nyaman merupakan periode dimana kondisi di dalam bangunan berada dalam zona nyaman yang ditentukan berdasarkan persamaan yang dikemukakan oleh Auliciems (1981) yaitu $T_n = 0,31 + 17,6 \times T_o$, dengan rentang kenyamanan +/- 2.5 K diatas dan dibawah temperatur netral (T_n) yaitu 21°C - 26°C. Durasi nyaman dinilai dalam periode 24 jam, periode bangunan aktif digunakan dan periode bangunan tidak aktif digunakan.

Waktu aktif rumah Niang di Ruteng Pu'u, Niang di Todo dan Niang di Kumba pada umumnya yaitu 17 jam. Waktu aktif rumah, dimulai pada pukul 12:00 hingga pukul 13:00 dan pukul 17:00 hingga pukul 07:00. Durasi nyaman bangunan pada rumah Niang di Ruteng Pu'u dan di Kumba selama 24 jam adalah 11 jam (46%), dimulai pukul 09:00 hingga pukul 19:00. Durasi nyaman penghuni saat bangunan aktif digunakan adalah 5 jam (21%), dimulai pada pukul 12:00

hingga pukul 13:00 dan pukul 17:00 hingga pukul 19:00. Durasi nyaman disaat bangunan tidak dihuni adalah 6 jam (25%), mulai pukul 09:00 hingga pukul 11:00 dan pukul 14:00 hingga pukul 16:00.

Durasi nyaman rumah Niang di Todo, selama 24 jam adalah 7 jam dengan prosentase 29% dimulai pada pukul 10:00 hingga pukul 16:00. Durasi nyaman penghuni saat bangunan aktif digunakan adalah 2 jam, pada pukul 12:00-13:00 (8%). Durasi nyaman disaat bangunan tidak dihuni adalah 5 jam dimulai pada pukul 10:00 – 11:00 dan pukul 14:00 – 16:00 dengan jumlah prosentase 21%.



Gambar 4.30 Periode Nyaman dan Tidak Nyaman pada Niang di Ruteng Pu’u, Todo dan Kumba

Dengan melihat durasi nyaman pada ketiga rumah Niang tersebut (gambar 4.30), maka rumah Niang Ruteng Pu’u dan Kumba sama-sama memiliki kinerja yang baik karena memiliki durasi yang paling panjang pada periode aktif bangunan saat digunakan yaitu selama 5 jam dan rumah Niang Todo hanya memiliki durasi selama 2 jam saja ketika bangunan aktif digunakan.

4.3 Simulasi

4.3.1 Penentuan Waktu Simulasi

Dari data iklim selama rentang waktu 5 tahun terakhir (2009 – 2013), dapat dilihat bahwa bulan terdingin terjadi selama bulan Agustus dan bulan terpanas pada bulan November. Kondisi Iklim pada bulan Agustus adalah sebagai berikut: temperatur rata-rata 18.5°C, kelembaban rata-rata 77%, curah hujan 44 mm, kecepatan angin 3,4 m/s dan radiasi rata-rata 2534 wh/m². Kondisi Iklim pada bulan November adalah sebagai berikut: temperatur rata-rata 21°C, kelembaban rata-rata 85%, radiasi rata-rata 1939 rata 2534 wh/m², kecepatan angin 2,8 m/s, curah hujan 450 mm.

Penentuan bulan terdingin dan bulan terpanas menunjukkan kondisi ekstrim pada temperatur lingkungan yang tentunya penting untuk dijadikan pertimbangan bagi bangunan. Tujuan simulasi dilakukan pada bulan terdingin dan bulan terpanas adalah untuk menjawab potensi iklim ekstrim yang terjadi dalam setahun. Data yang telah diperoleh tersebut kemudian digunakan sebagai input program dalam *software* ARCHIPAK menggunakan menu *Climate Analysis*. Dan dari data tersebut disimulasikan menjadi data lengkap tiap jam selama 12 bulan dalam setahun. Simulasi dengan *software* ARCHIPAK dilakukan pada bulan terdingin dan bulan terpanas.

Berdasarkan simulasi ARCHIPAK, batas kenyamanan untuk bulan terdingin (Agustus) adalah 20,9°C (batas bawah) sampai 25,9°C (batas atas) dan bulan terpanas (November) adalah 21,5°C (batas bawah) sampai 26.5°C (batas atas). Pada bulan terdingin dan bulan terpanas, puncak temperaturnya terjadi pada pukul 14:00 dimana bulan terdingin dengan nilai temperatur 25,1°C dan bulan terpanas nilai temperaturnya 25,7°C, dengan perbedaannya sebesar 0,6C.

Tabel 4.10 Profil To Bulan Terdingin dan Terpanas

No	Keterangan	Bulan	
		Agustus (Terdingin)	November (Terpanas)
1	Rata-Rata	18.8°C	20.8°C
2	Netral	23.4°C	24°C
3	Batas Bawah	20.9°C	21.5°C
4	Batas Atas	25.9°C	26.5°C
5	K-Hours <i>UnderHeating</i>	-79	-47.2
6	K-Hours <i>OverHeating</i>	-	-

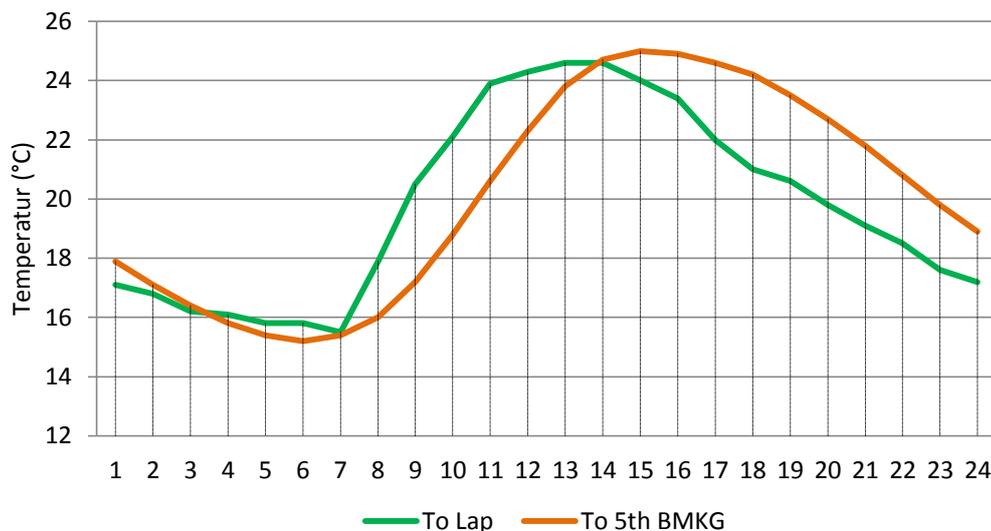
Sumber: Analisis Simulasi ARCHIPAK

4.3.2 Verifikasi Data Iklim Hasil Pengukuran dan Simulasi

Verifikasi dilakukan untuk melihat gambaran sejauh mana kesesuaian temperatur hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi. Proses verifikasi dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Membandingkan temperatur udara luar (T_o) hasil pengukuran lapangan dengan temperatur udara (T_o) dari data iklim BMKG 5 tahun.
- Membandingkan temperatur udara dalam ruang (T_i) hasil pengukuran lapangan dengan temperatur udara dalam ruang (T_i) hasil simulasi berdasarkan data iklim BMKG 5 tahun.

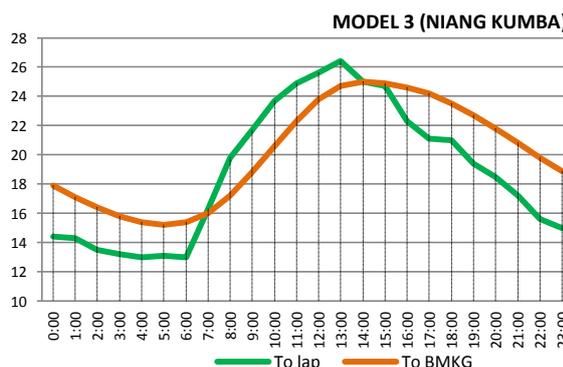
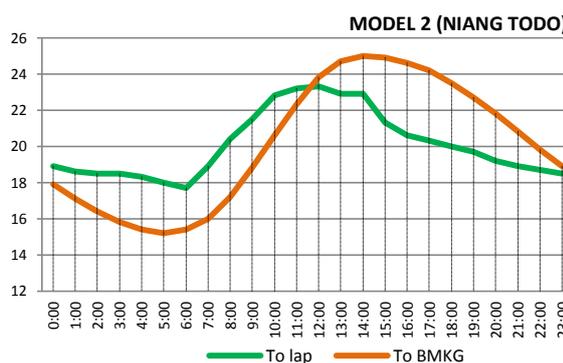
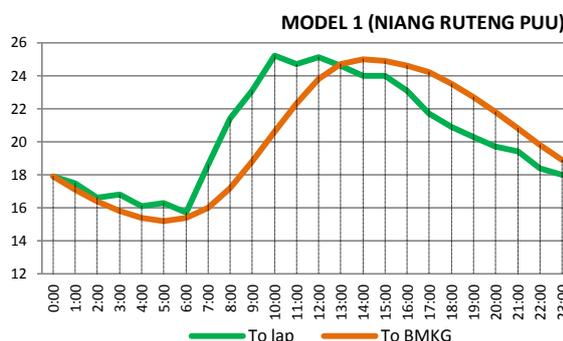
Dari gambar 4.32 menunjukkan bahwa temperatur luar rata-rata di lapangan mencapai $19,8^{\circ}\text{C}$ sementara temperatur luar rata-rata dari BMKG 5 tahun mencapai $20,1^{\circ}\text{C}$. Temperatur udara luar rata-rata dari BMKG memiliki nilai yang lebih besar dari hasil pengukuran lapangan dengan selisih rata-rata $0,3\text{K}$. Selisih terbesar terjadi pada pagi hari (pukul 08:00 – 10:00) mencapai $3,3\text{K}$. Namun pada sore hari temperatur luar dari hasil pengukuran lapangan cenderung lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh kondisi langit pada saat pengukuran cenderung mendung.



Gambar 4.31 Profil T_o BMKG 5 Tahun dan T_o Hasil Lapangan

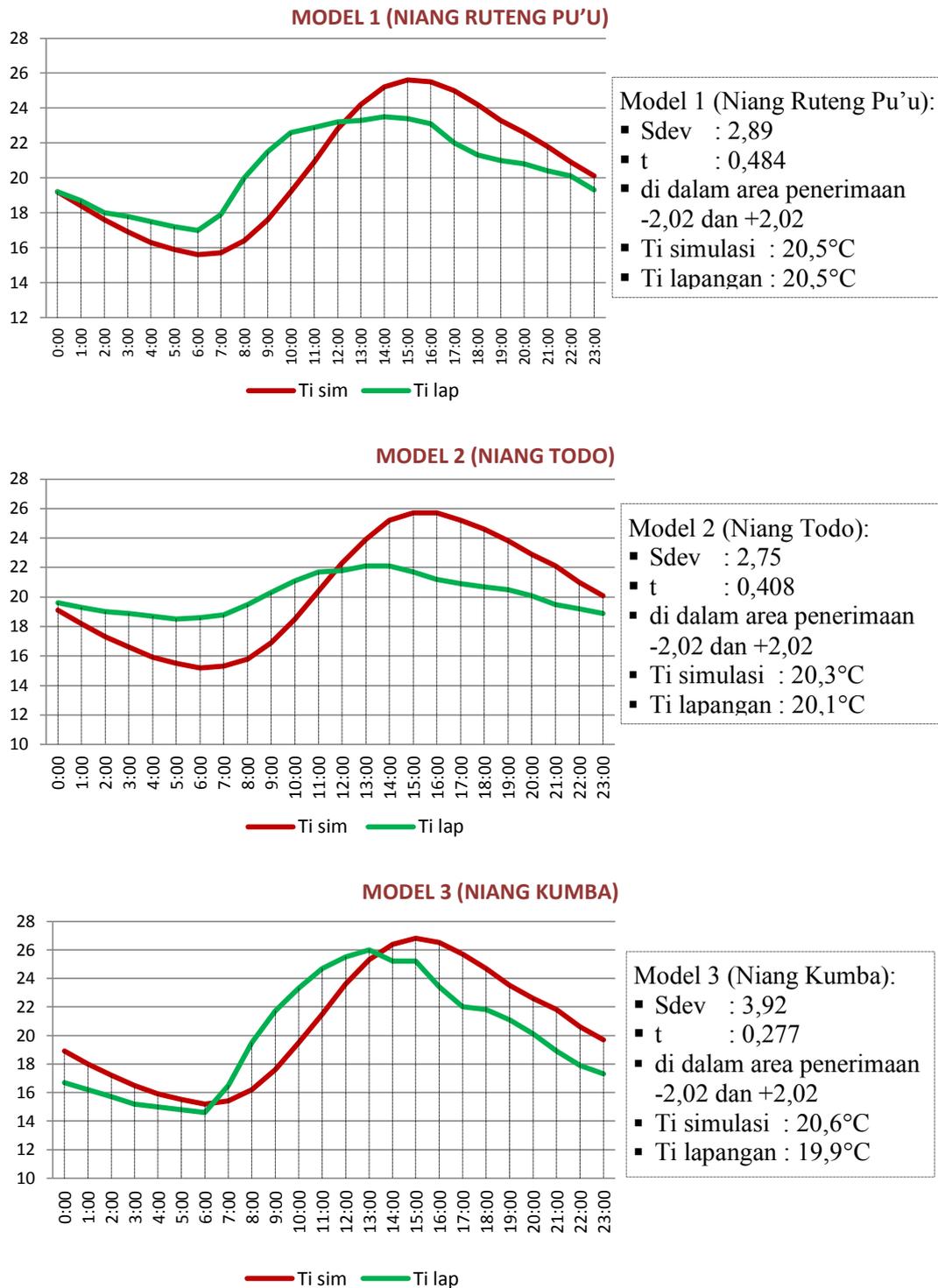
Tabel 4.11 Perbandingan Data Temperatur BMKG dan Hasil Lapangan

Time	To lap	To BMKG	Selisih
0:00	17.1	17.9	0.8
1:00	16.8	17.1	0.3
2:00	16.2	16.4	0.2
3:00	16.2	15.8	0.4
4:00	15.8	15.4	0.4
5:00	15.8	15.2	0.6
6:00	15.5	15.4	0.1
7:00	17.9	16	1.9
8:00	20.5	17.2	3.3
9:00	22.1	18.8	3.3
10:00	23.9	20.6	3.3
11:00	24.3	22.3	2.0
12:00	24.7	23.8	0.9
13:00	24.6	24.7	0.1
14:00	24.0	25	1.0
15:00	23.3	24.9	1.6
16:00	22.0	24.6	2.6
17:00	21.0	24.2	3.2
18:00	20.6	23.5	2.9
19:00	19.8	22.7	2.9
20:00	19.1	21.8	2.7
21:00	18.5	20.8	2.3
22:00	17.6	19.8	2.2
23:00	17.2	18.9	1.7
Average	19.8	20.1	0.3
Sdev	3.213	3.541	2.06



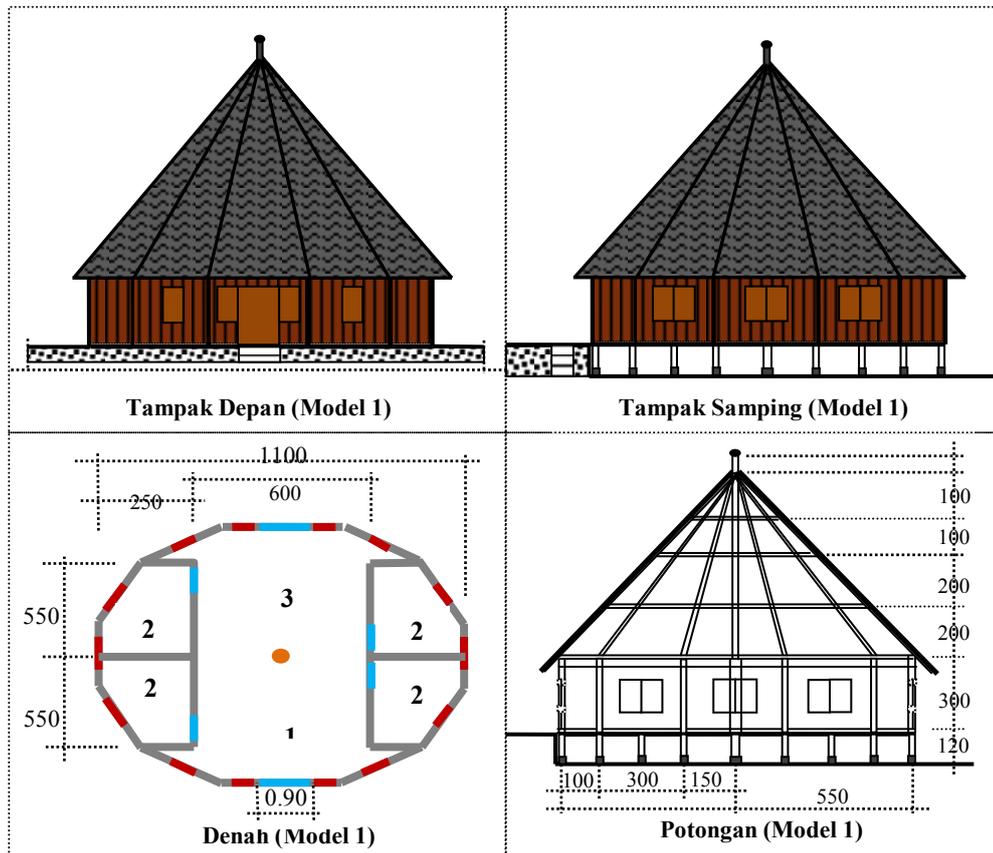
Dari grafik tersebut dapat menunjukkan fenomena profil temperatur luar (To) dari BMKG 5 tahun dengan hasil pengukuran lapangan yang cenderung hampir sama dengan standar deviasi (Sdev) sebesar 3,35. Verifikasi data Temperatur luar (To) dari BMKG 5 tahun dengan To hasil pengukuran lapangan melalui uji-t menghasilkan nilai $t = 0,362$. Hasil tersebut berada pada daerah penerimaan $-2,02$ dan $+2,02$. Sehingga data temperatur luar (To) BMKG dapat digunakan untuk merepresentasikan kondisi To yang sesungguhnya dilapangan dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil (Fitriaty, 2011).

Dari hasil verifikasi kondisi T_i lapangan dengan T_i simulasi menggunakan data BMKG 5 tahun yang dilakukan melalui uji-t diketahui bahwa ketiga model rumah Niang tersebut berada dalam area penerimaan $-2,02$ dan $+2,02$.



Gambar 4.32 Verifikasi Data BMKG 5 Tahun dengan Data Lapangan

4.3.3 Model Simulasi



Keterangan:

- : Pintu
- : Jendela
- : Tiang Rumah

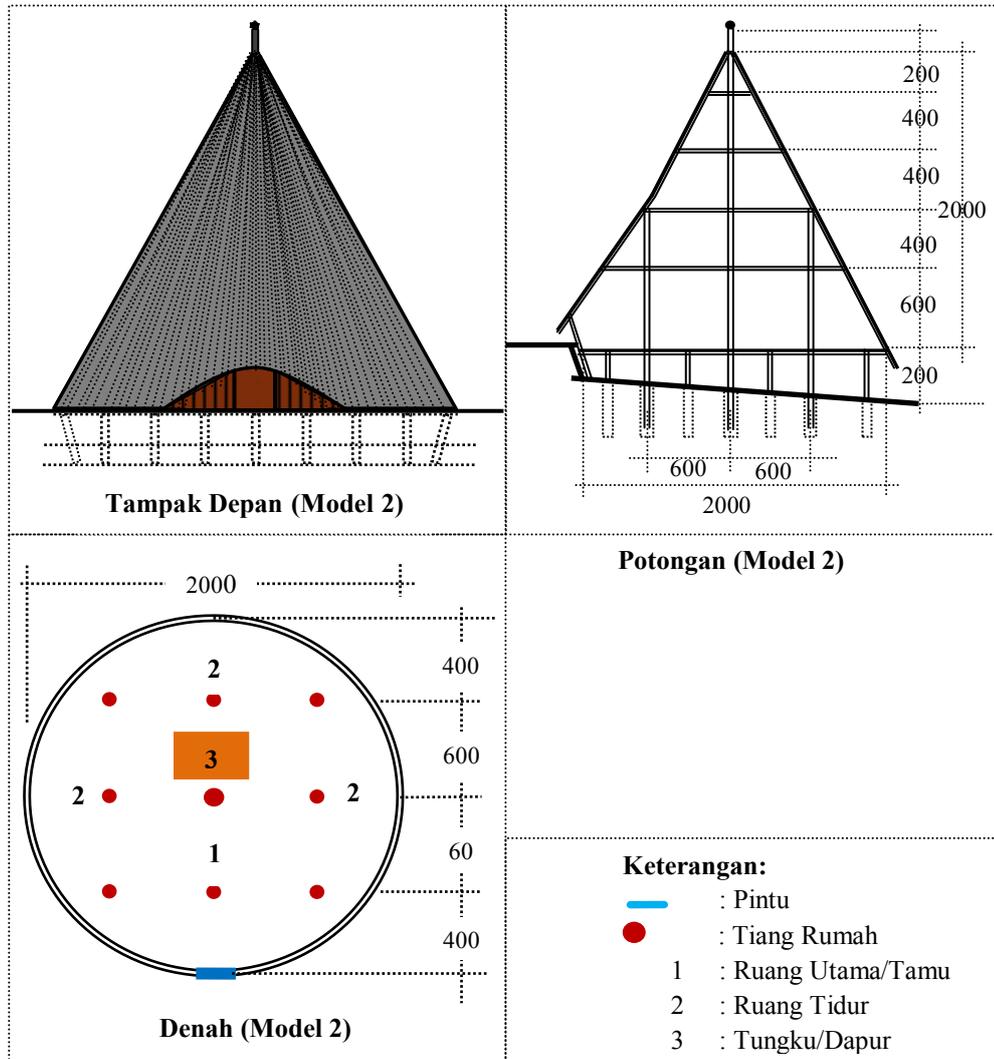
1: Ruang Tamu 2: Ruang Tidur 3: Ruang Keluarga

No	Elemen	Orientasi	Panjang (m)	Lebar/Tinggi (m)	Material
1	Lantai (f)	-	11.0	11.0	Papan
2	Atap (r)	-	13.0	6.0	Ijuk
3	Dinding (w)	360°	5.3	2.7	Papan
4	Dinding (w)	180°	6.8	2.7	Papan
5	Dinding (w)	90°	5.3	2.7	Papan
6	Dinding (w)	270°	5.3	2.7	Papan

No	typ/cod	prent	orient	length	W/H	U	AU	sgf	Rso	abs	Y	decr	tlag	asg	AY	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18
1	f	10	0	-1	11.0	11.0	3.19	386.0	-	-	-	3.21	1.00	0.3	-	388.4
2	r	79	0	-1	13.0	6.0	2.21	172.4	-	0.02	0.30	2.24	1.00	0.2	-	174.7
3	w	20	0	360	5.3	2.7	2.76	17.9	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.0
4	w	20	0	180	6.8	2.7	2.76	39.6	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	60.9
5	w	20	0	90	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5
6	w	20	0	270	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5

Sumber: Analisis Simulasi ARCHIPAK

Gambar 4.33 Model Simulasi 1 (a)

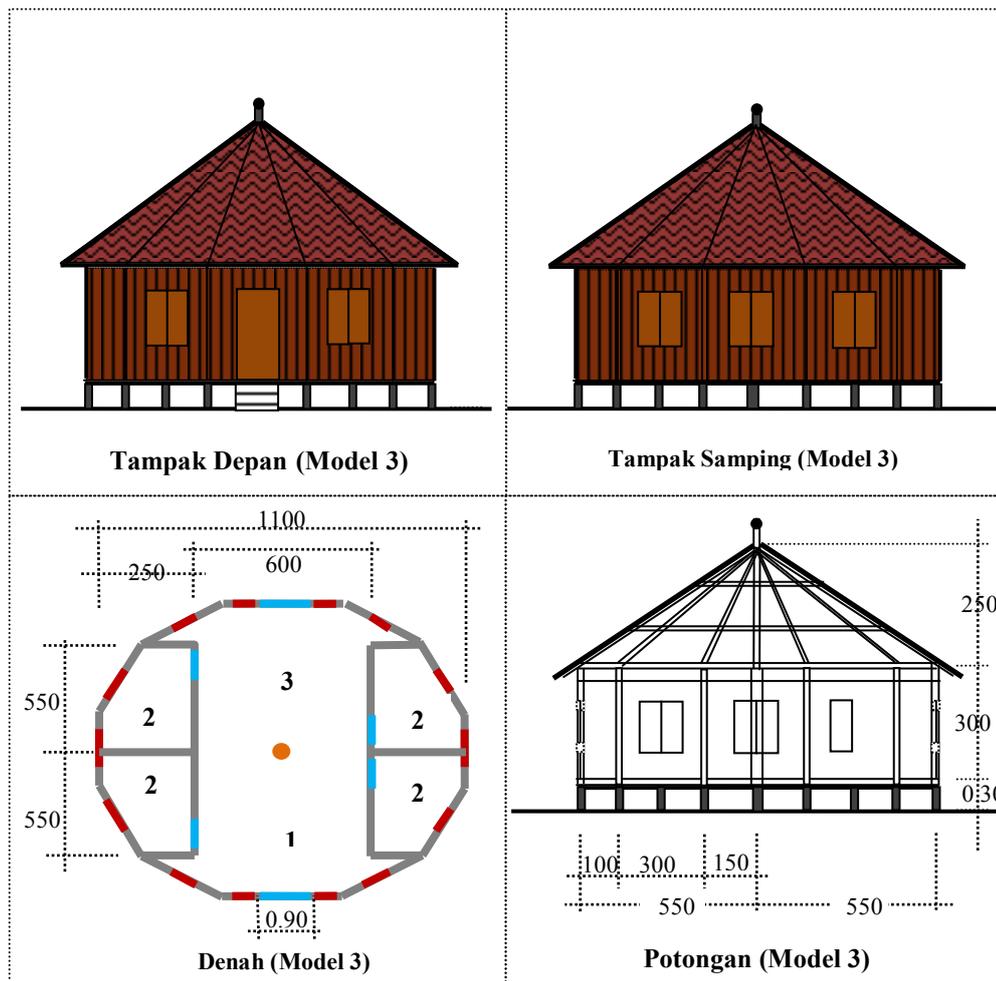


No	Elemen	Orientasi	Panjang (m)	Lebar/Tinggi (m)	Material
1	Lantai (f)	-	20.0	20.0	Papan
2	Atap (r)	-	22.0	22.0	Ijuk
3	Dinding (w)	360°	8.0	2.5	Papan
4	Pintu	360°	1.60	1.06	Papan

No	typ/cod	prent	orient	length	W/H	U	AU	sgf	Rso	abs	Y	decr	tlag	asg	AY	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18
1	f	10	0	-1	20.0	20.0	3.19	1276.	-	-	-	3.21	1.00	0.3	-	1284.
2	r	79	0	-1	22.0	22.0	2.21	1069.	-	0.02	0.30	2.24	1.00	0.2	-	1084.
3	w	20	0	360	8.0	2.5	2.76	55.2	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	67.4

Sumber: Analisis Simulasi ARCHIPAK

Gambar 4.33 Model Simulasi 2 (b)



No	Elemen	Orientasi	Panjang (m)	Lebar/Tinggi (m)	Material
1	Lantai	-	11.0	11.0	Papan
2	Atap	-	12.0	2.5	Seng
3	Dinding	360°	5.3	2.7	Papan
4	Dinding	180°	6.8	2.7	Papan
5	Dinding	90°	5.3	2.7	Papan
6	Dinding	270°	5.3	2.7	Papan

No	typ/cod	prent	orient	length	W/H	U	AU	sgf	Rso	abs	Y	decr	tlag	asg	AY	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18
1	f	10	0	-1	11.0	11.0	3.19	386.0	-	-	-	3.21	1.00	0.3	-	388.4
2	r	20	0	-1	12.0	2.5	5.64	169.2	-	0.04	0.40	5.55	1.00	0.0	-	166.5
3	w	20	0	360	5.3	2.7	2.76	29.2	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.0
4	w	20	0	180	6.8	2.7	2.76	45.2	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	60.9
5	w	20	0	90	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5
6	w	20	0	270	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5

Sumber: Analisis Simulasi ARCHIPAK

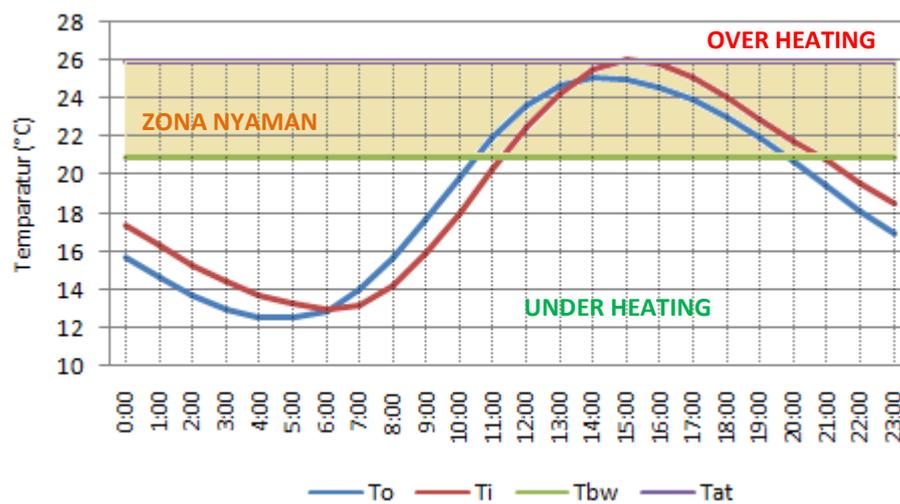
Gambar 4.33 Model Simulasi 3 (c)

4.3.4 Kondisi Termal Model Simulasi

a. Kondisi Termal Model Simulasi pada Bulan Dingin

- Model 1 (Rumah Niang di Ruteng Pu'u)

Hasil simulasi, rata-rata temperatur luar bangunan (T_o) adalah $18,8^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata temperatur dalam bangunan (T_i) $19,2^{\circ}\text{C}$ dengan selisih perbedaan $0,4\text{K}$. Dari gambar 4.34 menunjukkan kondisi di dalam rumah Model 1 mengalami *underheating* selama 15 jam yang terjadi pada malam hari hingga pagi hari, dimulai pukul 21:00–11:00 dengan jumlah *heating K-hours* $69,6\text{K}$.



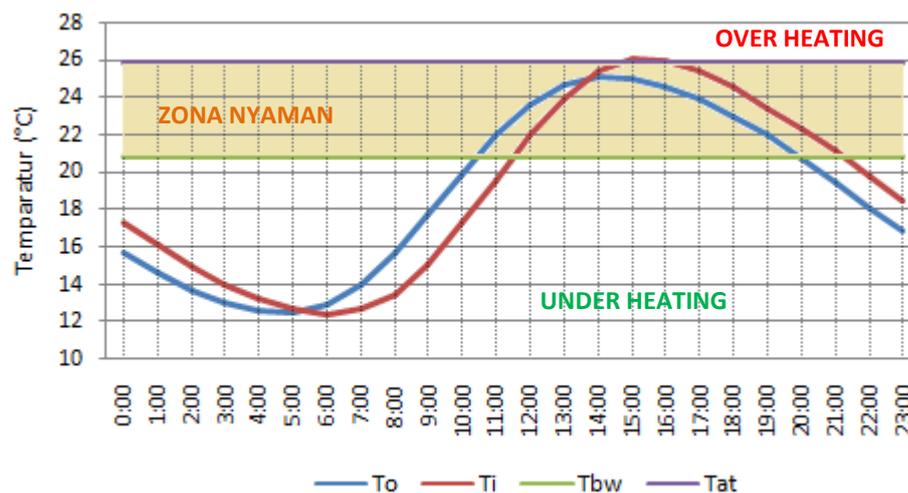
Gambar 4.34 Kondisi T_o dan T_i Hasil Simulasi Model 1 di Bulan Terdingin

Kondisi *overheating* ($0,1\text{K}$) terjadi pada pukul 15:00 dan kondisi nyaman pada pukul 12:00–14:00 dan pukul 16:00–20:00, dengan durasi selama 8 jam. Perbedaan diurnal temperatur minimum T_i dengan ambang batas bawah temperatur nyaman berkisar antara $0,1\text{K} - 7,9\text{K}$. Hasil simulasi tidak berbeda jauh dengan hasil pengukuran lapangan, dimana kondisi *underheating* hasil simulasi lebih lama 2 jam dari hasil pengukuran lapangan. Namun kondisi nyaman hasil pengukuran lapangan, lebih lama 3 jam dari hasil simulasi dan hasil pengukuran lapangan tidak mengalami *overheating*.

- Model 2 (Rumah Niang di Todo)

Rata-rata temperatur dalam bangunan (T_i) $19,1^{\circ}\text{C}$ dengan perbedaan diurnal antara T_o dan T_i $0,3\text{K}$. Kondisi termal di dalam rumah Model 2 mengalami

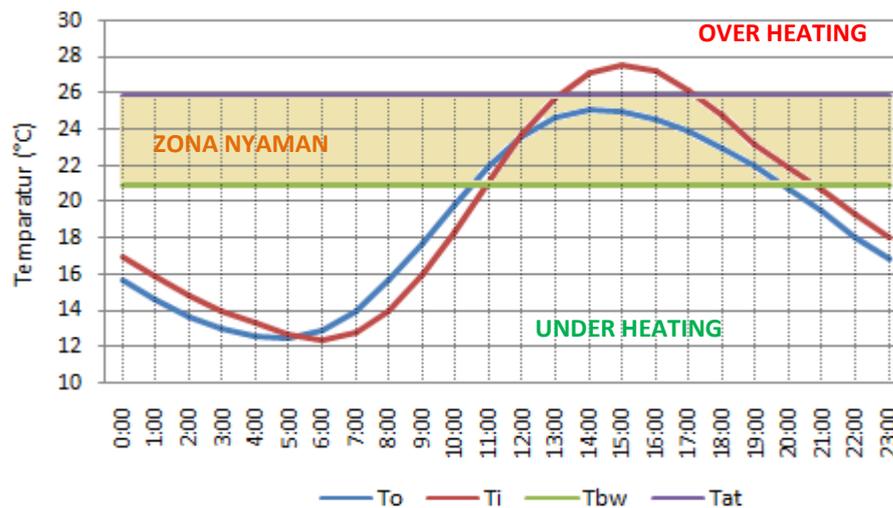
underheating pada pukul 22:00–11:00 dengan jumlah sebesar 75,4K, lebih lama satu jam dari rumah Model 1 dengan durasi yang sama (15 jam). Kondisi nyaman pada pukul 12:00–14:00 dan pukul 17:00–21:00, dengan durasi selama 8 jam. Lama durasi nyaman tidak berbeda dengan rumah Model 1, namun pada simulasi model 2 terjadi pergeseran waktu karena adanya kondisi *overheating* (0,3K) pada pukul 15:00-16:00.



Gambar 4.35 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 2 di Bulan Terdingin

- Model 3 (Rumah Niang di Kumba)

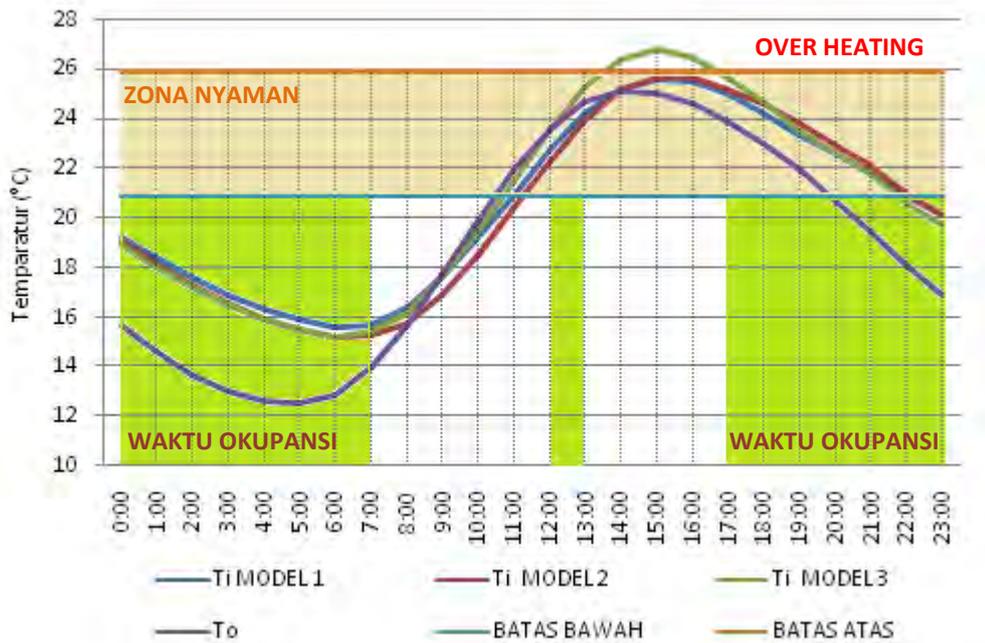
Rata-rata temperatur dalam bangunan (Ti) 19,5°C dengan perbedaan diurnal antara To dan Ti 0,7K. Gambar 4.40 menunjukkan kondisi di dalam rumah Model 3 mengalami *underheating* selama 14 jam, lebih pendek satu jam dari hasil simulasi model 1 dan 2. Kondisi *underheating* terjadi pada pukul 21:00-10:00 dengan jumlah sebesar 73,1K dan kondisi *overheating* terjadi pada pukul 14:00 hingga pukul 17:00, lama durasi 4 jam dengan nilai sebesar 4,5K. Kondisi nyaman terjadi pada pukul 11:00 hingga pukul 13:00 dan pukul 18:00–20:00 dengan durasi 6 jam, lebih pendek 2 jam dari hasil simulasi model 1 dan 2.



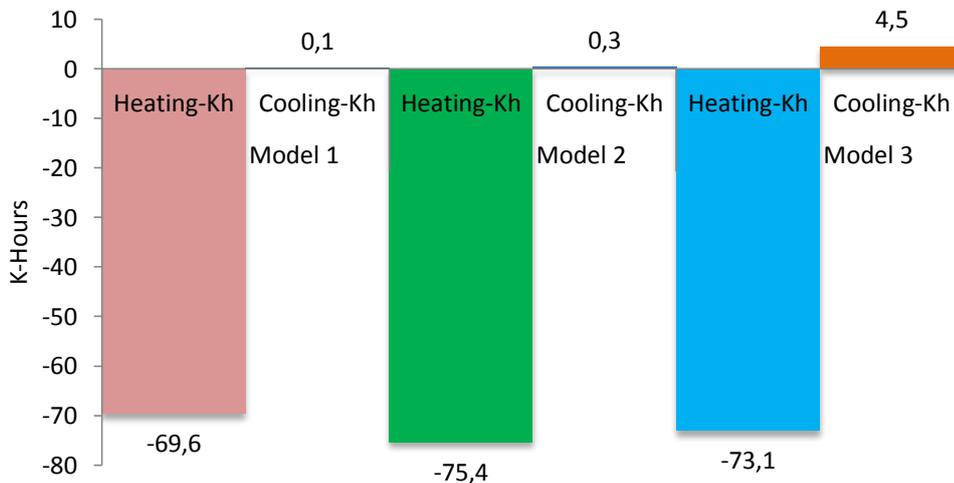
Gambar 4.36 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 3 di Bulan Terdingin

Dari hasil simulasi pada ketiga model di bulan terdingin, dapat digambarkan bahwa kondisi temperatur luar (T_o) dan temperatur dalam bangunan (T_i) cenderung tidak berbeda jauh. Temperatur luar (T_o) cenderung menurun pada pukul 13:00 hingga pukul 06:00. Ketika T_o menurun kondisi temperatur dalam (T_i) berada diatas dan ketika temperatur cenderung mulai naik pada pukul 07:00 sampai pukul 13:00, temperatur luar (T_o) berada diatas T_i . Kondisi *underheating* pada simulasi model 3 lebih pendek dibandingkan model 1 dan 2 dengan durasi 14 jam.

Kondisi *overheating* pada umumnya terjadi pada pukul 14:00 hingga pukul 17:00. Durasi *overheating* terpanjang dialami oleh model 3 yaitu selama 4 jam. Terjadinya kondisi *overheating* dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari pada bulan Agustus (bulan terdingin) yang tinggi dengan rata-rata mencapai 2534 wh/m^2 , kecepatan angin rata-rata relatif yaitu $3,4 \text{ m/s}$, dengan kelembaban berkisar 77% dan curah hujan yang rendah yaitu 44 mm . Durasi *overheating* terpanjang dialami oleh model 3 (4 jam), hal ini dipengaruhi oleh bahan yang digunakan pada elemen atap adalah termasuk bahan penghantar panas (seng) dan memiliki *time lag* yang pendek sehingga akan lebih cepat menjadi panas jika terkena radiasi matahari.



Gambar 4.37 Kondisi To dan Ti Model 1, 2 dan 3 di Bulan Terdingin



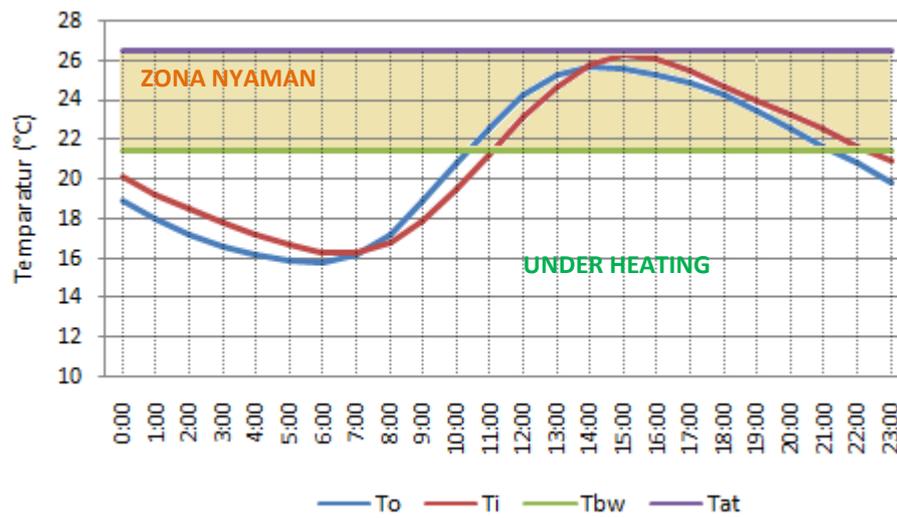
Gambar 4.38 Grafik Degree Hours Simulasi Model 1, 2, 3 di Bulan Terdingin

b. Kondisi Termal Model Simulasi pada Bulan Panas

▪ Model 1 (Rumah Niang di Ruteng Pu'u)

Hasil simulasi dari rumah Model 1 tidak terjadi adanya kondisi *overheating*. Gambar 4.39 menunjukkan kondisi *underheating* dimulai pada pukul 23:00–11:00 (13 jam) dengan nilai *K-Hours* sebesar 41K, lebih pendek 2 jam dari kondisi

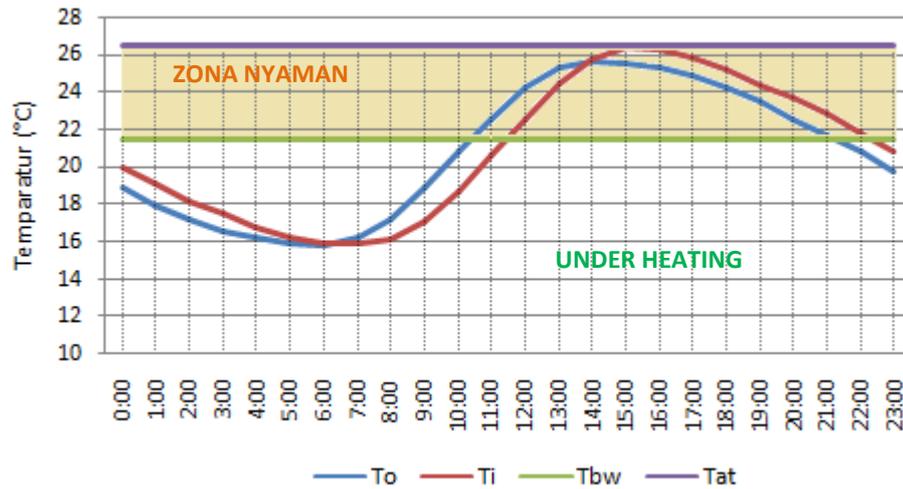
underheating di bulan terdingin dan kondisi nyaman terjadi pada pukul 12:00–22:00 dengan durasi selama 11 jam. Perbedaan diurnal antara temperatur minimum T_i dengan batas bawah temperatur nyaman berkisar antara 0,2K hingga 5,2K (16,3°C-21,3°C). T_o maksimum terjadi pada pukul 14:00 (25,7°C) dan T_i maksimum pada pukul 15:00 (26,3°C). Perbedaan diurnal antara temperatur maksimum T_i dengan batas atas temperatur nyaman adalah 0,2K.



Gambar 4.39 Kondisi T_o dan T_i Hasil Simulasi Model 1 di Bulan Terpanas

- Model 2 (Rumah Niang di Todo)

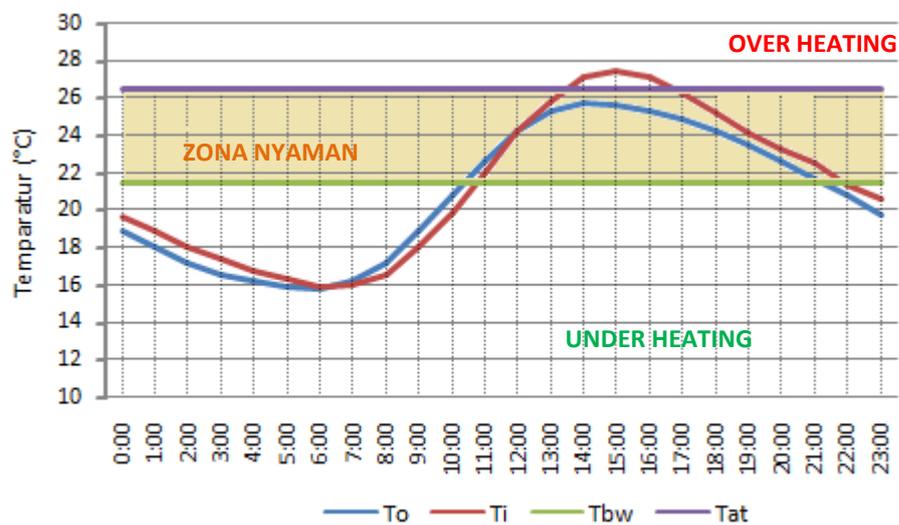
Rata-rata temperatur luar bangunan (T_o) adalah 20,8°C dan rata-rata temperatur dalam bangunan (T_i) 20,9°C dengan perbedaan diurnal 0,2K. Kondisi di dalam rumah Model 2 mengalami *underheating* selama 13 jam, terjadi pada pukul 23:00 hingga pukul 11:00 dengan nilai *K-Hours* sebesar 46,4K dan kondisi nyaman mulai terjadi pada pukul 12:00–22:00 dengan durasi selama 11 jam lebih panjang dibandingkan di bulan terdingin dan tanpa ada jeda waktu karena tidak mengalami kondisi *overheating* seperti yang terjadi pada simulasi di bulan terdingin.



Gambar 4.40 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 2 di Bulan Terpanas

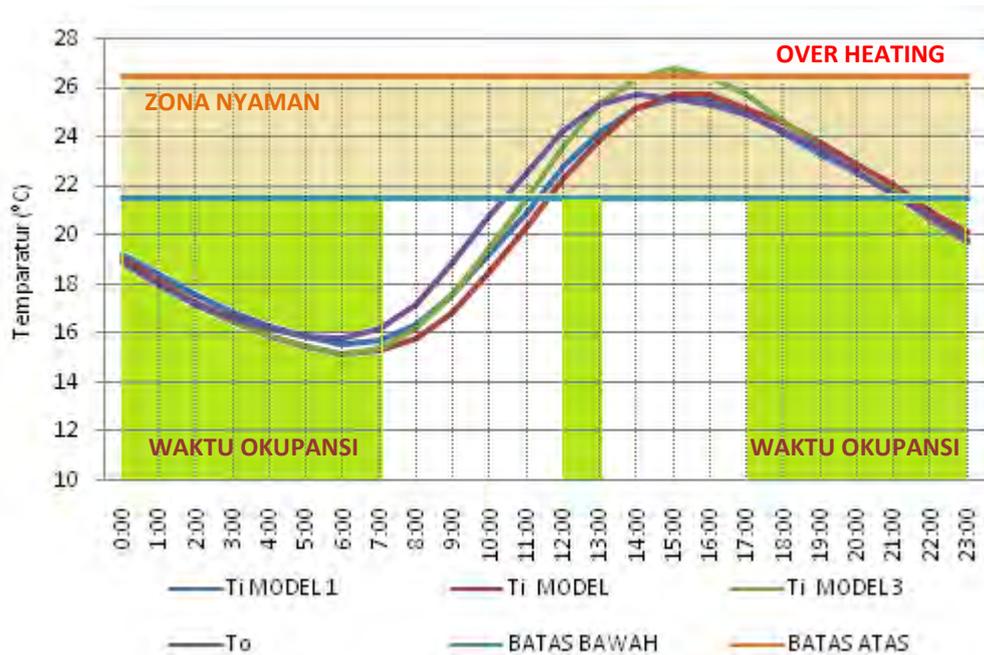
- Model 3 (Rumah Niang di Kumba)

Hasil simulasi dari rumah Model 3, Rata-rata temperatur dalam bangunan (Ti) 21,3°C dengan perbedaan diurnal antara To dan Ti 0,5K. Kondisi *underheating* terjadi pada pukul 22:00-10:00 (13 jam) dengan nilai *K-Hours* sebesar 43,9K dan kondisi *overheating* (22K) terjadi pada pukul 14:00 hingga pukul 16:00 dengan lama durasi 3 jam, lebih pendek dibandingkan di bulan terdingin. Kondisi nyaman terjadi pada pukul 11:00 hingga pukul 13:00 dan pukul 17:00–21:00 dengan durasi 8 jam, lebih panjang 3 jam dari hasil simulasi di bulan terdingin.

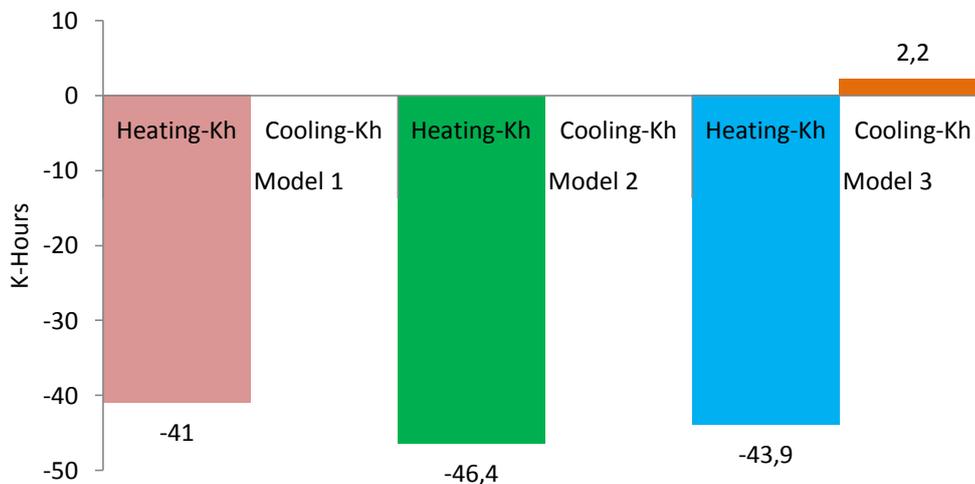


Gambar 4.41 Kondisi To dan Ti Hasil Simulasi Model 3 di Bulan Terpanas

Dari hasil simulasi pada ketiga model di bulan terpanas, dapat digambarkan bahwa kondisi temperatur luar (T_o) dan temperatur dalam bangunan (T_i) cenderung tidak berbeda jauh, dimana rata-rata temperatur luar bangunan (T_o) adalah $20,8^{\circ}\text{C}$. Rata-rata T_i model 1 adalah $21,1^{\circ}\text{C}$, model 2: $20,9^{\circ}\text{C}$ dan model 3: $21,3^{\circ}\text{C}$. Ketiga model simulasi tersebut sama-sama mengalami kondisi *underheating* selama 13 jam, kondisi ini berbeda dengan hasil simulasi di bulan terdingin dimana model 3 dengan durasi 14 jam lebih pendek dari model 1 dan 2 yaitu 15 jam.



Gambar 4.42 Kondisi T_o dan T_i Model 1, 2 dan 3 di Bulan Terpanas



Gambar 4.43 Grafik *Degree Hours* Simulasi Model 1, 2, 3 di Bulan Terpanas

Pada bulan terpanas, kondisi *overheating* hanya terjadi pada model 3 yaitu 3 jam dan lebih pendek dibandingkan di bulan terdingin. Hasil ini berbeda dengan hasil simulasi di bulan terdingin, dimana di bulan terdingin ketiga model tersebut sama-sama mengalami *overheating*.

Kondisi nyaman di bulan terpanas pada ketiga model simulasi pada umumnya terjadi pada pukul 11:00 hingga pukul 22:00 dan durasi terpanjang dimiliki oleh model simulasi 1 dan 2 (11 jam) sedangkan model 3 hanya delapan jam. Dari ketiga model simulasi tersebut, durasi nyaman di bulan terpanas lebih panjang dibandingkan di bulan terdingin. Hal ini sejalan dengan pendapat yang disampaikan oleh Santosa (1997); Samodra (2005) bahwa di daerah tropis dengan lokasi dataran tinggi, bangunan cenderung mengalami durasi kenyamanan lebih tinggi pada kondisi bulan terpanas daripada bulan terdingin.

c. Hasil Evaluasi *Degree Hours* dan Periode Nyaman

Dari hasil evaluasi *degree hours* dari ketiga model simulasi tersebut, dapat diketahui bahwa model 1, memiliki kinerja lebih baik dengan jumlah *heating K-hours* di bulan terdingin sebesar 69,6K dan *cooling K-hours* sebesar 0,1K sedangkan di bulan terpanas *heating K-hours* sebesar 41K. Pada model 1, posisi bukaannya cukup kritis terhadap posisi matahari (yang menerima langsung sinar matahari) sehingga dapat merespon *solar gain*. Radiasi matahari diperlukan saat cuaca dingin utamanya pada pagi hari dan peningkatan panas yang terjadi pada siang hari dapat dimanfaatkan untuk kenyamanan (Evans, 1980). Pemanasan ruang oleh *internal heat gain* yang besar dan rasio luas bukaan pada sisi yang menerima langsung sinar matahari (Timur-Barat) cukup besar sehingga mendapatkan beban panas yang lebih besar, hal ini berpotensi untuk menyimpan panas dan melepaskannya kembali.

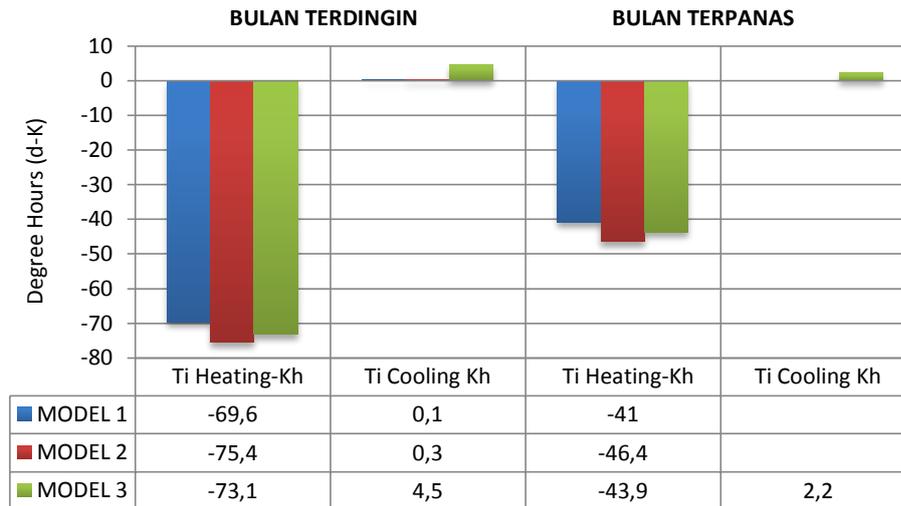
Urutan kedua adalah model 3, dengan jumlah *heating K-hours* di bulan terdingin sebesar 73,1K dan *cooling K-hours* sebesar 0,3K. Di bulan terpanas jumlah *heating K-hours* sebesar 43,9K dan *cooling K-hours* sebesar 2,2K. Penggunaan material atap (seng) yang mempunyai nilai koefisien serapan kalor yang cukup besar (92%) menghasilkan panas yang besar dan dapat diteruskan ke dalam ruangan. Faktor penggunaan material ini (seng) merupakan salah satu

penyumbang terjadinya kondisi *overheating*, sehingga pada model 3 durasi dari *overheating* lebih lama dibandingkan dengan model 1 dan 2.

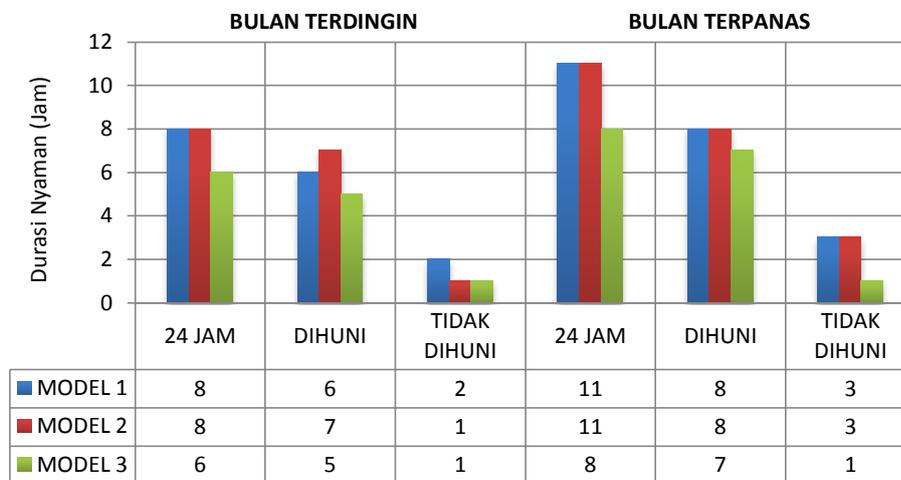
Dan terakhir adalah model 2, dimana jumlah *heating K-hours* di bulan terdingin sebesar 75,4K dan *cooling K-hours* sebesar 0,3K. Sedangkan pada bulan terpanas *heating K-hours* sebesar 46,4K. Model 2 kurang mampu mengatasi kondisi *underheating*, karena dipengaruhi oleh desain, sifat termal sistim konstruksi dan *internal heat gain*, dimana aktivitas penghuninya yang banyak dilakukan diluar bangunan sehingga kontribusinya terhadap panas dalam bangunan tidak besar, selain itu minimnya penggunaan peralatan listrik didalam bangunan.

Model 2 memiliki volume ruang yang lebih besar (*surface to volume ratio*) maka akan membutuhkan energi panas yang besar untuk menciptakan kondisi nyaman dalam bangunan serta berbentuk *single layer* (tidak adanya sekat ruang) sehingga tidak dapat membantu memperlambat panas dibandingkan kedua model lainnya. Rasio dari luas permukaan dan volume merupakan indikator yang penting dari percepatan pemanasan dan pendinginan bangunan (Evans, 1980) dan menurut Woods dan Antaryama (1995), keterbukaan atau tidak adanya penyekat ruang didalam hunian membantu pelepasan panas menjadi lebih mudah. Memakai konstruksi ringan dengan penutup atap dari ijuk serta dinding terbuat dari papan merupakan sistim konstruksi yang mudah menerima panas dan mudah melepas panas, sehingga mempunyai kecenderungan suhu didalam ruang (T_i) tidak jauh berbeda dengan suhu udara diluar ruang (T_o).

Untuk hasil evaluasi ketiga model (Niang Ruteng Pu'u, Niang Todo dan Niang Kumba) dari simulasi berdasarkan durasi nyaman pada bulan terdingin maupun bulan terpanas dapat diketahui bahwa model 2, lebih mampu dan memiliki kinerja lebih baik ketika bangunan aktif digunakan maupun dalam periode 24 jam. Durasi nyaman penghuni saat bangunan aktif digunakan di bulan terdingin adalah 7 jam dan bulan terpanas 8 jam. Sedangkan durasi nyaman dalam periode 24 jam di bulan terdingin adalah 8 jam dan bulan terpanas 11 jam.



Gambar 4.44 Grafik *Degree Hours* Hasil Simulasi di Bulan Dingin dan Panas



Gambar 4.45 Periode Nyaman pada Model Simulasi 1, 2 dan 3

Urutan berikutnya adalah model 1, dimana durasi nyaman penghuni saat bangunan aktif digunakan di bulan terdingin dan bulan terpanas adalah 6 jam dan 8 jam. Untuk durasi nyaman dalam periode 24 jam di bulan terdingin dan bulan terpanas sama dengan model 2 (8 jam dan 11 jam). Dan yang terakhir adalah model 3 (Niang Kumba), dengan durasi nyaman dalam periode 24 jam di bulan terdingin dan bulan terpanas adalah 6 jam dan 8 jam. Durasi nyaman saat bangunan aktif digunakan adalah 5 jam (bulan terdingin) dan 7 jam (bulan terpanas). Pada bulan terpanas, masing-masing model mengalami peningkatan

durasi nyaman (1-2 jam), sehingga durasi *underheating* mengalami pengurangan. Kondisi *underheating* terjadi justru pada saat tingkat okupansi tinggi, sedangkan pada siang hari saat bangunan berada dalam zona nyaman penghuni rumah tidak berada di dalam rumah.

4.3.5 Respon Termal Bangunan

Kualitas kinerja termal bangunan sebagai pelindung dari aktifitas manusia yang ada di dalam ruangan ditentukan oleh seberapa baiknya bangunan tersebut merespon kondisi lingkungan luar dan berperan sebagai penyaring (*filter*) dan penyangga (*buffer*) dalam terciptanya kondisi di dalam ruangan. Kinerja termal bangunan merupakan fungsi dari *thermophysical properties* dari material elemen desain bangunan dengan kondisi luar dan kondisi dalam bangunan.

Analisis respon termal bangunan dengan simulasi ARCHIPAK menggunakan menu *Harmon*, dengan pendekatan *Elemental Breakdown* sehingga didapatkan tingkat perolehan panas pada masing-masing elemen bangunan. Karakteristik material yang digunakan pada model simulasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Karakteristik Material Model Simulasi

No	Elemen	Material	u-value	admit	tlag	decr.f
Model 1 & 2						
1	Lantai	Papan	3.20	3.22	0.30	1.00
2	Dinding	Papan	2.76	3.37	1.80	0.93
3	Atap	Ijuk	0.93	-	0.20	1.00
Model 3						
1	Lantai	Papan	3.20	3.22	0.30	1.00
2	Dinding	Papan	2.76	3.37	1.80	0.93
3	Atap	Seng	5.64	5.56	0.00	1.00

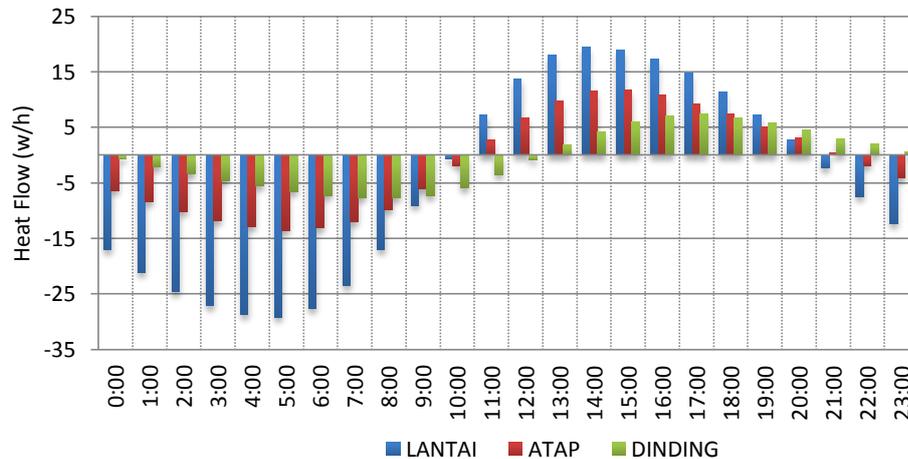
a. Respon Termal Bangunan pada Bulan Dingin

▪ Simulasi Model 1

Hasil dari simulasi model 1 menunjukkan elemen bangunan kecenderungan mengalami pelepasan panas lebih besar. Elemen lantai merupakan elemen bangunan yang paling besar dalam melepas panas (*heat loss*) dengan nilai Q:-246,9 w/h dan Qav: -48 w/h. Sedangkan elemen atap adalah elemen kedua yang juga paling besar dalam melepas panas dengan nilai Q:-161,6 w/h dan Qav: -14 w/h dan yang terkecil dalam pelepasan panas adalah elemen dinding. Dinding

dengan orientasi Selatan merupakan pelepas panas terbesar dengan nilai Q_{total} :- 45 w/h dibandingkan dinding pada orientasi lainnya. Dinding sisi Selatan merupakan sebagai orientasi utama terhadap orientasi lain (bagian depan rumah) dengan bukaan yang minimum, sehingga karakter dindingnya cenderung melepas panas karena tidak mendapatkan panas secara langsung dari matahari (*solar gain*).

Pemasokan panas yang terjadi melalui elemen bangunan mempengaruhi suhu di dalam ruangan. Pemasokan panas (*heat gain*) melalui elemen atap dan lantai terjadi pada siang hari mulai pukul 11:00 sampai pukul 21:00. Pemasokan panas terbesar pada elemen lantai terjadi pukul 14:00 dengan nilai Q :19,4 w/h (T_i : 25,5°C) dan elemen atap pada pukul 15:00 dengan nilai Q :11,7 w/h (T_i : 26°C). Pemasokan panas melalui elemen dinding mulai pada pukul 13:00 – 22:00 (11 jam) dengan nilai terbesar terjadi pada pukul 17:00 (T_i : 25,1°C). Pemasokan panas yang terjadi melalui elemen bangunan dapat memberikan kontribusi terjadinya *overheating* (pukul 15:00, dengan T_i : 26°C).



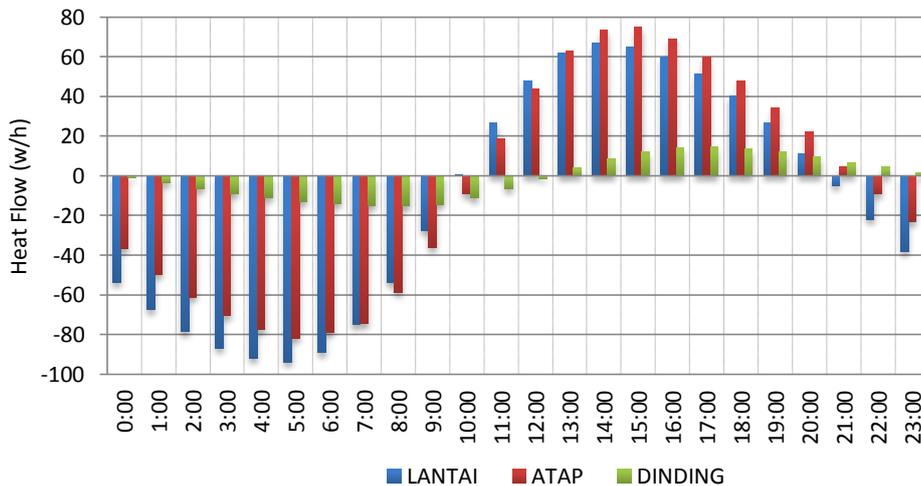
Gambar 4.46 *Elemental Breakdown* pada Model 1 di Bulan Dingin

- Simulasi Model 2

Dari gambar 4.55 menunjukkan hasil simulasi kinerja termal Model 2, dimana atap dan lantai merupakan elemen bangunan yang paling besar dalam melepas panas dengan nilai Q :-665,7 w/h dan Q :-781,7 w/h. Dinding adalah elemen yang terkecil dalam pelepasan panas dengan nilai Q :-30,1 w/h. Dinding hanya pada satu sisi saja yaitu sisi Utara (2,5 m x 8 m). Pelepasan panas (*heat loss*) melalui atap dan lantai terjadi pada pukul 21:00 sampai pukul 09:00. Pelepasan panas terbesar

terjadi pukul 05:00 dengan nilai Q :-93,7 w/h (lantai) dan Q :-81,8 w/h (atap). Ketika terjadi pelepasan panas pada pukul 05:00, kondisi T_o 12,5°C dan T_i 12,7°C dengan perbedaan 0,2K. Pelepasan panas melalui dinding mulai pada pukul 00:00 hingga pukul 12:00. Pelepasan panas terbesar terjadi pukul 08:00 dengan kondisi T_o 15,7°C dan T_i 13,5°C .

Pemasokan panas (*heat gain*) terbesar melalui elemen atap dengan nilai Q :511,6 w/h dan nilai tertinggi pada pukul 15:00 dengan nilai Q :74,8 w/h. Elemen lantai memiliki nilai pemasokan panas sebesar Q :458,1 w/h dan tertinggi pada pukul 14:00 dengan nilai Q :66,8 w/h. Sedangkan elemen dinding nilai *heat gain* sebesar Q :25,6 w/h. Pemasokan panas pada atap dan lantai terjadi mulai pukul 10:00 hingga pukul 20:00 dan pada dinding mulai pukul 13:00 hingga pukul 23:00. Pemasokan panas (*heat gain*) memberikan kontribusi terhadap kondisi temperatur dalam ruangan sehingga memberikan kondisi nyaman (pukul 12:00–14:00 dan pukul 17:00–21:00) maupun kondisi *overheating* (pukul 15:00–16:00).



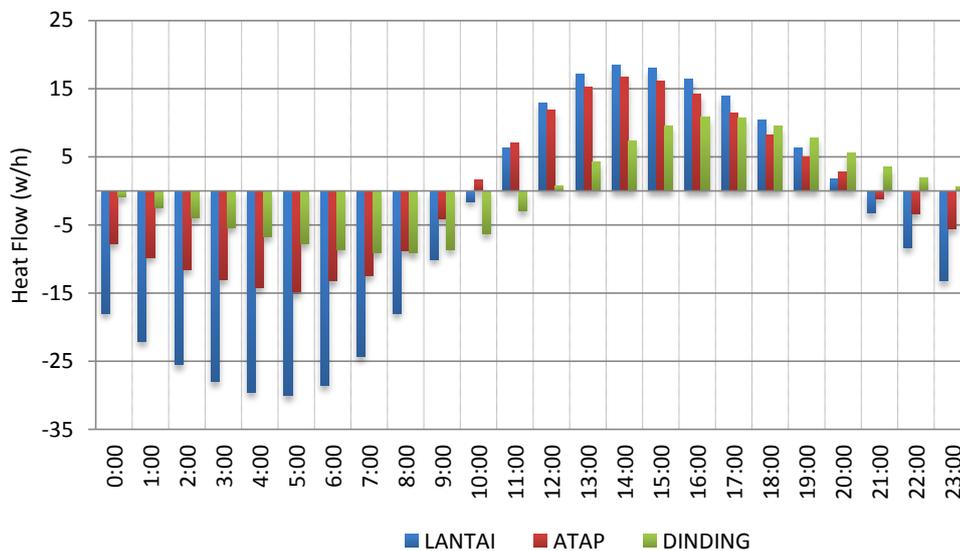
Gambar 4.47 *Elemental Breakdown* pada Model 2 di Bulan Dingin

- Simulasi Model 3

Gambar 4.56 hasil simulasi kinerja termal Model 3 menunjukkan elemen bangunan kecenderungan mengalami pelepasan panas (*heat loss*) lebih besar dibandingkan *heat gain*. Lantai merupakan elemen terbesar yang mengalami pelepasan panas dengan nilai Q :-261 w/h, kemudian disusul oleh elemen atap dengan nilai Q :-120,5 w/h, dan terakhir adalah elemen dinding dengan nilai Q :-

72,7 w/h. Pelepasan panas pada elemen lantai dan atap terjadi pada pukul 21:00 hingga pukul 11:00. Pelepasan panas terbesar terjadi pada pukul 05:00 dengan nilai Q : -30,1 w/h untuk lantai dan elemen atap dengan nilai Q : -14,9 w/h. Sedangkan untuk dinding, pelepasan panas terjadi pada pukul 00:00 hingga pukul 11:00.

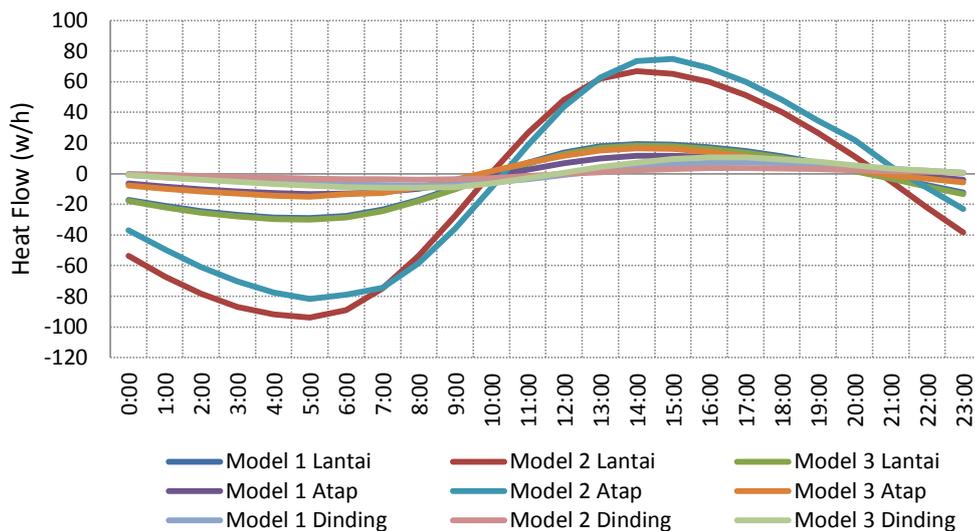
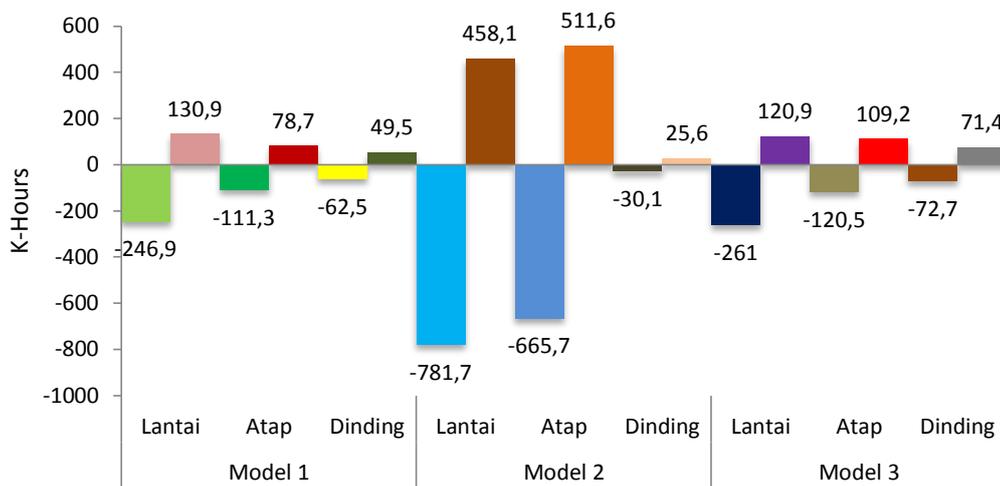
Pemasokan panas (*heat gain*) pada elemen lantai dan atap terjadi pada pukul 10:00 hingga pukul 20:00 (11 jam) dengan nilai Q : 120,9 w/h untuk lantai dan elemen atap dengan nilai Q : 109,2 w/h. Pemasokan panas terbesar terjadi pada pukul 14:00 dengan nilai Q : 18,4 w/h (lantai) dan Q : 16,6 w/h (atap). Ketika terjadi pemasokan panas (*heat gain*) terbesar pada pukul 14:00, kondisi ruangan mengalami *overheating* diman kondisi T_o 25,1°C dan T_i 27,1°C. Pemasokan panas pada elemen dinding terjadi pada pukul 12:00 hingga pukul 23:00 dengan nilai Q : 71,4 w/h.



Gambar 4.48 *Elemental Breakdown* pada Model 3 di Bulan Dingin

Hasil simulasi ketiga model di bulan terdingin, dapat digambarkan bahwa atap dan lantai merupakan elemen bangunan yang paling besar dalam pelepasan (*heat loss*) dan pemasokan panas (*heat gain*). Pelepasan dan pemasokan panas elemen atap dan lantai pada model 2 memberikan kontribusi yang lebih besar dibandingkan kedua model lainnya dengan lama durasi untuk *heat loss* selama 13 jam dan *heat gain* selama 11 jam. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan elemen

lantai dan atap pada model 2 yang cukup besar sehingga membutuhkan energi panas yang lebih maksimal untuk menciptakan kondisi nyaman dalam bangunan. Pelepasan dan pemasokan panas elemen dinding pada model 2 lebih kecil nilainya dibandingkan dengan model 1 dan 3, dengan lama durasi yang sama dengan elemen lantai dan atap.



Gambar 4.49 *Elemental Breakdown* pada Model 1, 2, 3 di Bulan Dingin

Pemasokan panas (*heat gain*) dan pelepasan panas (*heat loss*) pada elemen bangunan dari ketiga model tersebut memiliki jeda waktu yang berbeda. Terjadinya *heat gain* pada umumnya didahului oleh elemen atap (pukul 10:00), kemudian elemen lantai (11:00) dan terakhir elemen dinding (pukul 12:00) dan *heat loss* didahului oleh elemen lantai (21:00), elemen atap (22:00) dan disusul 2 jam kemudian oleh elemen dinding pada pukul 00:00.

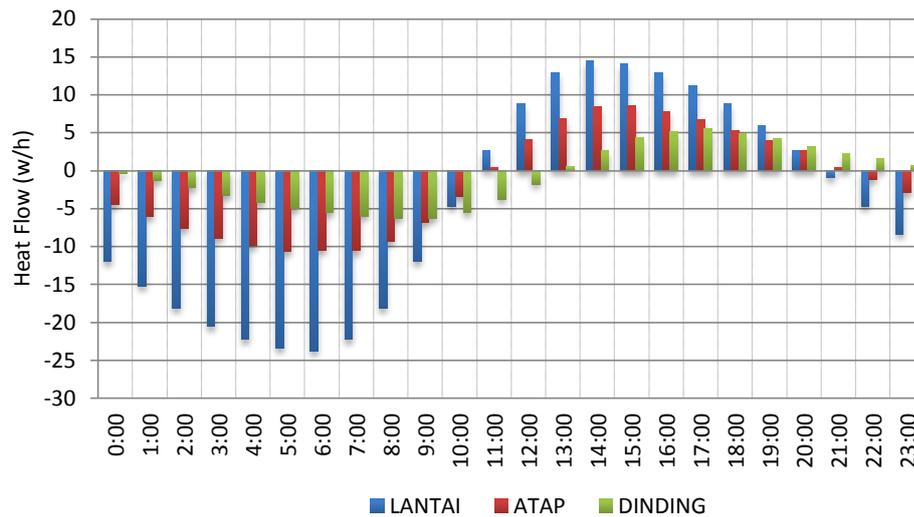
Pelepasan (*heat loss*) dan pemasokan panas (*heat gain*) memberikan kontribusi terhadap kondisi temperatur dalam ruangan sehingga terjadinya kondisi *underheating*, kondisi nyaman maupun kondisi *overheating*. Elemen bangunan pada model 1 dan 2, memiliki waktu 2 jam dalam memberikan kontribusi pemasokan panas untuk menghasilkan kondisi nyaman dalam bangunan. Sedangkan pada model 3 hanya membutuhkan waktu 1 jam, tetapi dengan kondisi tersebut pada model 3 memiliki kondisi *overheating* yang lebih lama (3 jam) dibandingkan model 1 dan 2 (1-2 jam).

b. Respon Termal Bangunan pada Bulan Panas

▪ Simulasi Model 1

Gambar 4.58 menunjukkan bahwa elemen bangunan mengalami *heat loss* dan *heat gain*. Ketiga elemen bangunan tersebut memiliki kecenderungan yang sama, dimana nilai *heat loss* lebih besar dibandingkan nilai dari *heat gain*. Nilai dari *heat loss* maupun *heat gain* terbesar adalah pada elemen lantai, kemudian elemen atap dan terakhir adalah elemen dinding. Hal ini juga tidak berbeda jauh dengan hasil simulasi yang terjadi di bulan dingin (Agustus).

Pemasokan panas (*heat gain*) pada elemen lantai dan atap terjadi pada pukul 11:00 hingga pukul 20:00 (lantai) dan pukul 21:00 (atap) dengan nilai $Q:94,1$ w/h untuk lantai dan elemen atap dengan nilai $Q:54,9$ w/h. *Heat gain* pada elemen dinding mengalami proses lebih lambat 2 jam dibandingkan kedua elemen lainnya, baik waktu mulainya (pukul 13:00) maupun waktu berakhirnya (pukul 23:00). Hal ini juga terjadi pada saat dimulai dan berakhirnya waktu *heat loss*.



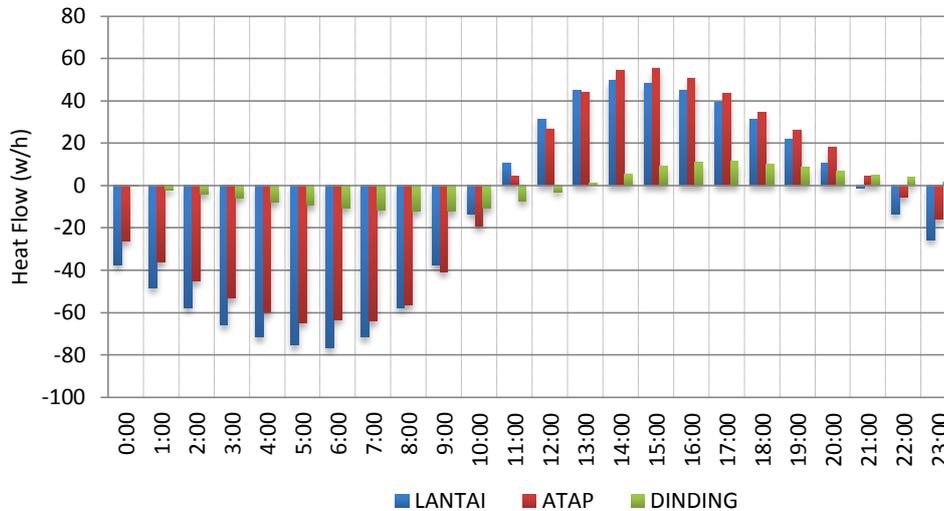
Gambar 4.50 *Elemental Breakdown* pada Model 1 di Bulan Panas

Nilai *heat loss* dari elemen lantai sebesar $Q:-206,9$ w/h, elemen atap $Q:-92,6$ w/h, dan elemen dinding $Q:-51,6$ w/h. Grafik proses terjadinya *heat gain* dan *heat loss* mengikuti pola dari kondisi yang terjadi diruang luar (T_o), dimana ketika T_o naik maka akan terjadi *heat gain* dan begitupun sebaliknya ketika terjadinya *heat loss*. Pada saat elemen lantai dan atap mengalami *heat gain* pada pukul 11:00, ruangan masih dalam kondisi *underheating* dan kedua elemen tersebut membutuhkan waktu 1 jam dalam memberikan kontribusinya untuk menghasilkan kondisi ruangan berada dalam zona nyaman (pukul 12:00, $T_i:23,2^{\circ}\text{C}$), kemudian disusul 2 jam kemudian oleh elemen dinding.

- Simulasi Model 2

Gambar 4.59 menunjukkan hasil simulasi dari proses perpindahan panas pada elemen bangunan di bulan terpanas, tidak berbeda jauh dengan hasil simulasi yang terjadi di bulan dingin (Agustus). Nilai *heat gain* yang dihasilkan oleh ketiga elemen bangunan tersebut adalah sebagai berikut: elemen lantai sebesar $Q:331$ w/h, elemen atap $Q:359,7$ w/h, elemen dinding $Q:18,1$ w/h. *Heat gain* pada elemen lantai dan atap mengalami proses lebih cepat 2 jam dibandingkan elemen dinding, baik waktu mulainya (pukul 11:00) maupun waktu berakhirnya (pukul 20:00). Elemen lantai dan atap membutuhkan waktu 1 jam dalam proses memberikan kontribusinya (zona nyaman, pukul 12:00, $T_i:22,6^{\circ}\text{C}$) dan elemen

dinding memberikan kontribusinya dalam memperlambat durasi nyaman (2 jam) ketika elemen lantai dan atap mengalami *heat loss* (zona *underheating*, pukul 23:00, $T_i:20,9^{\circ}\text{C}$).



Gambar 4.51 *Elemental Breakdown* pada Model 2 di Bulan Panas

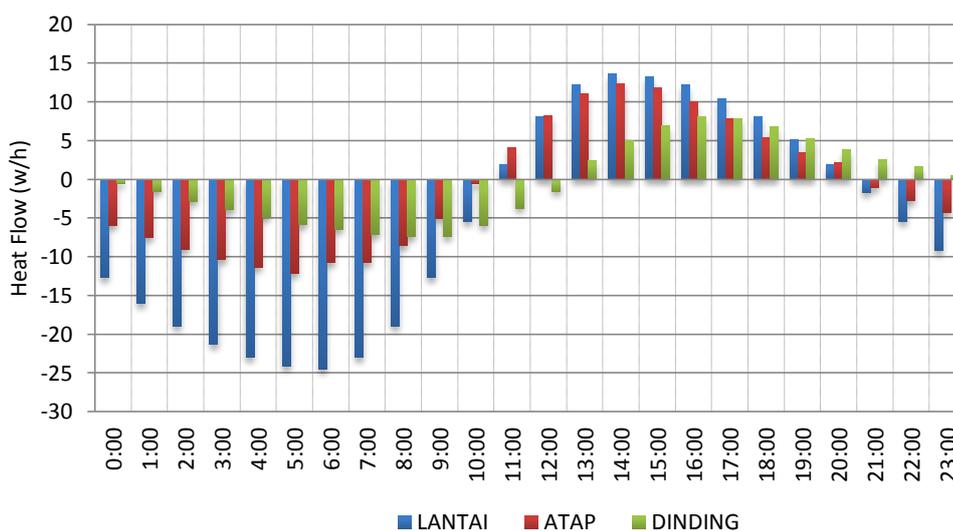
Nilai *heat loss* dari proses perpindahan panas elemen bangunan didominasi oleh lantai dengan nilai sebesar $Q:-655,3$ w/h, kemudian diikuti elemen atap dengan nilai $Q:-552,2$ w/h, dan yang terakhir elemen dinding dengan nilai $Q:-24,9$ w/h. *Heat loss* pada elemen lantai terjadi pada pukul 21:00, elemen atap pukul 22:00 dan 2 jam kemudian disusul oleh elemen dinding pukul 00:00 dan berakhir pada pukul 12:00, lebih lambat 2 jam dari waktu berakhirnya *heat loss* dari elemen lantai dan dinding pada pukul 11:00.

▪ Simulasi Model 3

Nilai *heat gain* yang dihasilkan oleh ketiga elemen bangunan pada model 3 di bulan panas adalah sebagai berikut: elemen lantai sebesar $Q:86,9$ w/h, elemen atap $Q:76,5$ w/h, elemen dinding $Q:50,8$ w/h. Nilai dari *heat gain* lebih kecil dibandingkan dari nilai *heat loss* yang dihasilkan oleh ketiga elemen tersebut. Nilai *heat loss*, pada elemen lantai sebesar $Q:-216,8$ w/h, elemen atap $Q:-99,7$ w/h, dan elemen dinding $Q:-58,7$ w/h.

Heat gain terbesar pada elemen lantai dan atap terjadi pada pukul 14:00 dengan nilai $Q:13,6$ w/h (lantai) dan atap dengan nilai $Q:12,4$ w/h. Dan untuk

dinding, *heat gain* terbesar pada dinding sisi Selatan dengan nilai $Q:3 \text{ w/h}$ yang terjadi pukul 16:00. Sedangkan *heat loss* terbesar pada elemen lantai terjadi pada pukul 06:00 dengan nilai $Q:-24,5 \text{ w/h}$, elemen atap pada pukul 05:00 dengan nilai $Q:-12,1 \text{ w/h}$, dan dinding (sisi Selatan) pada pukul 08:00-09:00 dengan nilai $Q:-2,7 \text{ w/h}$. Pada saat *heat gain* terbesar terjadi pada pukul 14:00 (lantai dan atap) dan pukul 16:00 (dinding), kondisi ruangan mengalami *overheating* selama 3 jam (pukul 14:00-16:00).



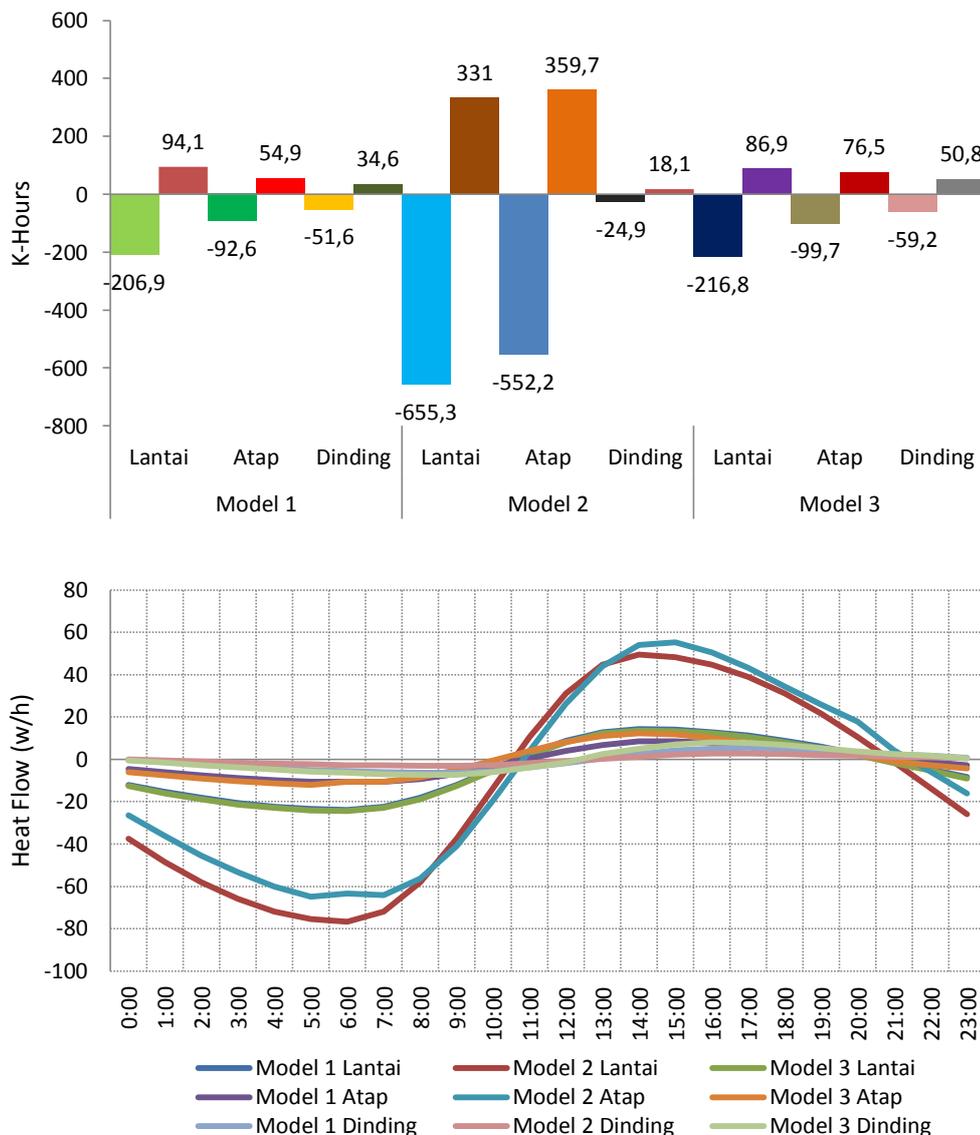
Gambar 4.52 *Elemental Breakdown* pada Model 3 di Bulan Panas

Hasil simulasi ketiga model di bulan panas tidak berbeda jauh dengan yang terjadi di bulan dingin. Nilai *heat gain* dan *heat loss* lebih besar terjadi di bulan dingin dibandingkan di bulan panas. *Heat gain* yang besar di bulan dingin dipengaruhi oleh intensitas matahari yang cukup tinggi, sehingga panas yang dihasilkan kemudian diserap oleh material dan ditransferkan ke dalam bangunan. Dan hal yang sama juga terjadi pada prosesnya *heat loss*, dimana pada bulan tersebut kondisi lingkungannya cenderung dingin sehingga panas yang dihasilkan mudah dilepaskan.

Elemen yang paling kritis adalah elemen lantai dan atap, karena kedua elemen tersebut yang paling luas diantara elemen lainnya. Nilainya U -value dari elemen lantai dan atap tergolong besar ($3.20 \text{ W/m}^2\text{K}$) dan memiliki *time lag* yang pendek (0.30 jam) sehingga panas yang mengalir melalui kedua elemen tersebut menjadi

besar sehingga mempunyai kecenderungan suhu didalam ruang (T_i) tidak jauh berbeda dengan suhu udara diluar (T_o).

Pengangkatan lantai juga mengakibatkan interaksi panas secara konveksi dan evaporasi antara lantai dengan udara dibawahnya sehingga kondisi udara dibawah lantai panggung mudah mengikuti kondisi lingkungan luar (Moore, 1993), pada malam hari saat udara dingin maka akan terjadi *heat loss* dan disaat siang hari udara panas maka terjadi *heat gain* melalui lantai.



Gambar 4.53 *Elemental Breakdown* pada Model 1, 2, 3 di Bulan Panas

4.3.6 Rangkuman Hasil Simulasi

Beberapa hal yang dapat dirangkum dari hasil simulasi adalah sebagai berikut:

1. Kinerja termal berdasarkan evaluasi durasi nyaman, model 2 lebih baik dibandingkan model 1 dan 3. Model 2 memiliki durasi nyaman paling lama saat bangunan aktif digunakan, yaitu 7 jam (bulan terdingin) dan bulan terpanas 8 jam. Sedangkan model 1 dan 3 durasi nyaman saat bangunan aktif digunakan pada bulan terdingin adalah 6 jam (model 1), 5 jam (model 3) dan dibulan terpanas 8 jam (model 1), 7 jam (model 3).
2. Kebutuhan pemanasan (H-Kh) dan pendinginan (C-Kh) model 1 lebih rendah yaitu, jumlah *heating K-hours* di bulan terdingin sebesar 69,6K dan *cooling K-hours* sebesar 0,1K. Di bulan terpanas *heating K-hours* sebesar 41K. Berikutnya adalah model 3, jumlah *heating K-hours* di bulan terdingin sebesar 73,1K dan *cooling K-hours* sebesar 0,3K dan di bulan terpanas jumlah *heating K-hours* sebesar 43,9K dan *cooling K-hours* sebesar 2,2K. Dan terakhir adalah model 2, jumlah *heating K-hours* di bulan terdingin sebesar 75,4K dan *cooling K-hours* sebesar 0,3K. Sedangkan pada bulan terpanas *heating K-hours* sebesar 46,4K.
3. Model 2 lebih baik dibandingkan model 1 dan 3 (berdasarkan evaluasi durasi nyaman). Akan tetapi berdasarkan evaluasi *degree hours* yaitu kebutuhan pemanasan (H-Kh) dan pendinginan (C-Kh), model 1 lebih rendah dibandingkan model 3 dan 2. Namun model simulasi (1,2,3) tersebut belum mampu memberikan kondisi ruang dalam yang nyaman bagi penghuninya selama 24 jam, karena kondisi ruang dalam cenderung mengalami *underheating* dalam periode yang cukup lama saat bangunan aktif digunakan yaitu selama 10 jam (model 2), 11 jam (model 1,3) dibulan terdingin dan bulan terpanas 9 jam (model 1,2), 10 jam (model 3).
4. Pelepasan (*heat loss*) dan pemasokan panas (*heat gain*) elemen atap dan lantai pada model 2 memberikan kontribusi yang lebih besar dibandingkan kedua model lainnya dengan lama durasi untuk *heat loss* selama 13 jam dan *heat gain* selama 11 jam. Pelepasan (*heat loss*) dan pemasokan panas (*heat gain*) elemen dinding pada model 2 lebih kecil nilainya dibandingkan dengan model 1 dan 3, dengan lama durasi yang sama dengan elemen lantai dan atap.

5. Nilai *heat flow* elemen lantai dari model 1 lebih kecil dibandingkan model 2 dan 3 dengan nilai sebesar Q_{total} : -116 w/h di bulan terdingin (Agustus) dan Q_{total} : -112,8 w/h di bulan terpanas (November). Model 3, Q_{total} : -140,1 w/h (bulan terdingin) dan Q_{total} : -129,9 w/h (bulan terpanas). Dan terakhir model 2, Q_{total} : -323,6 w/h (bulan terdingin) dan Q_{total} : -324,9 w/h (bulan terpanas).
6. Nilai *heat flow* elemen atap dari model 3 lebih kecil dibandingkan model 1 dan 2 dengan nilai sebesar Q_{total} : -11,3 w/h di bulan terdingin (Agustus) dan Q_{total} : -23,2 w/h di bulan terpanas (November). Urutan kedua adalah model 1, dengan nilai Q_{total} : -26,3 w/h (bulan terdingin) dan Q_{total} : -37,7 w/h (bulan terpanas). Urutan terakhir adalah model 2 dengan nilai Q_{total} : -154,1 w/h (bulan terdingin) dan Q_{total} : -192,5 w/h untuk bulan terpanas.
7. Nilai *heat flow* elemen dinding dari model 3 sebesar Q_{total} : -1,3 w/h di bulan terdingin (Agustus) dan Q_{total} : -7,9 w/h di bulan terpanas (November). Model 2 dengan nilai Q_{total} : -4,5 w/h (bulan terdingin) dan Q_{total} : -6,8 w/h untuk bulan terpanas. Dan model 1, dengan nilai Q_{total} : -13 w/h (bulan terdingin) dan Q_{total} : -17 w/h (bulan terpanas).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Rumah Niang merupakan salah satu dari sepuluh ragam Arsitektur Tradisional di Provinsi Nusa Tenggara Timur dan berada di dataran tinggi Kabupaten Manggarai (800 - 1500 dpl) yang tumbuh dari rakyat dengan segala macam tradisi serta memanfaatkan berbagai potensi-potensi lokal seperti material, teknologi dan pengetahuan yang ada. Kondisi iklim di dataran tinggi, memiliki lingkungan dengan temperatur yang rendah, kelembaban relatif tinggi dan intensitas radiasi matahari tinggi. Dengan kondisi lingkungan demikian, maka peran dari desain rumah Niang diharapkan dapat membentuk kondisi ruang dalam yang lebih nyaman dari lingkungannya.

Deskripsi lebih lanjut, yang dapat disimpulkan dari kinerja termal rumah Niang dengan menggunakan parameter dari durasi nyaman dan *degree hours* adalah sebagai berikut:

- Kondisi lingkungan dan kondisi ruang dalam dari rumah Niang mengindikasikan perbedaan temperatur udara T_o dan T_i berkisar antara $0,2K - 0,7K$. Kondisi temperatur luar (T_o) dan temperatur dalam bangunan (T_i) cenderung tidak berbeda jauh dan memiliki jeda waktu yang relatif singkat antara kondisi luar dan dalam bangunan ketika mengalami kondisi *underheating*.
- Kondisi rumah Niang mengalami *underheating*, dengan durasi terpanjang selama 18 jam, mulai pukul 14:00 hingga 17:00 dan pukul 21:00 hingga 10:00 dan durasi terpendek yaitu 13 jam, mulai pukul 23:00 hingga 11:00. Model 1 dan model 3, dengan karakter fisik yang memiliki dinding dan bukaan, mengalami kondisi *underheating* terpanjang dan terpendek selama 16 jam, 13 jam dan 18 jam, 16 jam secara berurutan. Model 2, dengan karakter fisik yang tertutup, tidak ada bukaan permanen, mengalami kondisi *underheating* terpanjang selama 16 jam dan terpendek selama 13 jam.

- Selama periode 24 jam, kinerja rumah Niang mampu menghasilkan kondisi nyaman dalam bangunan dengan durasi terpanjang selama 11 jam, mulai pukul 12:00 hingga pukul 22:00 dan durasi terpendek yaitu 6 jam. Sementara kondisi nyaman dalam bangunan saat bangunan aktif digunakan oleh penghuninya, dengan durasi terpanjang adalah 8 jam, dari pukul 12:00 hingga 13:00 dan pukul 17:00 hingga pukul 22:00 dan durasi terpendek yaitu 5 jam.
- Kebutuhan/beban pemanasan (H-Kh) yang dibutuhkan untuk mengatasi masalah *underheating*, dengan jumlah terbesar adalah 75,4K dan terkecil 41K. Model 1 dan model 3, dengan karakter fisik yang memiliki dinding dan bukaan, beban pemanasan (H-Kh) yang dibutuhkan sebesar 69,6K, 41K dan 73,1K, 43,9K secara berurutan. Model 2, dengan karakter fisik yang tertutup, tidak ada bukaan permanen, beban pemanasan (H-Kh) yang dibutuhkan sebesar 75,4K dan 46,4K.

Meskipun mengalami kondisi *underheating* yang cukup panjang yaitu selama 18 jam, masyarakat dan penghuni rumah Niang masih dapat merasakan kondisi nyaman. Kenyamanan ini didasari oleh bentuk dari adaptasi penghuni rumah Niang dalam merespon kondisi termal di dataran tinggi. Berkaitan dengan respon dari penghuni, hasil penelitian menunjukkan bahwa:

- Skala kesan termal yang didapat dari responden adalah dingin, sejuk, dan nyaman. Jumlah responden yang merasakan sensasi dingin sebanyak 15%, sejuk 40% dan nyaman sebanyak 45%. Rentang temperatur yang merasakan sensasi dingin 16,4°C – 20,7°C, kelembaban antara 66% – 83%. Sensasi sejuk 18,1°C – 22,8°C, kelembaban 73% – 80%, dan rentang temperatur yang merasakan sensasi nyaman 19,5°C – 25,8°C dengan kelembaban 63% – 79%.
- Pada rentang temperatur netral (kondisi nyaman), seluruh responden menyatakan dapat menerima kondisi termal tersebut. Sementara itu pada rentang temperatur sensasi dingin 16,4°C – 20,7°C, sekitar 25% responden tidak dapat menerima dan sisanya masih dapat menerima.
- Adaptasi yang dilakukan penghuni dalam merespon kondisi termal adalah dengan menggunakan pakaian yang memiliki nilai *clo* tinggi. Pada umumnya responden menggunakan pakaian yang berlapis-lapis seperti kemeja lengan

pendek/panjang, celana pendek/panjang dengan menambah sweater lengan panjang/jaket, sarung, penutup kepala dan leher dengan nilai *clo* tinggi (0,96 *clo* – 1,30 *clo*), saat malam hari ketika kondisi mengalami *underheating* (T_i 12°C – 20°C).

- Selain melalui pakaian (penyesuaian perilaku), penghuni melakukan adaptasi fisiologis (aklimatisasi) dengan melakukan aktifitas dengan bekerja ringan pada malam hari (menganyam tikar, mempersiapkan/membersihkan peralatan kerja), dengan bekerja dan melakukan aktifitas akan mempengaruhi panas yang timbul dari dalam tubuh, sehingga dapat menghasilkan kenaikan suhu tubuh dan menghangatkan tubuh.

Kualitas kinerja termal desain rumah Niang sebagai pelindung dari aktifitas manusia yang ada di dalam ruangan ditentukan oleh seberapa baiknya *thermophysical properties* dari material elemen desain bangunan tersebut dalam merespon kondisi lingkungan luar. Kinerja termal dari material elemen desain rumah Niang, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Elemen yang paling kritis dalam pelepasan (*heat loss*) dan pemasokan panas (*heat gain*) adalah elemen lantai dan atap. Nilai *heat flow* terbesar dan terkecil dari elemen lantai dan atap sebesar 324,9 w/h, 112,8 w/h dan 192,5 w/h, 11,3 w/h secara berurutan. Kedua elemen tersebut merupakan elemen yang paling luas permukaannya diantara elemen lainnya. Nilai *U-value* dari elemen lantai dan atap tergolong besar (3.20 W/m²K) dan memiliki *time lag* yang pendek (0.30 jam) sehingga panas yang mengalir melalui kedua elemen tersebut menjadi besar.
- Model 1 dan model 3, dengan karakter fisik yang memiliki dinding dan bukaan, nilai *heat flow* terbesar dan terkecil dari elemen lantai sebesar 116 w/h, 112,8 w/h, 140,1 w/h, 129,9 w/h secara berurutan dan elemen atap 37,7 w/h, 26,3 w/h, 23,2 w/h, 11,3 w/h secara berurutan. Model 2, dengan karakter fisik yang tertutup, tidak ada bukaan permanen, nilai *heat flow* terbesar dan terkecil dari elemen lantai dan atap sebesar 324,9 w/h, 323,6 w/h dan 192,5 w/h, 154,1 secara berurutan.

- Nilai *heat flow* terbesar elemen dinding dari model 1, model 2 dan model 3 sebesar 17 w/h, 6,8 w/h, 7,9 w/h secara berurutan dan nilai *heat flow* terkecil sebesar 13 w/h, 4,5 w/h, 1,3 w/h secara berurutan.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut, dengan melakukan eksperimen/optimasi (bentuk, elemen dan material) pada ketiga rumah Niang ini sehingga dapat diketahui model/varian mana yang lebih mampu merespon kondisi termal didataran tinggi tropis. Pengaruh volume dan proporsi ruang, sekaligus bukaan terhadap kinerja termal pada rumah Niang juga dapat diteliti lebih lanjut lagi.

Keterbatasan yang ada dalam penelitian ini, hanya melibatkan 20 responden saja sehingga hasil yang diperoleh kurang dapat digeneralisasi sehingga penelitian ini perlu dilanjutkan dengan melibatkan responden yang lebih besar dan lokasi penelitian yang berbeda untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang sensasi termal penghuni dalam merespon kondisi termal di dataran tinggi tropis.

Terkait metodologi penelitian, penggunaan simulasi dengan *software* yang lebih mutakhir, yang dapat memperhitungkan dengan lebih detail dari bentuk-bentuk bangunan dan dapat divisualisasikan dengan baik berupa gambar dan grafik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alerton, Catherine, 2008, *Kehidupan Wae Rebo, dalam Ekologi dan Budaya Flores Barat*, National Geographic Indonesia edisi Desember.
- Anggo, Martinus. 2010, *Wae Rebo Sebuah Kampung Tradisional: Pesan dari Wae Rebo, Kelahiran Kembali Arsitektur Nusantara*, Jakarta, Gramedia Pustaka Utama.
- ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE ISSN 1041-2336.
- Antar, Yori. 2011, *Pengalaman Membangun Waerebo*. Seminar Nasional Arsitektur Nusantara, Denpasar.
- Antaryama, I G.N., Noerwasito, V.T., Srilestari, R.N., Santoso, B.H., dan Samodra, FX. T.B.S. 2006, *Sistim Pendinginan Pasip (Passive Cooling) pada Bangunan di Daerah Tropis untuk Upaya Pembangunan yang Berkelanjutan*, Hibah Penelitian Tim Pascasarjana (HPTP) Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengaduan Kepada Masyarakat, Direktorat Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Biber, C. 2003, *Air Density as a Function of Altitude and Temperature*. Electronics Coolingzone News, September 2003. London.
- Damayanti, DP dan Suprijanto, Iwan. 2012, *Penguasaan Teknologi Struktur dan Konstruksi Bangunan Tradisional Manggarai sebagai Kunci Keberhasilan dalam Upaya Pelestariannya*. Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia Vol.1 No.1 Juli 2012
- Damayanti, DP dan Suprijanto, Iwan. 2009. *Mbaru Niang Wowang Bangunan Manggarai Yang Makin Terpinggirkan*. Riset, Majalah Litbang Kementerian Pekerjaan Umum, Vol. VII, no. 1 (Hal. 24)
- de Dear, R., Brager, G., dan Cooper, D. 1997. *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference : Final Report on RP-884*. Sydney : Macquarie Research Ltd.
- de Dear, R.J. and Auliciems, A. 1985, *Validation of The Predicted Mean Vote Model of Thermal Comfort in Six Australian Field Studies*, ASHARE transaction.
- Egan, M. David. 1995, *Concepts in Thermal Comfort*, New Jersey: Prentice Hal Unc.

- Erb, Maribeth. 2008, *Darah, Keringat dan Air Mata Manggarai*, National Geographic Indonesia Edisi Desember.
- Evans, Martin. 1980, *Housing Climate and Comfort*, London: The Architectural Press.
- Fanger, P.O. 1970, *Thermal Comfort: Analysis And Applications In Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York.
- Fitri, Isnen. 2006, *Kopendium Sejarah Arsitektur Indonesia*.
- Fitriaty, Puteri. 2011, *Aspek Thermal Rumah Tradisional Tambi*, Surabaya: Tesis S2 ITS.
- Francesca, Stazi, Ambra Vegliò, Costanzo Di Perna, Placido Munafò. 2013, *Experimental comparison between 3 different traditional wall constructions and dynamic simulations to identify optimal thermal insulation strategies*, Journal Energy and Buildings 60 (2013) 429–441.
- Frans. 2010, *Notulensi Pertemuan Gerakan Rumah Asuh: Pesan dari Wae Rebo, Kelahiran Kembali Arsitektur Nusantara*, Jakarta, Gramedia Pustaka Utama.
- Frick, Heinz & Suskiyatno, Bambang. 2007, *Dasar-dasar Arsitektur Ekologis: Sari Eko-Arsitektur 1*, Penerbit Kanisius & ITB.
- Givoni, Baruch. 1998, *Climate Considerations In Building and Urban Design*, New York: Van Nostrand Reinhold.
- Groat, Linda, and David Wang. 2002, *Architectural Research Methods*, Canada: Jhon Wiley & Sons.
- Hardiman, Gagoek. 2008, *The Wisdom Of Traditional Architecture In Indonesia To Anticipate The Problem Of The Thermal Comfort Inside The Building*, makalah SENVAR di ITB Bandung.
- Herniwati, Andi. 2008, *Penghematan Energi Pada Arsitektur Tradisional Suku Kaili (Rumah Panggung Souraja)*, Jurnal SMARTek, Vol. 6, No.1.
- Humphreys, M.A (1976), *Comfortable Indoor Temperatures Related to Outdoor Air Temperature*, Department of Environmental Building Research Establisher, UK.
- Huyen, van Nguyen. 1983, *Habitation sur pilotis dans l'Asie du Sud-Est*, Librarie Orientaliste Paul Geuthner, Paris.
- Juhana, 2001, *Arsitektur dalam Kehidupan Masyarakat*, Semarang.

- Karyono, Tri Harso. 2010, *Green Architecture: Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Karyono, Tri Harso. 2000, Suhu Netral dan Rentang Suhu Nyaman Manusia Indonesia: Suatu Penelitian pada Bangunan Kantor di Jakarta, *Proceedings of International Seminar on Sustainable Environmental Architecture*, Dept. of Architecture, ITS, Surabaya.
- Karyono, Tri Harso. 2001, *Penelitian Kenyamanan Termis Di Jakarta Sebagai Acuan Suhu Nyaman Manusia Indonesia*, Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur Vo.29 No.1
- Koenigsberger, O.H., et al. 1975, *Manual Of Tropical Housing and Building Part 1: Climatic Design*, London: Longman.
- Lakitan, Benyamin. 2002, *Dasar-Dasar Klimatologi*. Cetakan Ke-2, Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Lippsmeier, Georg. 1980, *Bangunan Tropis*, edisi ke-2, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Mangunwijaya, Y.B. 1995, *Wastu Citra*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Moeliono, Moira dan Minnigh, Pam. 2008, *Manggarai: Antara adat, tradisi dan modernisasi*, National Geographic Indonesia Edisi Desember.
- Moore, Fuller. 1993, *Heating, Cooling, Lighting*, McGraw-Hill, Inc.
- Nicola, Cardinale, Gianluca Rospi, Pietro Stefanizzi. 2012, *Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello*, Journal Energy and Buildings 59 (2013) 590-598
- Nugroho, Agung Murti. 2012, *A Thermal Assessment of the Traditional House In Flores, Indonesia*, Journal of Basic and Applied Scientific Research.
- Oki , M. dan Shiina, H., (2003). Preliminary Study on an Estimation Method for Annual Solar Irradiance at Various Geographical Altitudes. *The 8th International IBPSA Conference, Eindhoven-Netherlands*, August 11-14.
- Papanek, Victor. 1995, *The Green Imperative, Ecology and Ethics in Design And Architecture*, Thames & Hudson.
- Paul, Oliver. 1997, *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the world*, USA/ Melbourne, Australia, Cambridge University Press.

- Prasetyo L.Budi, Y.E. Linda, I.Yayan, Ernawati S, Heri V. 2007, *Pemanfaatan Ruang di Bawah Rumah Panggung untuk Kesehatan dan Konservasi*, Newsletter, Edisi I No.1.
- Prianto, E. 2012, *Strategi Desain Fasad Rumah Tinggal Hemat Energi*, Riptek Vol. 6, No.I, Hal.: 55 - 65
- Prianto, E. 2007, *Rumah Tropis Hemat Energi Bentuk Kepedulian Global Warming*, Riptek Vol.I No.1 Hal.1-10.
- Priyaa Shanthi, Sundarraja, Radhakrishnan, Vijayalakshmi. 2011, *Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India – a qualitative and quantitative analysis*, Journal Energy and Buildings 49 (2012) 50–61.
- Rapoport, Amos. 1969, *House Form and Culture*, Prentice Hall, London.
- Rijal, Yoshida, Umemiya. 2010, *Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses*, Journal Energy and Buildings 45 (2010) 2743e2753
- Ryua, Youngryel, Seogcheol Kim, Dowon Lee 2008, *The influence of wind flows on thermal comfort in the Daechung of a traditional Korean house*, Building and Environment 44 (2009) 18–26.
- Samodra, FX.Teddy Badai. 2009, *Spesifikasi Kinerja Termal Sistem Konstruksi Kulit Rumah Tinggal Tropis dalam Variasi Altitude*, Seminar Nasional Pascasarjana IX – ITS, Surabaya.
- Samodra, FX.Teddy Badai. 2005, *Optimasi Kinerja Termal Rumah Tinggal Pedesaan*, Surabaya: Tesis S2 ITS.
- Santamouris, M and Asimakopoulos, D. 1996, *Passive Cooling Of Building*, James & James, London.
- Santosa, Mas. 1993, *Sistem Informasi Aspek Panas dalam Rancangan Arsitektur*, Surabaya: Lembaga Penelitian ITS.
- Santosa, Mas. 1995, *Environmentally Responsible Architecture; The Intelligent of Traditional Buildings In Hot Humid of Indonesia*. The First International Symposium on Asia Pacific Architecture, The East-West Encounter, 22-25 March. Honolulu: The University of Hawaii at Manoa.
- Santosa, Mas. 1997, *Arsitektur Tradisional Tropis Lembab: Sebuah Referensi untuk Pengembangan Arsitektur di Indonesia*, Kumpulan Karya Ilmiah, Jurusan Arsitektur ITS, Surabaya.

- Santosa, Mas. 2001, *Harmoni di Lingkungan Tropis Lembab: Keberhasilan Bangunan Kolonial*, Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 29, No. 1, 34 – 42.
- Saud. Mohammad Ibnu, Naimatul Aufo. 2012, *Tanggapan Terhadap Iklim Sebagai Perwujudan Nilai Vernakular Pada Rumah Bubungan Tinggi*, Lanting Journal of Architecture, Volume 1, Nomer 2, Agustus, Halaman 106-116.
- Singh, Manoj Kumar, Sadhan Mahapatra, S.K. Atreya . 2009, *Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India*, Journal Energy and Buildings 45, 320–329.
- Soeroto, Myrtha. 2007, *Dari Arsitektur Tradisional Menuju Arsitektur Indonesia*, Myrtle.
- Sukawi. 2009, *Aplikasi Eko Arsitektur Pada Rumah Panggung Dalam Mengantisipasi Kondisi Termal Lingkungan; Tinjauan Konstruksi Dan Bahan Bangunan*, Lingkungan Tropis, Edisi Khusus.
- Sukawi, Sulfikri. 2010, *Adaptasi Arsitektur Sasak Terhadap Kondisi Iklim Lingkungan Tropis, Studi Kasus : Desa Adat Sade Lombok*, Berkala Teknik Vo.1 No 6 November.
- Sukawi. 2010, *Kaitan Desain Selubung Bangunan Terhadap Pemakaian Energi dalam Bangunan: Studi Kasus Perumahan Graha Padma Semarang*, Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Sumalyo, Yulianto. 2001. *Arsitektur Tradisional/Primitif*, diktat mata kuliah Perkembangan Arsitektur 1. Laboratorium Sejarah dan Perkembangan Arsitektur Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Suskowiyono, Gaguk. 2004, *Sistim Termal Rumah Tinggal Masyarakat Tengger Ngadas*, Surabaya: Tesis S2 ITS.
- Suwantara, I Ketut, Rini Nugrahaeni, Desak Putu Damayanti, dan Iwan Suprijanto. 2011, *Kinerja Termal Rumah Tradisional Uma Bot Pada Musim Hujan Dan Kemarau*, Prosiding PPI Standardisasi, Yogyakarta.
- Szokolay, S.V. 1980, *Environmental Scince Handbook For Architecs And Builders*, The Construction Press, Lancaster.
- Tjahjono, Gunawan, ed.,1998, *Indonesian Heritage: Architecture*, Singapore: Archipelago Press.
- Woods, PC dan Antaryama, IGN. 1995, *Aspect of Contemporary Life in Bali - The Conflict With Architectural Tradition*. An Ecological Approach to Architectural Design Symposium, British Council Academic, University of Manchester/STU Bratislava.

HARMON

job

select location

Select temp.mode

- environmental
- dry resultant
- air temperature

INPUT:
month number or Y for year **OK**

summary

vol vent. int.gain(av)

precalc.climate

display bld. data

precalc.bld.response

tabulate irradiation

temperature

Manggarai_Al latitude

print Ti

modify

add/edit partitions

partition flag

delete partitions

change in table

column line

new value

insert

shading

input window

line number

shading coeff:

insert

print form

SAVE

exit

Ventilation
 constant rate
 variable rate

Internal gain
 constant rate
 variable rate

No	typ/cod	prent	orient	length	W/H	U	AU	sgf	Rso	abs	Y	decr	tlag	asg	AY	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18
1	f	10	0	-1	11.0	11.0	3.19	386.0	-	-	-	3.21	1.00	0.0	-	388.4
2	r	20	0	-1	12.0	2.5	5.64	169.2	-	0.04	0.40	5.55	1.00	0.0	-	166.5
3	w	20	0	360	5.3	2.7	2.76	29.2	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.0
4	w	20	0	180	6.8	2.7	2.76	45.2	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	60.9
5	w	20	0	90	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5
6	w	20	0	270	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.06	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5

HOURLY INDOOR TEMPERATURES (x10) for an average day of each month (free running)

hours:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	mean
JAN	197	192	187	182	179	176	177	179	187	199	212	227	240	249	253	252	248	242	235	229	223	215	209	203	221
FEB	189	182	176	171	167	164	165	168	177	190	206	223	238	248	253	252	247	240	231	225	218	209	202	195	214
MAR	188	181	175	169	165	162	162	166	177	193	212	231	247	258	263	261	254	245	234	227	220	210	202	195	217
APR	182	175	168	163	159	157	160	169	184	202	222	240	255	265	268	265	258	248	236	227	219	207	199	191	218
MAY	182	174	168	163	159	157	161	170	184	202	222	240	255	265	268	265	257	247	236	226	218	207	198	190	218
JUN	164	155	147	141	137	134	138	149	166	188	211	233	250	262	266	263	254	242	228	217	207	194	184	174	204
JUL	162	153	145	139	135	132	136	146	164	186	210	232	251	263	267	263	255	242	228	216	205	192	182	172	203
AUG	159	149	140	133	127	124	128	140	160	184	211	237	257	271	276	272	262	248	232	219	207	193	181	170	203
SEP	174	164	156	149	144	142	145	157	175	199	224	248	267	279	283	279	269	256	241	230	220	206	195	184	216
OCT	187	178	170	163	157	153	154	161	176	197	221	245	265	278	282	278	269	257	245	235	226	214	205	196	222
NOV	189	181	174	168	163	159	160	166	180	199	220	242	259	271	275	271	263	252	241	233	225	214	206	197	222
DEC	190	184	177	172	167	164	165	169	180	195	213	231	246	257	261	258	252	244	236	229	222	212	205	198	218

ELEMENTAL BREAKDOWN

hourly heat flow rates
for the month of in Wh/10 for the hour

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qttotal	Q av
1 f:	-221	-255	-280	-296	-301	-286	-244	-180	-101	-16	63	128	170	184	179	163	138	104	63	17	-33	-84	-133	-180	-1401	-58
2 r:	-98	-116	-131	-143	-149	-133	-125	-89	-41	15	70	118	151	166	161	141	113	81	49	27	-12	-34	-56	-78	-116	-05
3 w:	-06	-09	-13	-16	-18	-20	-21	-21	-20	-15	-07	01	09	16	21	24	24	21	18	13	08	04	01	-02	-07	00
4 w:	-09	-15	-20	-24	-28	-31	-32	-33	-31	-23	-11	03	16	28	36	40	39	34	27	20	12	07	02	-04	04	00
5 w:	-05	-08	-11	-14	-16	-18	-19	-19	-18	-13	-06	02	09	15	19	21	21	19	16	11	07	04	01	-02	-04	00
6 w:	-05	-08	-11	-14	-16	-18	-19	-19	-18	-13	-06	01	08	14	19	22	22	20	16	11	07	04	01	-02	-03	00
vent	-488	-436	-350	-233	-90	164	444	631	660	559	311	-15	-388	-769	-995	-1002	-871	-682	-484	-439	-482	-432	-481	-503	-265	-265
Qi :	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
tot:	-810	-829	-800	-724	-604	-324	13	314	494	572	503	335	77	-245	-467	-509	-444	-343	-243	-292	-451	-494	-633	-744	-6649	-277

All numbers in dekaWatt-hours (tens of watt-hours)

ELEMENTAL BREAKDOWN

hourly heat flow rates
for the month of in Wh/10 for the hour

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qttotal	Q av
1 f:	-160	-189	-213	-230	-241	-245	-230	-189	-127	-54	19	81	122	136	133	122	104	81	52	19	-17	-54	-92	-127	-1304	-54
2 r:	-75	-90	-103	-113	-121	-107	-107	-85	-50	-05	41	82	111	124	118	100	78	54	35	22	-11	-27	-43	-60	-230	-10
3 w:	-04	-07	-09	-11	-13	-15	-16	-17	-17	-14	-08	-02	05	11	16	18	18	16	12	09	06	04	01	-01	-21	-01
4 w:	-06	-10	-14	-18	-21	-23	-25	-27	-27	-22	-13	-02	09	19	26	30	28	24	19	13	09	06	02	-02	-23	-01
5 w:	-03	-06	-08	-10	-12	-13	-15	-15	-15	-12	-08	-01	05	10	14	16	16	14	11	08	05	03	01	-01	-17	-01
6 w:	-03	-06	-08	-10	-12	-13	-15	-15	-15	-12	-08	-01	05	10	14	17	16	14	11	08	05	03	01	-01	-17	-01
vent	-341	-324	-283	-219	-136	-37	71	242	334	341	234	35	-233	-537	-705	-664	-526	-346	-232	-246	-290	-249	-303	-334	-198	-198
Qi :	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
tot:	-565	-605	-614	-591	-536	-433	-307	-65	138	291	336	277	112	-140	-304	-291	-205	-91	-41	-120	-250	-274	-396	-494	-5171	-215

All numbers in dekaWatt-hours (tens of watt-hours)

HARMON job

vol vent. int.gain(av)

latitude

Select temp.mode
 environmental
 dry resultant
 air temperature

INPUT: month number or Y for year

partition flag

Ventilation
 constant rate
 variable rate

Internal gain
 constant rate
 variable rate

change in table
 column line
 new value

shading
 input window line number
 shading coeff:

No	typ/cod	prent	orient	length	W/H	U	AU	sgf	Rso	abs	Y	decr	tlag	asg	AY	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18
1	f	10	0	-1	20.0	20.0	3.19	1276.	-	-	-	3.21	1.00	0.3	-	1284.
2	r	79	0	-1	22.0	22.0	2.21	1069.	-	0.02	0.30	2.24	1.00	0.2	-	1084.
3	w	20	0	360	8.0	2.5	2.76	55.2	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	67.4

HOURLY INDOOR TEMPERATURES (x10) for an average day of each month (free running)

hours:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	mean
JAN	208	207	206	205	204	203	203	204	205	207	209	212	214	216	217	217	217	216	215	214	213	211	210	209	219
FEB	201	199	198	197	196	196	196	196	197	199	202	205	208	210	211	211	211	210	209	208	206	205	203	202	212
MAR	201	200	199	197	197	196	196	196	198	200	204	207	210	212	213	213	213	212	210	209	208	206	204	203	213
APR	201	199	198	197	196	195	196	197	199	202	206	209	212	214	215	215	214	213	211	209	208	206	204	202	213
MAY	200	199	197	196	195	195	195	197	199	202	205	209	211	213	214	214	213	212	210	209	207	205	204	202	213
JUN	185	184	182	181	180	179	180	181	184	187	191	195	199	201	202	202	201	200	198	196	194	192	189	187	198
JUL	184	182	180	179	178	178	178	180	182	186	190	194	197	200	201	201	200	198	196	194	192	190	188	186	197
AUG	183	181	179	177	176	176	176	178	181	185	190	194	198	201	202	202	201	199	197	195	192	190	187	185	196
SEP	197	195	193	191	191	190	190	192	195	199	203	207	211	213	214	214	213	212	210	208	206	203	201	199	210
OCT	204	202	200	199	198	197	197	197	199	203	207	211	215	218	219	219	218	216	215	213	211	209	207	205	216
NOV	204	203	201	200	199	198	198	199	201	204	207	211	215	217	218	218	217	216	214	213	212	210	208	206	217
DEC	203	202	201	199	199	198	198	198	200	202	205	209	212	214	215	215	214	213	212	211	210	208	206	205	215

ELEMENTAL BREAKDOWN

hourly heat flow rates
for the month of AUG in Wh/10 for the hour

job rumahtodo location Manggarai_

[display](#)

[return](#)

[print](#)

[exit](#)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qttotal	Q av
1 f:	-672	-784	-868	-919	-937	-889	-749	-536	-274	05	266	480	619	668	650	598	514	402	266	113	-51	-219	-383	-536	-3234	-135
2 r:	-496	-610	-704	-774	-818	-788	-744	-586	-359	-90	187	436	627	735	748	691	599	480	344	221	48	-90	-230	-368	-1543	-64
3 w:	-09	-16	-22	-27	-32	-35	-37	-38	-36	-28	-16	-03	10	22	31	36	37	34	30	24	17	11	04	-02	-46	-02
vent	-1035	-879	-670	-418	-132	342	924	1496	1798	1846	1607	1137	497	-229	-778	-1012	-1079	-1075	-1039	-1078	-1182	-1135	-1163	-1131	-183	-183
Qi :	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
tot:	-2203	-2300	-2294	-2186	-1980	-1440	-684	257	1056	1683	2029	2076	1820	1298	780	460	219	-19	-274	-615	-1083	-1365	-1723	-2008	-8493	-354

All numbers in dekaWatt-hours (tens of watt-hours)

ELEMENTAL BREAKDOWN

hourly heat flow rates
for the month of NOV in Wh/10 for the hour

job rumahtodo location Manggarai_

[display](#)

[return](#)

[print](#)

[exit](#)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qttotal	Q av
1 f:	-485	-581	-659	-718	-753	-766	-718	-581	-376	-135	106	311	447	495	483	447	389	311	215	106	-12	-135	-258	-376	-3245	-135
2 r:	-363	-454	-534	-600	-649	-634	-640	-564	-409	-195	41	264	440	541	553	504	432	344	258	178	42	-57	-160	-263	-1925	-80
3 w:	-06	-11	-15	-20	-24	-27	-29	-31	-31	-27	-19	-08	03	13	22	27	28	25	21	17	12	09	04	-01	-67	-03
vent	-777	-697	-580	-429	-251	-52	225	770	1208	1443	1410	1118	608	-37	-521	-678	-688	-650	-639	-714	-813	-768	-813	-816	-131	-131
Qi :	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
tot:	-1613	-1740	-1800	-1791	-1713	-1524	-1215	-462	335	1039	1516	1694	1543	1090	640	417	280	140	-45	-328	-699	-891	-1180	-1424	-7729	-322

All numbers in dekaWatt-hours (tens of watt-hours)

HARMON

job

select location

Select temp.mode

- environmental
- dry resultant
- air temperature

INPUT:

month number
or Y for year

OK

vol vent.

int.gain(av)

precalc.climate

display bld. data

precalc.bld.response

tabulate irradiation

latitude

summary

temperature

print Ti

modify

add/edit partitions

partition flag

delete partitions

change in table

column line

new value

insert

shading

input window

line number

shading coeff:

insert

print form

SAVE

exit

Ventilation
 constant rate
 variable rate

Internal gain
 constant rate
 variable rate

No	typ/cod	prent	orient	length	W/H	U	AU	sgf	Rso	abs	Y	decr	tlag	asg	AY	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18
1	f	10	0	-1	11.0	11.0	3.19	386.0	-	-	-	3.21	1.00	0.3	-	388.4
2	r	79	0	-1	13.0	6.0	2.21	172.4	-	0.02	0.30	2.24	1.00	0.0	-	174.7
3	w	20	0	360	5.3	2.7	2.76	17.9	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.0
4	w	20	0	180	6.8	2.7	2.76	39.6	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	60.9
5	w	20	0	90	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5
6	w	20	0	270	5.3	2.7	2.76	26.0	-	0.03	0.40	3.37	0.93	1.8	-	47.5

HOURLY INDOOR TEMPERATURES (x10) for an average day of each month (free running)

hours:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	mean	
JAN	209	209	209	208	208	208	208	208	209	209	210	211	211	212	212	212	212	212	211	211	211	210	210	210	210	219
FEB	202	202	202	201	201	201	201	201	201	202	203	204	205	205	206	206	205	205	205	204	204	203	203	203	203	212
MAR	203	203	202	202	202	202	202	202	203	204	205	206	207	207	207	207	207	206	206	205	205	204	204	204	204	213
APR	203	203	202	202	202	202	202	202	203	204	205	206	207	208	208	208	207	207	206	206	205	205	204	204	204	213
MAY	203	202	202	202	201	201	202	202	203	204	205	206	207	207	207	207	207	206	206	205	205	204	204	203	203	213
JUN	189	188	188	187	187	187	187	188	188	190	191	192	193	194	194	194	193	193	192	192	191	190	190	190	189	198
JUL	187	187	186	186	185	185	185	186	187	188	189	191	192	192	192	192	192	192	191	191	190	190	189	188	188	197
AUG	186	186	185	185	185	184	185	185	186	188	189	190	191	192	192	192	192	192	191	190	190	189	188	188	187	196
SEP	200	199	199	199	198	198	198	199	200	201	202	204	205	205	206	205	205	204	204	203	203	202	201	201	210	210
OCT	206	205	205	205	204	204	204	204	205	206	207	209	210	211	211	211	210	210	209	209	208	208	207	207	216	216
NOV	207	206	206	205	205	205	205	205	206	207	208	209	210	211	211	211	210	210	209	209	209	208	208	207	216	216
DEC	205	205	204	204	204	204	204	204	204	205	206	207	208	209	209	209	208	208	208	207	207	207	206	206	215	215

ELEMENTAL BREAKDOWN

hourly heat flow rates

job location for the month of in Wh/10 for the hour

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotall	Q av
1 f:	-211	-245	-270	-286	-291	-276	-234	-170	-90	-06	73	138	180	194	189	173	148	114	73	27	-23	-74	-123	-170	-1158	-48
2 r:	-83	-102	-117	-128	-135	-130	-123	-98	-61	-18	27	67	98	115	117	108	93	74	52	32	04	-18	-40	-63	-329	-14
3 w:	-03	-05	-07	-09	-11	-12	-12	-13	-12	-09	-06	-01	03	07	10	11	12	11	09	07	05	03	01	-01	-23	-01
4 w:	-07	-12	-16	-20	-24	-26	-28	-28	-27	-21	-13	-03	07	16	23	26	27	24	21	16	11	07	02	-02	-45	-02
5 w:	-05	-08	-11	-13	-15	-17	-18	-18	-17	-14	-08	-02	05	10	14	17	17	16	14	11	07	05	02	-02	-33	-01
6 w:	-05	-08	-11	-13	-15	-17	-18	-18	-17	-14	-08	-02	04	10	14	17	18	16	14	11	07	05	02	-02	-32	-01
vent-1287-1206-1056	-843	-577	-85	583	1065	1349	1412	1236	869	335	-318	-792	-945	-912	-811	-705	-823	-1014	-1103	-1230	-1295	-340	-340			
Qi :	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
tot:-1537-1527-1433-1261-1016	-508	222	815	1244	1473	1461	1237	808	208	-262	-444	-467	-441	-417	-620	-910	-1091	-1310	-1464	-7241	-302					

All numbers in dekaWatt-hours (tens of watt-hours)

ELEMENTAL BREAKDOWN

hourly heat flow rates

job location for the month of in Wh/10 for the hour

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotall	Q av
1 f:	-153	-182	-206	-223	-234	-238	-223	-182	-120	-47	26	88	129	144	140	129	112	88	59	26	-10	-47	-84	-120	-1129	-47
2 r:	-61	-76	-89	-99	-107	-105	-106	-94	-69	-34	04	40	68	84	86	78	67	53	39	26	04	-12	-29	-45	-376	-16
3 w:	-02	-04	-05	-07	-08	-09	-10	-10	-10	-09	-06	-03	01	04	07	08	09	08	07	05	04	02	01	-01	-29	-01
4 w:	-05	-08	-12	-15	-18	-20	-22	-23	-23	-20	-14	-07	02	10	16	19	20	18	15	11	08	06	02	-01	-59	-02
5 w:	-03	-05	-08	-10	-12	-13	-14	-15	-15	-13	-09	-04	01	06	10	12	13	11	10	07	05	04	02	-01	-41	-02
6 w:	-03	-05	-08	-10	-12	-13	-14	-15	-15	-13	-09	-04	01	06	10	12	13	11	10	08	05	04	02	-01	-41	-02
vent -942 -924 -858 -747 -596 -410	-82	355	731	965	1004	825	439	-110	-495	-558	-487	-367	-345	-490	-642	-714	-835	-912	-258	-258						
Qi :	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
tot:-1097-1136-1120-1049	-926	-747	-398	107	589	957	1138	1088	799	297	-83	-168	-138	-69	-103	-308	-532	-670	-859	-1003	-5430	-226				

All numbers in dekaWatt-hours (tens of watt-hours)

FORM DATA PENELITIAN

Data Pengukuran Elemen Iklim Ruang Luar Dan Ruang Dalam

- 1. Nama Rumah : _____ Kode _____
- 2. Nama Pemilik : _____
- 3. Hari/Tanggal Pengukuran : _____
- 4. Altitude : _____
(ketinggian dari permukaan air laut)
- 5. Latitude (garis lintang) : _____ Longitude (garis bujur) : _____
- 6. Orientasi : _____
Utara/ Barat/ Timur/ Selatan/ Timur Laut/ Barat Laut/Barat Daya (*)

Waktu	Jam	Ruang Luar				Ruang Dalam			
		Kondisi Langit	Temperatur (T= °C)	Kelembaban (RH= %)	Kecepatan Angin (m/detik)	Arah Angin (0° - 360°)	Temperatur (T= °C)	Kelembaban (RH= %)	Kecepatan Angin (m/detik)

- Keterangan:
- Kondisi Langit :
- Cerah : Kondisi langit tidak tertutup awan.
 - Berawan : Kondisi langit dengan awan putih yang menutupi hanya sebagian dari kubah langit.
 - Mendung : Kondisi langit dengan awan hitam yang menutupi sebagian besar atau menutupi keseluruhan kubah langit.
 - Hujan : Kondisi langit saat hujan turun.

FORM DATA PENELITIAN

Cloting Value Masyarakat Di Lokasi Penelitian

Gender	Umur	Pakaian Cuaca Dingin	Pakaian Cuaca Panas	Pakaian				Pakaian Tidur
				Pagi Hari	Siang Hari	Sore Hari	Malam Hari	
Laki-Laki	Remaja 15-24							
	Dewasa 25-40							
	Dewasa 41-80							
Perempuan	Remaja 15-24							
	Dewasa 25-40							
	Dewasa 41-80							

Pakaian Atasan:

- a. Tidak memakai baju
- b. Kaos gantung
- c. Kaos/ kemeja lengan pendek
- d. Kaos/ kemeja lengan panjang
- e. Jaket

Selimut:

- a. Selimut tipis
- b. Selimut tebal
- c. selimut berlapis-lapis

Pakaian Bawahan:

- a. Celana pendek
- b. Celana panjang
- c. Rok panjang
- d. Rok pendek
- e. Sarung

FORM DATA OBJEK PENELITIAN

Data Elemen Bangunan

A. Atap

- Konstruksi : _____
- Material & Warna : _____
- Tinggi Bubungan : _____
- Lebar Overhang : _____
- Ukuran : Lebar : _____ Tinggi : _____ Tebal : _____

B. Dinding

- Konstruksi : _____
- Material & Warna : _____
- Penutup Luar : _____
- Ukuran : Lebar : _____ Tinggi : _____ Tebal : _____

C. Bukaan

1. Jendela : _____
 - Jumlah Jendela : _____
 - Ukuran : Lebar : _____ Tinggi : _____ Tebal : _____
 - Konstruksi : _____
 - Material & Warna : _____
 - Jadwal Bukaan : _____
2. Pintu : _____
 - Jumlah Jendela : _____
 - Ukuran : Lebar : _____ Tinggi : _____ Tebal : _____
 - Konstruksi : _____
 - Material & Warna : _____
 - Jadwal Bukaan : _____

D. Lantai

- Konstruksi : _____
- Material & Warna : _____
- Ukuran : Lebar : _____ Tebal : _____

E. Konstruksi Panggung

- Konstruksi : _____
- Material & Warna : _____
- Tinggi : _____