



TESIS - DA185401

**KENYAMANAN TERMAL BANGUNAN RUMAH
TINGGAL DI DATARAN TINGGI TROPIS LEMBAB
BERBASIS OPTIMASI MATERIAL SELUBUNG
BANGUNAN**

HUDA DAWAM INDANA
08111 5500 40001

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env.
F.X. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020



TESIS - DA185401

**KENYAMANAN TERMAL BANGUNAN RUMAH
TINGGAL DI DATARAN TINGGI TROPIS LEMBAB
BERBASIS OPTIMASI MATERIAL SELUBUNG
BANGUNAN**

**HUDA DAWAM INDANA
08111 5500 40001**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env.
F.X. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D.**

**Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Arsitektur (M.Ars.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HUDA DAWAM INDANA

NRP: 08111550040001

Tanggal Ujian: 26 Juni 2020

Periode Wisuda: September dan Oktober 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Dr. Ir. Asri Dinapradipta, MBEEnv.
NIP: 196703011992032002




2. F.X. Teddy Badai S, ST, MT, PhD
NIP: 198004062008011008



Penguji:

1. Prof. Dr. Ir. Vincentius Totok N, M.T.
NIP: 19551201 198103 1 003



2. Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti N.E, M.T.
NIP: 19611129 198103 1003



Kepala Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, Dan Kebumihan



Dr. Dewi Septanti, S.Pd., S.T., M.T.

NIP: 196909071997022001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Huda Dawam Indana
NRP : 08111550040001
Program Studi : Magister (S2)
Departemen : Arsitektur

Dengan ini menyatakan, bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya dengan judul:

**KENYAMANAN TERMAL BANGUNAN RUMAH TINGGAL DI
DATARAN TINGGI TROPIS LEMBAB BERBASIS OPTIMASI
MATERIAL SELUBUNG BANGUNAN**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya , 15 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Huda Dawam Indana

NRP : 08111550040001

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilalamin, segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala. atas segala karunia dan ridho-Nya, sehingga tesis dengan judul “Kenyamanan Termal Bangunan Rumah Tinggal di Dataran Tinggi Tropis Lembab Berbasis Optimasi Material Selubung Bangunan” ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam beserta keluarga dan para sahabatnya.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Arsitektur (M. Ars.) di dalam Bidang Keahlian Arsitektur Lingkungan Program Pascasarjana Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Di dalam menyelesaikan Tesis ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik berupa pengajaran, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak tersebut, antar lain:

1. Keluarga penulis, Ayahanda Suharjono dan Ibunda Rantinem yang dengan kasih sayangnya senantiasa selalu mendukung tanpa henti serta mendoakan dengan sabar selama proses perkuliahan berlangsung. Kakak-kakakku mba Arina Hayati dan mas Dana Wawanda yang juga selalu sabar memberikan nasehat dan bimbingannya. Istriku tercinta Putri Wulandari yang sudah sabar mendoakan dan menemani selama ini. Serta anakku Khalid Zuhair Dawam sebagai penyemangat didalam menyelesaikan penulisan laporan tesis ini.
2. Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env. dan F.X. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, atas bimbingan, arahan dan dengan sabar selalu menuntun penulis supaya lebih fokus dan optimis dalam menyelesaikan penelitian Tesis ini dengan baik.
3. Prof. Dr. Ir. Vincentius Totok N, M.T. dan Dr-Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti N.E, M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan, saran dan revisi yang bermanfaat bagi penyempurnaan penulisan tesis ini.

4. Seluruh Dosen program Pascasarjana Arsitektur Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Pak Sahal dan seluruh staf karyawan Jurusan Arsitektur ITS Surabaya, terima kasih banyak atas segala kebaikan dan keramahannya.
6. Masyarakat Ranupane, mas Jon Sampurno dan Simbok yang menjamu serta membantu selama penelitian berlangsung. Mas Adek, mas Untung dan pak Buari yang telah bersedia mengizinkan penulis untuk meneliti rumah tinggalnya sebagai objek penelitian. Pak Ibrahim dan jajaran perangkat Desa Ranupane yang telah memberikan izin selama kegiatan penelitian berlangsung.
7. Teman-teman mahasiswa semua alur Pascasarjana Jurusan Arsitektur ITS khususnya alur Arsitektur Lingkungan, Ronal, Bobby, Iqbal, Rizal, Putri dan lainnya, terima kasih atas saran, diskusi, bantuan dan dukungan selama menjalani studi hingga menyelesaikan laporan tesis ini.
8. Adele Dörner and meteoblue.com team, thank you for your support by providing me with access to meteoblue climate data. The climate data has been a great helped to support finishing my thesis
9. Dan akhirnya pada semua pihak yang mohon maaf tidak disebutkan, semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Amin

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 17 Agustus 2020

Penulis

KENYAMANAN TERMAL BANGUNAN RUMAH TINGGAL DI DATARAN TINGGI TROPIS LEMBAB BERBASIS OPTIMASI MATERIAL SELUBUNG BANGUNAN

Nama Mahasiswa : Huda Dawam Indana
NRP : 08111550040001
Pembimbing : Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env.
Co-Pembimbing : F.X. Teddy Badai S, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Umumnya kondisi iklim tropis lembab di Indonesia memiliki permasalahan berupa tingkat temperatur dan kelembaban udara yang tinggi. Namun, di daerah tertentu seperti Desa Ranupane yang terletak di dataran tinggi tropis lembab, memiliki permasalahan lain berupa *cold discomfort* atau *underheating* hampir sepanjang hari. Oleh karena itu, rumah tinggal yang berada di dataran tinggi tropis lembab, membutuhkan kinerja termal bangunan yang dapat menahan panas di dalam bangunan, khususnya pada waktu-waktu kritis (malam dan pagi hari). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi permasalahan dan mengoptimasi kinerja termal dengan memperhatikan material selubung bangunan pada rumah tinggal di dataran tinggi tropis lembab.

Penelitian ini merupakan penelitian simulasi dengan menggunakan taktik penelitian lapangan (observasi) dan simulasi menggunakan program ARCHIPAK 5.1. Penelitian lapangan bertujuan untuk melakukan pengukuran elemen iklim di 4 model rumah tinggal modern di Desa Ranupane yang kemudian dijadikan model *based-case* simulasi. Penelitian simulasi dilakukan untuk mendapatkan optimasi kinerja termal bangunan dari kombinasi penggunaan material. Empat model *based-case* dipilih satu model yang memiliki kinerja termal terbaik dan juga mewakili karakteristik bentuk rumah tinggal pada umumnya di Desa Ranupane. Tahap terakhir dilakukan penelitian simulasi untuk mendapatkan optimasi kinerja termal dengan menggunakan kombinasi material dan insulasi selubung bangunan yang memiliki *thermal properties* untuk daerah dataran tinggi. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan model bangunan yang menghasilkan kinerja termal dengan nilai temperatur indoor (T_i) yang mencapai tingkat kenyamanan mendekati area ambang temperatur netral (T_n) Desa Ranupane.

Hasil penelitian ini menunjukkan rumah di Desa Ranupane umumnya belum mampu menghasilkan kondisi indoor yang nyaman selama kurun waktu 24 jam. Kondisi kritis terjadi pada pukul 00:00 hingga pukul 05:00 dan kondisi yang dianggap paling nyaman terjadi siang hari sekitar pukul 13:00. Dengan temperatur minimum rata-rata 12,4°C dan temperatur maksimum rata-rata 19,7°C. Sedangkan dari hasil penelitian simulasi didapatkan model optimum kinerja termal dengan kombinasi selubung material menggunakan genteng pelana dengan kemiringan 40° dan penggabungan material dinding berupa batako, insulasi EPS, bata merah, dan plester dengan total ketebalan ± 25 cm.

Kata Kunci: *cold discomfort*, *underheating*, *thermal properties*, Ranupane, temperatur netral.

Halaman ini sengaja dikosongkan

THERMAL COMFORT OF RESIDENTIAL BUILDING IN HIGHLAND TROPICAL HUMID CLIMATE BASED-ON OPTIMIZATION OF BUILDING ENVELOPE MATERIAL

Student Name : Huda Dawam Indana
Student ID : 08111550040001
Supervisor : Dr. Ir. Asri Dinapradipta, MBEEnv.
Co-Supervisor : F.X. Teddy Badai S, ST, MT, PhD

ABSTRACT

Indonesia with humid tropical climate conditions has problems in the form of high temperature and humidity levels. However, certain areas such as Ranupane Village which is located in the humid tropical highlands, has other problems such as cold discomfort that lasted most of the day. Therefore, houses that are located in humid tropical highlands, require building thermal performance that may withstand the heat inside the building, especially at critical times (night and morning times). This research aims to study and to optimize the thermal performance condition of building materials in houses in the humid tropical highlands.

This research was conducted with a field study followed by simulation research. The field study is carried out by collecting building data and climate elements of four houses which are determined as based-case models in Ranupane Village for simulation research. The results of the field measurement analysis are then verified and validated using the ARCHIPAK 5.1 program to see the thermal performance trends of the four *based-case* models. Afterward, one model of 4 *based-case* models is selected that has the best thermal performance and represents the characteristics of housing type generally in Ranupane Village. Lastly, the last stage is doing optimization simulation for selected *based-case* model using thermal properties combination of materials and building envelope insulations that are suitable for highland area. Simulation research aims to get a building model that has thermal performance with indoor temperature (T_i) values that reach a comfort level close to the neutral temperature threshold area (T_n) of Ranupane Village.

The results of this study indicate that houses in Ranupane Village are generally not able to meet indoor thermal comfort conditions for 24 hours. Yet, the presence of a fireplace is only able to provide temporary thermal comfort. The results of the optimization study on the selected *based-case* model show that the best combination of material envelope is a tile roof with a slope of 40° and a combination of wall materials in the form of bricks, EPS insulation, red brick, and plaster with a total thickness of ± 25 cm.

Keywords: cold discomfort, underheating, thermal properties, Ranupane, neutral temperature

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah dan Pertanyaan Penelitian	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Manfaat Penelitian.....	9
1.5 Batasan Penelitian	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	11
2.1 Bangunan Rumah Tinggal Tropis Lembab dan Material Bangunan	11
2.2 Iklim Dataran Tinggi Tropis Lembab.....	13
2.3 Kinerja Termal Pada Bangunan.....	15
2.3.1 Perpindahan Panas.....	16
2.3.2 Konduktivitas Termal Material	18
2.3.3 Bentuk Bangunan	19
2.3.4 Material Selubung Bangunan di Daerah Dataran Tinggi Tropis...	20
2.3.5 Internal Heat Gain	22
2.3.6 Heat Loss	22
2.4 Kenyamanan Termal	24

2.4.1	Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal	25
2.4.2	Temperatur Netral (Tn).....	28
2.4.3	Degree Days or Degree Hours	29
2.5	Sintesis Kajian Pustaka.....	30
BAB III METODE PENELITIAN		33
3.1	Paradigma Penelitian	33
3.2	Metode Penelitian	33
3.3	Definisi Variabel dan Variabel Penelitian	34
3.4	Pemilihan Lokasi	36
3.5	Pengamatan Lapangan	37
3.6	Pengumpulan Data	40
3.7	Alat Penelitian.....	42
3.8	Verifikasi.....	43
3.8.1	Program Archipak.....	44
3.8.2	Objek Verifikasi.....	46
3.8.3	Metode Verifikasi	48
3.9	Rancangan Eksperimen.....	48
3.9.1	Simulasi bangunan eksisting.....	49
3.9.2	Simulasi Optimasi.....	51
3.10	Analisis Hasil Penelitian	52
BAB IV HASIL STUDI LAPANGAN.....		57
4.1	Lokasi Penelitian.....	57
4.1.1	Kondisi Geografis Desa Ranupane	57
4.2	Tinjauan Iklim Desa Ranupane.....	58
4.3	Deskripsi Kondisi Fisik Rumah Tinggal di Ranupane	60
4.4	Sampel Penelitian.....	61
4.5	Operasional Pengukuran	65
4.6	Hasil Pengamatan dan Pengukuran.....	65
BAB V ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN		73
5.1	Analisis Iklim.....	73

5.2	Data Input Archipak	74
5.2.1	Data Model Bangunan dan Data Iklim	74
5.2.2	Data Internal Heat Gain dan Air Change per hour (ach).....	75
5.3	Verifikasi Hasil Pengukuran Lapangan dan Hasil Simulasi.....	76
5.4	Hasil Simulasi Bangunan Eksisting dan Penentuan Model Based- Case Simulasi Optimasi.....	80
5.5	Analisis Model Based-case Hasil Simulasi Optimasi	86
5.5.1	Data Input Material Selubung Bangunan	86
5.5.2	Rancangan Simulasi Optimasi.....	87
BAB VI KESIMPULAN.....		95
6.1	Strategi Masyarakat Ranupane Dalam Menghadapi Permasalahan Kondisi Kenyamanan Termal di Iklim Dataran Tinggi Tropis Lembab	95
6.2	Pengaruh Elemen Material Selubung Bangunan Terhadap Kinerja Termal Bangunan Rumah Tinggal di Desa Ranupane	96
6.3	Saran	97
DAFTAR PUSTAKA		99
LAMPIRAN		107

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Heat loss pada bangunan (Sumber: McMullan, 1998)	23
Gambar 3.1 Peta lokasi area Desa Ranupane di antara Gunung Bromo dan Gunung Semeru (Sumber: Google map).....	36
Gambar 3.2 Peta kontur lokasi Desa Ranupane (Sumber: Google map)	37
Gambar 3.3 Tingkat kepadatan bangunan di Desa Ranupane (Sumber: Google map).....	38
Gambar 3.4 Salah satu rumah tinggal dengan material modern.....	39
Gambar 3.5 Pembangunan rumah tinggal di Desa Ranupane menggunakan material dinding batako	39
Gambar 3.6 Titik pengukuran di dalam dan luar bangunan	41
Gambar 3.7 Gambar potongan posisi letak pemasangan alat.....	42
Gambar 3.8 Contoh perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran atau eksperimen (Oberkampf, L. 2004)	44
Gambar 3.9 Layout model based-case rumah responden 1 tanpa perapian (UT-TP)	46
Gambar 3.10 Layout model based-case rumah responden 2 tanpa perapian (AD-TP).....	47
Gambar 3.11 Layout model based-case rumah responden 3 dengan perapian (AD-P)	47
Gambar 3.12 Layout model based-case rumah responden 4 dengan perapian (BA-P)	47
Gambar 3.13 Layout ruang model based-case yang disederhanakan.....	50
Gambar 3.14 Grafik temperatur, kelembaban, dan curah hujan Desa Ranupane bulan September 2019 (meteoblue.com).....	54
Gambar 3.15 Grafik heating perbandingan hasil pengukuran dan simulasi (Wasilowski, H.A. Reinhart, C.F., 2009).....	54
Gambar 4.1 Lokasi penelitian, (a) Lokasi terhadap wilayah Jawa Timur, (b)Lokasi terhadap wilayah Taman Nasional Bromo Tengger Semeru dan Kecamatan Senduro, (c) Lokasi terhadap wilayah Desa Ranupane. (Sumber: https://earth.google.com , 2018).....	58

Gambar 4.2 Profil data iklim selama tahun 2019 (sumber: meteoblue.com)	60
Gambar 4.3 Model rumah tinggal dan pembangunan rumah di Desa Ranupane saat ini	61
Gambar 4.4 Rumah Responden 1 Tanpa Perapian (UT-TP)	62
Gambar 4.5 Rumah Responden 2 Tanpa Perapian (AD-TP)	62
Gambar 4.6 Rumah Responden 3 Dengan Perapian (AD-P)	63
Gambar 4.7 Rumah Responden 4 Dengan Perapian (BA-P)	63
Gambar 4.8 Penempatan alat pengukuran	66
Gambar 4.9 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah no.1 UT-TP	68
Gambar 4.10 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah No. 02 AD-TP	69
Gambar 4.11 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah No. 03 AD-P	70
Gambar 4.12 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah No. 04 BA-P	71
Gambar 5.1 Diagram perbandingan T_i eksisting dan T_i model based-case rumah tanpa perapian dengan material bata merah (UT-TP)	78
Gambar 5.2 Diagram perbandingan T_i eksisting dan T_i model based-case rumah tanpa perapian dengan material batako (AD-TP)	78
Gambar 5.3 Diagram perbandingan T_i eksisting dan T_i model based-case rumah tanpa perapian dengan material batako (AD-P)	79
Gambar 5.4 Diagram perbandingan T_i eksisting dan T_i model based-case rumah tanpa perapian dengan material bata merah (BA-P)	79
Gambar 5.5 Grafik perbandingan T_i model based-case terhadap T_n untuk rumah tanpa perapian dengan material bata merah (UT-TP) dan rumah (AD-TP) tanpa perapian dengan material batako	81
Gambar 5.6 Grafik perbandingan T_i model based-case terhadap T_n untuk, rumah dengan perapian material batako (AD-P) dan rumah (BA-P) dengan material bata merah	82
Gambar 5.7 Diagram degree hours model based-case eksisting	83
Gambar 5.8 Rumah model based-case terpilih AD-P	85

Gambar 5.9 Hasil simulasi model based-case perbandingan T_o dan T_i	90
Gambar 5.10 Grafik perbandingan total degree hours hasil simulasi model based- case pada bulan terdingin.	91
Gambar 5.11 Perbandingan elemental breakdown pada model A1D1 dan A2D2	92

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Building Material Assessment System (BMAS).....	13
Tabel 2.2	Thermal Properties of Material	19
Tabel 2.3	Batas kenyamanan manusia	24
Tabel 2.4	Reaksi manusia terhadap kecepatan angin	26
Tabel 3.1	Teknik pengumpulan data fisik	40
Tabel 3.2	Instrumen penelitian	43
Tabel 3.3	Fitur yang dimiliki ARCHIPAK	45
Tabel 3.4	Skenario konfigurasi model based-case yang akan diuji	51
Tabel 3.5	Penyederhanaan model yang diuji terhadap variabel optimasi	52
Tabel 4.1	Jenis Konstruksi dan Elemen bangunan Rumah Tanpa Perapian	64
Tabel 4.2	Jenis Konstruksi dan Elemen bangunan Rumah Tanpa Perapian	64
Tabel 4.3	Jenis peralatan, cara penempatan dan tanggal pemasangan	66
Tabel 5.1	Temperatur netral Desa Ranupane dengan Archipak.....	74
Tabel 5.2	Data input material untuk simulasi optimasi.....	87
Tabel 5.3	Kombinasi simulasi elemen material selubung bangunan	87
Tabel 5.4	Model kombinasi simulasi dengan pertimbangan internal heat gain, ACH, bulan terdingin dan bulan terpanas	88

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan beriklim tropis lembab yang kaya dengan adat istiadat dan budaya. Salah satunya tercermin dari keanekaragaman bangunan-bangunan arsitektural dari setiap daerah. Uniknya bangunan-bangunan ini yang sering disebut dengan arsitektur Nusantara, memiliki ciri khas tersendiri mulai dari bentuk arsitektur hingga cara dalam merespon permasalahan kondisi iklim setempat. Sebagaimana disampaikan oleh Karyono (2013) dalam konteks rumah tinggal, hidup atau tinggal di daerah beriklim tropis lembab memiliki permasalahan yang sangat kompleks. Kondisi ini menuntut bangunan-bangunan di daerah tropis lembab untuk dapat menyelesaikan permasalahan lingkungan terutama masalah kinerja termal dengan pendekatan desain pendinginan pasif.

Dalam konteks arsitektur di Indonesia, permasalahan lingkungan sering direspon dari penggunaan material "*lightweight*" berupa kayu atau bambu, penggunaan ventilasi alami dengan bukaan lebar, atap bangunan sebagai naungan dan lain sebagainya. Pendapat ini didukung pula oleh Rapoport (1969:47) dalam Idham (2016:2) yang menyatakan bahwa bentuk bangunan pada daerah tertentu sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi iklim, metode konstruksi, sosial budaya, dan faktor-faktor lainnya. Sayangnya saat ini masih banyak arsitek yang masih kurang memperhatikan akan pentingnya merancang bangunan yang tanggap terhadap iklim setempat khususnya iklim tropis lembab. Karyono (2000) menyatakan seorang arsitek dalam merancang bangunan harus faham terhadap persoalan iklim yang dihadapinya, dengan menterjemahkan bangunan sebagai alat untuk memodifikasi permasalahan iklim setempat. Salah satu contoh adalah kondisi temperatur lingkungan di daerah tropis yang cukup tinggi direspon untuk memenuhi kenyamanan termal di dalam bangunan dengan menggunakan ventilasi alami, sedangkan tingkat curah hujan tinggi direspon dengan atap lebar dan sebagainya.

Iklm tropis dibagi menjadi dua, yakni iklim tropis lembab dan iklim tropis kering. Di Indonesia, dengan cakupan wilayah yang sangat luas dan memiliki ketinggian muka tanah yang berbeda-beda di setiap wilayah menyebabkan kondisi temperatur udara yang berbeda-beda pula. Hal ini mempengaruhi iklim tropis di Indonesia yang dikelompokkan menjadi tiga, yaitu iklim dataran rendah, iklim dataran tinggi atau pegunungan, dan iklim gunung (Karyono, 2016). Pada iklim tropis dataran rendah, temperatur udara rata-rata berkisar 28°C dengan kondisi sepanjang hari panas dan tingkat radiasi tinggi. Dengan kondisi demikian, maka membutuhkan banyak penghijauan yang berfungsi sebagai naungan bangunan untuk mengurangi radiasi matahari yang berlebih dan menurunkan panas lingkungan. Namun, di daerah perkotaan dengan tingkat kepadatan bangunan tinggi dan berkurangnya area penghijauan, panas lingkungan semakin meningkat dikarenakan meningkatnya temperatur lingkungan rata-rata.

Kondisi berbeda terjadi di iklim tropis dataran tinggi atau pegunungan, yang umumnya temperatur udara rata-rata berkisar pada 26°C (Karyono, 2016). Kondisi iklim ini cenderung nyaman di siang hari dan sejuk di malam hari. Sedangkan untuk daerah pegunungan yang letaknya di atas 1000 mdpl, temperatur rata-rata berkisar 23°C atau kurang bahkan minus. Kondisi iklim di daerah ini sangat berbeda dengan kondisi iklim tropis lainnya, dimana pada saat siang hari temperatur udara terasa dingin dan pada malam hari semakin dingin bahkan bisa minus pada saat dini hari sampai waktu subuh. Perbedaan karakter dan ketinggian daerah tersebut mempengaruhi respon arsitektural terutama untuk memaksimalkan kenyamanan termal di dalam bangunan. Di daerah pelosok di Indonesia, banyak kasus yang menunjukkan bagaimana masyarakat lokal merespon kondisi iklim lingkungan dengan berbagai solusi yang mengacu pendekatan kearifan lokal, salah satu contoh di Desa Ranupane, Kecamatan Senduro, Kabupaten Lumajang.

Desa Ranupane merupakan desa tertinggi yang berada di kawasan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS), yaitu terletak di area seluas ±265 hektar pada ketinggian 2.200 mdpl dengan temperatur udara rata-rata 10°C (Budiyanti, 2015). Berbeda dengan permasalahan kenyamanan termal di daerah-

daerah lain yang terletak di dataran rendah tropis, Desa Ranupane memiliki permasalahan berupa *cold discomfort* terutama pada saat malam hari. Sebagaimana yang dinyatakan Koenigsberger (1973), ketidaknyamanan yang terjadi di daerah dataran tinggi tropis umumnya dikarenakan temperatur udara yang sangat dingin khususnya pada saat malam hari. Sedangkan, permasalahan di siang hari hanya terjadi apabila kulit tubuh terpapar langsung oleh radiasi matahari yang berlebih. Dengan kondisi iklim seperti ini, solusi yang dicapai oleh penduduk Ranupane sejak dulu adalah dengan membangun rumah tinggal mereka menggunakan material kayu yang dikombinasikan dengan bata sebagai dindingnya. Untuk menunjang tingkat kenyamanan termal pada bagian dalam rumah tinggal, mereka memanfaatkan perapian dengan bahan bakar kayu yang didapat dari hutan. Namun seiring perkembangan zaman dan modernisasi kini rumah masyarakat Ranupane sudah banyak berubah yang awalnya terbuat dari kayu kini menjadi bangunan yang lebih modern dengan menggunakan material bata merah dan batako.

Mayoritas masyarakat Ranupane rata-rata berprofesi sebagai petani karena ditunjang dengan kondisi tanahnya yang sangat subur. Total hampir kurang lebih 92% masyarakatnya bekerja sebagai petani dan sebagian yang lain sebagai porter wisatawan atau petugas pemerintahan (Budiyanti, 2015 dlm Anonim, 2015). Karena Desa Ranupane masuk dalam kategori wilayah desa “*enclave*”, maka di luar sekitar 266.99 hektar area Desa Ranupane tidak bisa dimanfaatkan masyarakat secara produktif karena merupakan kawasan hutan lindung TNBTS. Oleh karena itu, Balai Besar TNBTS membuat zona pemanfaatan tradisional yang bertujuan untuk kepentingan pemanfaatan tradisional oleh masyarakat yang kesejahteraannya bergantung pada sumber daya alam sekitar (Permenhut No. P. 56/MenhutII/2006, tentang Pedoman Zonasi Taman Nasional). Akan tetapi, meskipun sudah disediakan lahan zona pemanfaatan tradisional, sebagian masyarakat lokal masih melakukan aktifitas ilegal seperti perambahan hutan dan pertanian di lahan curam yang dapat berakibat pada erosi tanah. Sebagaimana yang diutarakan Nugroho (2016) dalam Halim (2018), permasalahan utama bagi Balai Besar TNBTS adalah penggunaan lahan ilegal yang bukan hanya

mengancam TNBTS saja tetapi juga mengancam kehidupan masyarakat dan industri di Jawa Timur.

Permasalahan lainnya adalah karena ketergantungan masyarakat Ranupane terhadap kayu yang berasal dari hutan lindung untuk digunakan sebagai bahan material bangunan ataupun bahan bakar perapian. Maka dalam kurun waktu yang panjang, ketergantungan ini mengakibatkan pepohonan yang ada di area hutan lindung TNBTS mulai terancam berkurang. Perlu diketahui bahwa Balai Besar TNBTS mengalami permasalahan yang kompleks terkait pelestarian dan pengawasan pengelolaan hutan lindung, di antara adalah perambahan lahan hutan untuk digunakan sebagai lahan pertanian, pencurian kayu ilegal, dan perburuan hewan (Haliim, 2018). Oleh karena itu, ke depannya evaluasi kebutuhan kayu dangat diperlukan karena adanya pembatasan kayu sebagai bahan bakar perapian dan material selubung bangunan rumah tinggal.

Selama ini studi yang meneliti tentang kinerja termal khususnya yang berkaitan dengan selubung material bangunan telah dilakukan oleh banyak ahli maupun praktisi. Di antara adalah penelitian tentang kinerja penggunaan energi pada selubung bangunan yang diintegrasikan dengan *phase change materials* (PCMs) yang berguna untuk mengurangi beban pendinginan di daerah beriklim tropis (Lei, 2015). Penelitian ini membuktikan bahwa kontribusi PCMs dapat secara aktif mengurangi peningkatan panas melalui selubung bangunan di sepanjang tahun. PCMs adalah substansi material yang dapat menyerap panas dalam jumlah besar selama rentan temperatur waktu yang sempit (Lei, 2015). Nematchoua (2015) dalam eksperimennya meneliti efek dari material lokal dan material impor terhadap kualitas udara indoor. Penelitian ini dilakukan baik di musim penghujan maupun musim kering pada bangunan perkantoran di Kamerun yang beriklim tropis lembab dan dingin. Mirrahimi (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pembayangan, elemen dinding luar, atap, serta kaca jendela merupakan selubung bangunan yang memiliki parameter penting dalam mengendalikan konsumsi energi dan kinerja termal pada bangunan tinggi di Malaysia. Dalam studi penelitiannya menunjukkan terdapat hubungan yang kuat antara beberapa komponen bangunan seperti *shading device*, *external wall*,

external roof, eksternal glazing, insulasi serta pengurangan konsumsi energi sebagaimana pendinginan di dalam bangunan.

Hermawan dkk (2014) dalam penelitiannya mencoba mencari perbedaan kinerja termal antara rumah tradisional atau vernakular yang memakai dinding kayu dan yang memakai dinding bata ekspos di daerah pesisir pantai tropis Indonesia. Hasil penelitiannya menunjukkan rumah yang memakai dinding kayu lebih nyaman dibandingkan yang memakai dinding bata ekspos. Penelitian lain yang melakukan investigasi kinerja dan kenyamanan termal di rumah tradisional juga dilakukan oleh Kristianto dkk (2014) dengan mengambil rumah tradisional Minahasa sebagai studi kasus. Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi kenyamanan termal rumah tradisional Minahasa sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin yang terjadi di dalam bangunan.

Beberapa penelitian seperti Sukowiyono (2004) dan Dewi (2010) melakukan penelitian di daerah iklim tropis gunung yang sama, yakni kawasan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru, namun di desa yang berbeda. Sukowiyono (2004) melakukan penelitian di Desa Ngadas, sedangkan Dewi (2010) di Desa Ngadisari, dimana secara umum kedua desa ini masih memiliki kesamaan kondisi iklim dan tipologi bangunan arsitektur yang hampir sama. Sukowiyono (2004) membagi jenis selubung material yang digunakan pada bangunan berdasarkan potensi dan karakter perolehan panas yang berbeda-beda terhadap tingkat kenyamanan termal, dengan cara membandingkan tipologi, geometri, material bangunan dan juga melihat peran perapian dalam meningkatkan kinerja termal di dalam bangunan. Dewi (2010) dalam penelitiannya berfokus pada aspek kultural, dengan melihat peran perapian dalam rumah tinggal masyarakat Tengger.

Penelitian lain yang masih dilakukan di daerah dataran tinggi tropis adalah penelitian Fitriaty (2012) dan Nugroho (2013). Fitriaty (2012) melakukan evaluasi kinerja termal dan melihat efektifitas respon desain bangunan tradisional Tambi terhadap kondisi iklim di dataran tinggi tropis (pegunungan). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa rumah tradisional Tambi tidak dapat senantiasa

menghasilkan kenyamanan termal bagi penghuninya sepanjang periode 24 jam. Hal ini dikarenakan beberapa elemen bangunan rumah tradisional Tambi masih memiliki keterbatasan dalam menyesuaikan kondisi iklim luar yang dingin. Sehingga menuntut penghuninya untuk dapat beradaptasi secara aktif dalam mencapai kenyamanan termal. Sedangkan penelitian yang dilakukan Nugroho (2013) mencoba membandingkan kinerja termal antara rumah tradisional Wogo yang terletak di pulau Flores dan rumah kontemporer milik Arsitek Budi Faisal yang terletak di Bandung. Kedua rumah ini dipilih karena memiliki karakteristik material dan lokasi yang hampir sama, yaitu sama-sama berbahan material bambu dan berlokasi di daerah dataran tinggi dengan temperatur luar antara 19°C sampai 33°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rumah tradisional Wogo dapat menurunkan temperatur udara lebih banyak di siang hari dan mengalami penurunan temperatur di malam hari dari pada rumah kontemporer. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rumah tradisional Wogo lebih nyaman pada saat siang hari namun tidak nyaman pada saat malam hari dibandingkan dengan rumah kontemporer milik Budi Faisal.

Penelitian lainnya tentang kinerja termal dalam konteks rumah tinggal di dataran tinggi tropis lembab telah dilakukan oleh Alfred dkk (2016). Penelitian ini mempermasalahkan adanya kondisi *underheating* lingkungan yang mempengaruhi berkurangnya kenyamanan termal di dataran tinggi terutama di rumah tradisional Niang. Penelitian dilakukan dengan evaluasi pengaruh desain rumah Niang (dengan penggunaan material *lightweight* yang masih sangat umum digunakan) dengan tingkat kinerja termal. Untuk konteks di daerah Ranupane, penggunaan material *lightweight* mulai ditinggalkan, dan masyarakat mulai menggunakan material bata (*heavyweight*) atau kombinasi antara kayu dan batako untuk dindingnya. Sedangkan pada bagian atapnya menggunakan atap genteng tanah liat atau asbes.

Setelah melihat beberapa penelitian-penelitian di atas maka dapat disimpulkan bahwa penelitian tentang kinerja termal khususnya yang berkaitan dengan material selubung bangunan di dataran tinggi tropis sudah pernah dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Namun, penelitian-penelitian tersebut

masih mengevaluasi dan membandingkan hasil penerapan strategi kinerja termal yang paling baik terutama kinerja termal bangunan tradisional. Sehingga, dari penelitian-penelitian tersebut dapat diambil peluang untuk dilakukan penelitian lanjutan yang dapat menambah atau memperkaya keilmuan terkait kinerja termal di dataran tinggi tropis dengan cara melakukan optimasi terutama pada bangunan rumah tinggal di daerah pelosok yang sudah memiliki perubahan penggunaan material dan bentuk bangunan lebih modern. Hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Sukowiyono (2004) dalam penelitiannya bahwa masih adanya peluang untuk melakukan penelitian lebih lanjut di daerah dataran tinggi dengan menggunakan peralatan yang dapat mengukur semua elemen iklim yang sebenarnya dan melakukan simulasi untuk mendapatkan hasil yang optimal. Nugroho (2013) dalam penelitiannya juga berkesimpulan bahwa rumah tropis tradisional di Nusantara sudah berlangsung dengan cukup baik. Pengembangan penelitian strategi desain menahan panas pada saat siang hari dan melepaskannya pada saat malam hari dengan menggunakan optimasi beberapa material termasuk material bambu sebagai insulasinya, dapat dijadikan ide berkelanjutan arsitektur tropis di dataran tinggi. Sehingga, penelitian ini difokuskan pada eksplorasi dan evaluasi kinerja termal rumah tinggal di daerah dataran tinggi Ranupane yang memiliki beberapa karakter tipologi bangunan dan penggunaan material yang berbeda (tradisional dan modern).

1.2 Perumusan Masalah dan Pertanyaan Penelitian

Pada umumnya di Indonesia dengan kondisi iklim tropis lembab, memiliki permasalahan berupa tingkat temperatur dan kelembaban udara yang tinggi. Sehingga dapat mempengaruhi proses metabolisme manusia untuk mengeluarkan kalor walaupun tidak sedang melakukan pekerjaan atau aktivitas (Karyono, 2016). Namun berbeda dengan permasalahan di Desa Ranupane yang terletak di dataran tinggi pegunungan tropis lembab. Sebagaimana yang telah dijelaskan di awal, bahwa di daerah Ranupane memiliki permasalahan tersendiri berupa kondisi *cold discomfort* atau *underheating* hampir sepanjang hari terutama pada malam hingga pagi hari. Meskipun rumah di daerah Ranupane saat ini sudah mulai berganti yang awalnya menggunakan kombinasi material *lightweight* (kayu) dan *heavyweight*

(bata merah). Saat ini masyarakat Ranupane dan sekitarnya sudah mulai beralih menggunakan material modern berupa material dinding bata merah atau batako. Namun meskipun sudah berganti dengan material *heavy weight*, struktur material yang dipakai belum mampu menyimpan panas yang diperoleh pada siang hari lebih lama untuk dilepaskan pada malam hari. Sehingga solusi yang dipakai oleh masyarakat Ranupane adalah dengan menambahkan perapian di dalam bangunan. Akan tetapi hal ini menjadi lambat laun menjadi permasalahan tersendiri, yaitu semakin maraknya masyarakat mengambil kayu dari hutan lindung yang mengakibatkan terancamnya ekosistem TNBTS. Oleh karena itu saat ini penggunaan kayu untuk perapian telah dibatasi oleh pihak pengelola Taman Nasional Bromo Tengger Semeru. Sehingga ke depannya perlu solusi untuk merespon permasalahan peningkatan kinerja termal pada rumah tinggal di daerah pegunungan dengan pengurangan penggunaan kayu sebagai perapian atau material bangunan.

Dari uraian permasalahan penelitian di atas, maka diajukan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja termal bangunan rumah tinggal di daerah dataran tinggi tropis lembab dengan pengaruh tipologi dan material selubung bangunan di Desa Ranupane?
2. Bagaimana optimasi penggunaan insulasi dan material bangunan rumah tinggal untuk meningkatkan kinerja termal di dataran tinggi tropis lembab di Desa Ranupane?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dan mengevaluasi kinerja termal material selubung bangunan rumah tinggal di daerah dataran tinggi tropis lembab di Desa Ranupane.
2. Melakukan optimasi kinerja termal bangunan rumah tinggal di daerah dataran tinggi tropis lembab dalam mencapai peningkatan kenyamanan termal terutama penggunaan insulasi dan material bangunan di Desa Ranupane.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam ilmu arsitektur lingkungan khususnya berhubungan dengan teori kinerja termal dan material bangunan, khususnya di daerah dataran tinggi yang beriklim tropis lembab. Di samping itu, penelitian ini melihat peran penghuni terhadap pencapaian kenyamanan termal yang menjadi sangat penting untuk memperkaya teori kenyamanan termal dalam konteks lingkungan tertentu.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini penting bagi para perancang dan perencana untuk memahami bagaimana bangunan lokal di daerah dataran tinggi merespon kondisi iklim dengan berbagai cara dan salah satunya adalah penggunaan material selubung bangunan. Hal ini menjadi sangat penting bahwa material selubung bangunan dapat berperan penting dalam mencapai kenyamanan termal penghuni.

1.5 Batasan Penelitian

1. Penelitian dilakukan pada rumah tinggal di Desa Ranupane yang terletak di dataran tinggi berkontur rendah.
2. Tipologi bangunan yang akan diteliti mencakup bangunan rumah tinggal masa kini yang menggunakan material modern.
3. Optimasi kinerja termal dalam mencapai peningkatan kenyamanan termal dilakukan fokus pada material selubung bangunan yaitu, dinding dan atap.
4. Waktu penelitian difokuskan pada saat kondisi temperatur rendah, yaitu pada waktu malam hingga pagi hari.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Rumah Tinggal Tropis Lembab dan Material Bangunan

Arsitektur atau bangunan rumah tinggal di Indonesia saat ini banyak didasari dari bentuk arsitektur Nusantara. Dimana Arsitektur Nusantara merupakan bangunan rakyat yang terbentuk dari kebiasaan masyarakat, adat-istiadat, serta pengaruh kondisi alam dalam rentang waktu tertentu (Idham, 2016). Arsitektur Nusantara sendiri identik dengan Arsitektur Tropis, dimana dalam Arsitektur Tropis memiliki solusi terhadap permasalahan iklim dilingkungannya berada. Nugroho (2018) menyebutkan rumah tinggal tropis yang tanggap terhadap iklim setempat memiliki ciri: 1) tepat dalam memilih tapak sebagai posisi rumah tinggal; 2) penggunaan selubung bangunan yang selaras terhadap kondisi iklim dengan elemen bepori atau lebih dikenal dengan istilah “bernafas”; 3) Hubungan antar ruang yang saling meneduhi; 4) pemanfaatan material alami seiring perubahan waktu; 5) kesederhanaan pengetahuan dalam beradaptasi terhadap lingkungan. Kelima poin di atas dalam penjabarannya memiliki tujuan hunian rumah tinggal yang selaras dan harmonis dengan lingkungan sekitar, sehingga dapat menghadirkan rumah tinggal yang nyaman dan menyenangkan.

Kondisi kenyamanan termal pada bangunan merupakan isu utama bagi rumah tinggal di daerah beriklim tropis lembab. Untuk itu diperlukan strategi-strategi penurunan temperatur di siang hari baik melalui cara aktif maupun pasif (Nugroho, 2018). Oleh karenanya banyak peneliti saat ini yang melakukan kajian terhadap bangunan rumah tinggal di Nusantara terkait dengan studi kenyamanan termal maupun kinerja termal pada bangunan (Utami, Handayani, 2014., Hermawan, dkk, 2014). Utami (2014) dalam penelitiannya mencoba mengetahui pengaruh elemen bangunan terhadap kenyamanan termal bagi penghuni rumah tinggal di Kalianget Madura. Dari penelitian tersebut menunjukkan terdapat beberapa variabel yang berperan dalam kenyamanan termal seperti jenis material yang digunakan dan orientasi bukaan elemen dari setiap bangunan. Berbeda dengan peneliti sebelumnya, Hermawan (2014) dalam penelitiannya ingin mengetahui perbedaan kinerja termal antara rumah tinggal berdinding bata dan

rumah tinggal berdinding kayu. Hasilnya tidak terlihat perbedaan yang cukup besar, yakni rumah tinggal dengan material dinding kayu memiliki kinerja termal lebih baik dari pada rumah tinggal berdinding bata. Dari beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan, bahwa studi tentang bangunan rumah tinggal di daerah tropis ini sangatlah menarik untuk terus dilakukan. Karena tidak hanya ditemukan sisi positif dari karakteristik bangunannya saja, tetapi juga ditemukan sisi negatif atau solusi yang kurang tepat dari bagian bangunan rumah tinggal itu sendiri.

Pemakaian material yang diaplikasikan pada arsitektur atau bangunan, bukan hanya memperhatikan aspek kekuatan dan aspek ekonomis saja. Akan tetapi juga perlu memperhatikan aspek keindahan, kenyamanan, fungsional, serta ketersediaan material tersebut di area setempat. Hal ini bertujuan supaya material yang dipakai pada bangunan dapat lebih bersahabat bagi penghuninya. Dengan menyesuaikan beberapa aspek di atas diharapkan penggunaan material yang sesuai dapat memberikan keuntungan terhadap kondisi iklim setempat. Untuk itu sebelum menentukan material apa yang akan di terapkan dalam desain, ada baiknya dilakukan proses pemilihan material terlebih dahulu. Dalam proses pemilihan material yang baik, harus dilakukan dengan cara pemetaan yang detil. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi, mengkategorikan, dan mendiskripsikan perbedaan aspek yang ada selama proses pemilihan material pada bangunan (Wastiels dan Wouters, 2009). Sehingga dengan didapatkannya informasi material yang spesifik, diharapkan arsitek atau desainer dapat memberikan masukan yang logis bagi klien atau penghuni suatu bangunan. Menurut Szokolay (2004), pada proses pemilihan material tidak hanya memperhatikan aspek *embodied energy* saja, akan tetapi juga perlu di perhatikan tentang dampak yang diakibatkan oleh penggunaan material itu sendiri. Untuk itu perlu di lakukan evaluasi terhadap material yang akan di gunakan, dengan cara melihat skor material pada sistem evaluasi. Salah satunya dapat menggunakan *building material assessment system* (BMAS), dimana sistem penilaian ini menggunakan 14 kriteria sebagaimana di tunjukkan pada Tabel 1. Cara penilaiannya menggunakan skala 0-5 pada setiap kriteria yang ada pada tabel tersebut. Skor 0 untuk material yang tidak

menimbulkan efek negatif dan skor 5 untuk material yang memiliki efek negatif yang besar.

Tabel 2.1 *Building Material Assessment System (BMAS)*

Group		Criteria	Weighting Grp.	
	1	Damage to the environment in the extraction of raw material	3	
	2	Extent of damage relative to the amount of material produced	2	
	3	Abundance of source or renewability of material	4	
	4	Recycled content	3	12
Manufacture	5	Solid and liquid wastes in manufacture and production	3	
	6	Air pollution in manufacture and production	4	
	7	Embodied energy (energy used for its production)	5	12
Construction	8	Energy used for the transportation to the site	3	
	9	Energy used on site for assembly and erection	1	
	10	On site waste, including packaging	2	6
In use	11	Maintenance required during life cycle	3	
	12	Environmental effects during life cycle (e.g. Toxic emissions)	3	6
Demolition	13	Energy use in and effects of demolition at end of life cycle	2	
	14	Recyclability of demolished material	4	6

Sumber: Szokolay, 2004

2.2 Iklim Dataran Tinggi Tropis Lembab

Zona iklim tropis lembab terletak diantara 23,5° Lintang Utara dan 23,5° Lintang Selatan. Memiliki temperatur udara yang cukup tinggi akibat dari radiasi matahari yang jatuh tegak lurus di atas permukaan bumi pada siang hari sepanjang tahun, yakni antara 27°C hingga 30°C dengan temperatur udara maksimum mencapai 36°C. Ditambah dengan kondisi permukaan air laut yang luas membuat terjadinya penguapan air yang tinggi. Sehingga membuat udara menjadi lembab yang berkisar antara 55% hingga 100% RH. Kondisi seperti ini sangat mempengaruhi perilaku kehidupan manusia tropis pada umumnya, dimana melakukan aktivitas yang tidak menyebabkan terjadinya produksi kalor dalam tubuh yang berlebihan. Hal ini bertujuan untuk mencapai kondisi tingkat kenyamanan termal.

Karyono (2016) membagi iklim dataran tinggi tropis menjadi dua, yakni iklim Dataran Tinggi Pegunungan dan iklim Gunung. Pembagian jenis iklim ini dibedakan karena kedua iklim memiliki temperatur udara rata-rata harian yang berbeda. Pada iklim dataran tinggi pegunungan temperatur udara rata-rata umumnya berkisar 26°C dengan temperatur maksimum antara 28°C hingga 30°C. Sedangkan pada iklim gunung temperatur udara rata-rata berkisar 23°C dengan temperatur minimal antara 10-13°C (Koeningsberger dkk, 1973). Bahkan di sebagian tempat bisa mencapai temperatur minus, seperti di daerah dataran tinggi Dieng dan dataran tinggi Tengger.

Secara umum iklim dataran tinggi tropis memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Terletak di area pegunungan dan plato dengan ketinggian di atas 700 mdpl,
- b. Temperatur udara rata-rata rendah berkisar 23-26°C di siang hari, bahkan bisa mencapai temperatur minus di subuh hari,
- c. Kelembaban udara antara 45-99% dan tekanan uap air di udara berkisar antara 800-1600 N/m³,
- d. Curah hujan rendah,
- e. Kondisi langit umumnya bersih dan sedikit berawan,
- f. Kecepatan angin sangat jarang mencapai lebih dari 15 m/s,
- g. Wilayah ini umumnya bertebing dengan kondisi kontur yang terjal, sehingga agak sulit untuk dijangkau,
- h. Biasanya akan terjadi pelepasan radiasi panas yang kuat di malam hari selama musim kering, sehingga dapat terbentuknya kabut tebal. Bahkan pada saat subuh hari dapat terbentuk kristal-kristal es.

Untuk mencapai kualitas tingkat kenyamanan termal yang baik di luar maupun di dalam bangunan, maka suatu bangunan perlu melakukan adaptasi terhadap kondisi lingkungan setempat (Evans, 1980). Sehingga akan mengurangi adaptasi penghuni terhadap penggunaan insulasi pakaian dan alat bantu demi tercapainya tingkat kenyamanan termal (Santosa, 1994). Pada intinya dalam merancang bangunan di daerah iklim tropis lembab khususnya daerah dataran

tinggi perlu melakukan strategi desain yang dapat meminimalkan panas di siang hari dan memaksimalkan panas di malam hari, pemilihan material yang tepat terutama terkait penyimpanan dan pelepasan termal pada waktu-waktu tertentu, kemudian mengendalikan sinar matahari dan sirkulasi udara sedemikian rupa sehingga dapat memberikan kenyamanan bagi penghuninya.

2.3 Kinerja Termal Pada Bangunan

Kinerja termal pada bangunan secara sederhana dapat disebut sebagai proses terjadinya perpindahan panas antara bangunan dan keadaan lingkungan sekitar. Dimana proses ini dapat menentukan estimasi seberapa besar *heating* dan *cooling load* pada suatu bangunan terjadi. Sehingga untuk keperluan bangunan yang terkondisikan, dapat dilakukan pemilihan jenis dan ukuran peralatan HVAC yang sesuai. Sedangkan untuk bangunan yang tidak terkondisikan, dapat diketahui temperatur udara *indoor* pada periode waktu tertentu. Dengan demikian akan mudah mencari periode durasi kenyamanan atau ketidaknyamanan termal dalam bangunan tersebut (Nayak dan Prajapati, 2006). Perpindahan panas pada bangunan memiliki keterkaitan terhadap beban panas yang masuk, dimana hal ini sangat dipengaruhi oleh kondisi *indoor* dan *outdoor* pada suatu bangunan. Pengaruh beban panas yang masuk ini didasari oleh pendekatan *steady state* pada macam-macam elemen bangunan seperti atap, dinding, bukaan, dan lainnya, dan juga pada estimasi total perpindahan panas rata-rata.

Kinerja termal pada bangunan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor di antara adalah elemen bangunan, material properti, data iklim, dan *internal heat gain* (Nayak, Prajapati, 2006). Faktor-faktor tersebut juga berpengaruh terhadap kondisi *steady state*, sebagaimana disebutkan diatas. Kondisi ini atau dalam keseimbangan termal dirumuskan dengan persamaan 2.1:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0 \quad (2.1)$$

Sehingga keseimbangan termal terjadi apabila jumlah dari rangkaian aliran panas (Q_i, Q_s, Q_c, Q_v, Q_m) yang masuk atau keluar dikurangi oleh proses pendinginan evaporasi (Q_e) maka hasilnya sama dengan 0.

Dimana:

Q_i : beban panas internal seperti penghuni, lampu, dan peralatan elektronik

Q_s : beban panas dari radiasi matahari

Q_c : beban panas yang masuk atau keluar melalui konduksi

Q_v : beban panas yang masuk atau keluar melalui konveksi

Q_m : beban panas yang masuk atau keluar melalui radiasi

Q_e : beban yang keluar melalui evaporasi

Maka apabila dari perhitungan dengan persamaan di atas hasilnya adalah negatif, maka temperatur udara dalam bangunan tersebut rendah. Sebaliknya, apabila hasilnya lebih positif, maka temperatur udara dalam bangunan tersebut meningkat.

2.3.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas terjadi apabila panas berpindah melalui satu sistem atau substansi menuju sistem atau substansi yang lain, dimana kedua sistem atau substansi tersebut melakukan kontak dan memiliki temperatur udara yang berbeda (Pohl, 2011). Sebagaimana air mengalir dari hulu ke hilir, maka panas pun mengalir dari temperatur udara yang tinggi menuju temperatur udara yang rendah. Panas dapat berpindah melalui beberapa cara yaitu konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi diantara ketiganya (Szokolay, 2008).

a. Konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan molekul panas pada tubuh atau benda secara langsung dari temperatur udara yang tinggi ke temperatur udara yang lebih rendah. Maksudnya adalah panas akan berpindah dalam suatu benda, jika terjadi perbedaan temperatur dari satu bagian ke bagian yang lain. Rata-rata intensitas penyebaran molekul panas tergantung dari jenis material yang di lalui. Karena setiap material memiliki konduktivitas termal yang berbeda-beda. Dalam suatu bangunan dapat dicontohkan dengan adanya perpindahan panas melalui

dinding, baik dari dalam ruangan atau dari luar ruangan. Penggunaan jenis dan ketebalan dinding tertentu dapat mempengaruhi kondisi termal yang ada dalam ruangan tersebut. Sehingga, penggunaan jenis material dinding dapat disesuaikan dengan kondisi iklim atau lingkungan setempat. Dasar perhitungan perpindahan panas secara konduksi ditunjukkan dalam persamaan 2.2:

$$Q_{conduction} = \frac{k A (T_h - T_c)}{L} \quad (2.2)$$

Dimana:

Q_c = Jumlah aliran panas (W)

K = Konduktifitas termal material (W/m-K)

A = Area (m²)

L = Thickness (m)

T_h = Temperatur udara permukaan panas (K)

T_c = Temperatur udara permukaan dingin (K)

Untuk dapat menentukan nilai perpindahan panas antara bagian dalam dan luar suatu komponen bangunan, maka perlu dihitung terlebih dahulu nilai resistensi (R) permukaan internal dan external serta nilai konduktivitas jumlah lapisan pada suatu material. Caranya yaitu dengan menghitung seberapa besar nilai U -Value-nya. Semakin rendah nilai U -Value suatu elemen material bangunan, maka semakin rendah panas yang mengalir melewati elemen material tersebut.

b. Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan panas melalui suatu material dalam bentuk fluida (cair atau gas) ke bentuk fluida lainnya (Pohl, 2011). Proses konveksi dapat terjadi pada area permukaan elemen bangunan atau material yang terekspos oleh udara pada temperatur udara yang berbeda. Perpindahan panas secara konveksi dirumuskan dalam persamaan 2.3:

$$Q_E = S_C (T_1 - T_2)^{5/4} \quad (2.3)$$

Dimana:

Q_E = Jumlah aliran panas secara konveksi (W)

S_c = Koefisien perpindahan panas secara konveksi

$S_c = 0.4$ untuk permukaan horizontal yang menghadap ke atas

$S_c = 0.3$ untuk permukaan vertikal

$S_c = 0.2$ untuk permukaan horizontal yang menghadap ke bawah

c. Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas dalam suatu substansi melalui elektro magnetik yang kemudian diserap oleh substansi yang lain, atau sederhanya perpindahan panas tanpa melalui zat perantara. Perpindahan panas secara radiasi terhadap suatu material memiliki intensitas yang berbeda-beda tergantung jenis material dan temperatur udaranya. Terdapat tiga cara untuk mengukur intensitas radiasi pada suatu material yaitu: *reflectance* (ρ), *absorbance* (α), dan *emittance* (ϵ) (Szokolay, 2008).

$$Q_R = E_e A(T_1 - T_2) \quad (2.4)$$

Dimana:

Q_R = Jumlah aliran panas secara radiasi (W)

A = Area Permukaan

E_e = Jumlah faktor yang dihitung dalam permukaan emisivitas yang terlibat

$T_1 - T_2$ = Perbedaan temperatur udara

2.3.2 Konduktivitas Termal Material

Konduktivitas termal material adalah kemampuan material dalam menyalurkan panas secara konduksi. Konduktivitas pada material dipengaruhi oleh banyak faktor di antara adalah kepadatan (*density*), kerenggangan (*porosity*), temperatur udara, dan kadar air pada material tersebut (Pohl, 2011). Material

dengan tingkat konduktivitas (k) yang rendah sangat cocok digunakan untuk insulasi pada selubung bangunan. Hal ini dikarenakan prosentase kandungan udara yang lebih banyak di dalamnya. Umumnya material dengan tingkat konduktivitas yang rendah masuk dalam kategori material berbahan ringan (*lightweight*). Sedangkan pada material dengan tingkat konduktivitas yang tinggi umumnya memiliki kepadatan atau kandungan air yang tinggi (*heavyweight*). Beberapa contoh nilai konduktivitas pada beberapa material seperti ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Thermal Properties of Material

	Conductivity (W/m K)	Density (Kg/m ³)
<i>Wall Material</i>		
Adobe block	1,25	2050
Concrete	1,40	2100
Glass	1,10	2500
Plywood	0,14	620
Timber Hardwood	0,15	680
<i>Roof & Floor Material</i>		
Asphalt	0,50	1700
Concrete slab	1,13	2000
Metal deck	50,00	7800
Tiles	0,84	1900

Sumber: Szokolay, 2004

2.3.3 Bentuk Bangunan

Berbeda dengan bentuk bangunan di daerah iklim tropis lembab pada umumnya yang berusaha untuk mengatasi *heat gain*, di daerah dataran tinggi tropis justru berusaha untuk mendapatkan paparan sinar matahari langsung masuk kedalam bangunan. Koenigsberger (1973) memberikan rekomendasi desain bentuk bangunan yang baik untuk daerah beriklim tropis pada umumnya sebagai berikut:

- a. Rencana desain bangunan haruslah cukup kompak, untuk mengurangi terjadinya *heat gain* di siang hari dan *heat loss* di malam hari.

- b. Orientasi bangunan memiliki peranan penting dalam terjadinya meningkatnya *solar heat gain*. Oleh karena itu bagian dinding yang panjang sebaiknya menghadap ke arah utara dan selatan. Bukaannya juga sebaiknya diletakkan di area ini, karena di area ini paling sedikit terkena paparan sinar matahari. Jendela paling baik berada di sisi timur, sedangkan jendela di sisi barat sebaiknya dihindari. Karena akan menyebabkan radiasi matahari yang berlebih masuk langsung ke dalam bangunan. Maka disisi barat sebaiknya menggunakan material selubung bangunan yang memiliki nilai *u-value* yang rendah.
- c. Untuk menanggulangi terjadinya *over heating* pada bangunan maka disarankan untuk dipasang *shading* yang memadai pada area jendela dan area aktivitas luar seperti pada bagian teras.

2.3.4 Material Selubung Bangunan di Daerah Dataran Tinggi Tropis

Menurut Syed dan Sons (2012), selubung bangunan adalah semua elemen material yang berada di bagian luar bangunan, dimana bertujuan untuk melindungi penghuni dari kondisi iklim di sekitar bangunan. Selubung bangunan juga tidak bisa lepas dari aspek sistem, komponen, jenis material, pengujian, dan metode konstruksi yang di rangkai dalam proses berurutan dan saling menunjang (Priatman, 1999). Sehingga dapat menghasilkan kinerja selubung bangunan yang dapat melindungi bangunan secara maksimal. Umumnya selubung bangunan terdiri dari dinding, lantai, atap, fenestrasi, dan pintu. Pemilihan jenis material selubung bangunan yang tepat di daerah iklim tertentu, dapat membantu meningkatkan kenyamanan termal bagi penghuni yang tinggal di dalamnya. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Sukowiyono (2004), mencari tingkat kenyamanan termal dengan membedakan jenis material selubung bangunannya. Hal ini dengan membedakan tipologi bangunan menjadi tiga jenis berdasarkan penggunaan material yaitu tertutup, terbuka, dan modern. Kemudian, dari tiga jenis tipologi bangunan ini dicari jenis bangunan manakah yang paling baik dalam menghasilkan tingkat kenyamanan termal bagi penghuninya.

Desain arsitektur yang baik adalah yang tanggap terhadap lingkungan sekitar. Apabila diperhatikan pada setiap daerah dengan jenis iklim tertentu, akan didapati bentuk selubung bangunan yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi iklimnya. Pada bangunan di daerah tropis lembab yang memiliki temperatur udara panas dan kelembaban tinggi disepanjang hari, cenderung memiliki bentuk selubung bangunan yang didesain untuk menghindari panas matahari langsung, serta memiliki banyak bukaan yang bersifat *cross ventilation* yang berfungsi untuk mengalirkan udara dari luar ke dalam bangunan (Koeningsberger dkk, 1974). Berbeda dengan bangunan tropis di dataran tinggi, dimana umumnya memiliki bentuk bangunan yang tertutup untuk menjaga temperatur udara didalam ruangan tetap tinggi khususnya di malam hari. Bahan material selubung bangunanpun dibuat tebal yang berfungsi untuk menahan dan menyimpan panas di siang hari kemudian melepaskannya di malam hari (Nugroho, 2018). Hermawan, dkk (2020) melakukan penelitian tentang perbandingan kinerja termal selubung bangunan pada rumah vernacular di dataran tinggi tropis Wonosobo. Hasilnya ditemukan bahwa rumah vernakular dengan material dinding bata merah lebih hangat dari pada rumah vernacular dengan material kayu. Berikut adalah sejumlah langkah pemilihan material selubung bangunan yang dapat dijadikan acuan dalam mengatasi kondisi iklim di daerah dataran tinggi tropis:

- a. Pada bagian selubung bangunan disarankan dipasang struktur material yang memiliki kapasitas termal yang tinggi dengan *time lag* 8 jam. Hal ini berfungsi untuk membatasi radiasi matahari masuk ke dalam bangunan secara berlebihan pada jam-jam tertentu. Selain itu juga berfungsi untuk menyimpan panas di dalam selubung bangunan untuk kemudian dilepaskan kembali kedalam bangunan pada saat malam hari. Dimana pada malam hari penghuni banyak beraktivitas di dalam bangunan dan menjelang jam tidur (Koenigsberger, 1973).
- b. Pada bagian permukaan atap perlu mendapat perhatian yang lebih, karena pada bagian ini hampir sepanjang hari terpapar oleh sinar matahari. Dengan memanfaatkan penggunaan material yang dapat menyerap dan menyimpan panas yang kemudian dilepas pada saat malam hari, akan

sangat menguntungkan sekali bagi penghuni pada malam hari. Namun perlu dilakukan perlakuan khusus seperti memberikan lapisan tambahan seperti *aluminium foil* agar tidak menyebabkan panas yang berlebih pada saat siang hari (Koenigsberger, 1973).

2.3.5 Internal Heat Gain

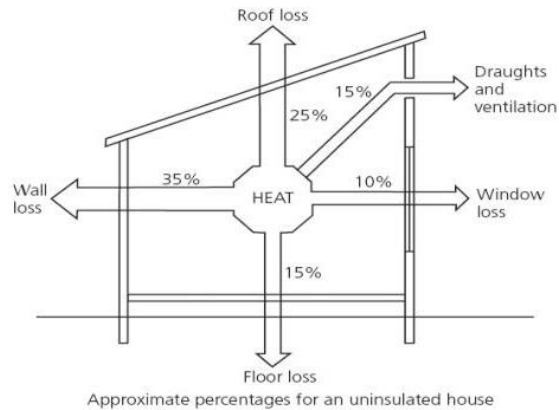
Internal Heat Gain dapat disebabkan oleh panas yang dihasilkan oleh tubuh manusia, lampu elektrik, dan peralatan-peralatan yang ada di dalam bangunan (Elsland, R. P. dan Wietschel, M., 2014). Lampu elektrik dan peralatan-peralatan rumah tangga yang mengeluarkan panas biasa disebut dengan *sensible heat*, sedangkan panas yang di keluarkan oleh tubuh manusia disebut *metabolic heat*. Dimana panas yang di hasilkan merupakan kombinasi antara beban sensibel dan beban laten (Pohl, 2011). Berikut adalah faktor yang mempengaruhi input beban internal:

- a. **Lampu:** besaran watt, jenis lampu, jadwal penyalaan, dan aliran udara di sekitar fixture lampu.
- b. **Penghuni:** jumlah penghuni, jenis aktivitas, lama tinggal di dalam ruangan, jadwal tinggal di dalam ruangan. Beban panas yang di hasilkan oleh manusia mulai dari 70-80watt dalam keadaan tidur hingga lebih dari 1000watt untuk aktivitas berat seperti atlit.
- c. **Peralatan:** lokasi di pakainya peralatan, jadwal penggunaan, konsumsi daya, dll.

2.3.6 Heat Loss

Heat loss terjadi akibat perpindahan panas yang ada di dalam bangunan keluar melalui selubung bangunan. Terjadinya *heat loss* dapat melalui konveksi, konduksi, radiasi, *mass transfer* atau kombinasi diantara semuanya. Salah satu penyebab terjadinya *heat loss* adalah kondisi temperatur udara luar yang sangat rendah dari pada temperatur udara di dalam bangunan serta insulasi termal yang buruk pada selubung bangunan. Semakin rendah temperatur udara luar dan semakin buruknya insulasi termal maka kemungkinan terjadinya *heat loss* akan semakin besar. Sebagaimana yang diilustrasikan pada gambar 2.1 dibawah yang

menggambarkan bangunan dengan insulasi buruk di UK sebelum tahun 1960an (McMullan, 1998).



Gambar 2.1 *Heat loss* pada bangunan (Sumber: McMullan, 1998)

Beberapa faktor penting yang dapat mengakibatkan terjadinya *heat loss* adalah sebagai berikut:

a. Insulasi Selubung Bangunan

Heat loss pada bangunan akan berkurang seiring peningkatan penggunaan insulasi eksternal pada bangunan. Maka penggunaan material insulasi yang baik sangat perlu dipertimbangkan, karena hal ini terkait pada penghematan energi pada bangunan.

b. Area Terekspos pada Selubung Bangunan

Semakin besar area permukaan eksternal, maka akan semakin besar terjadi *heat loss* pada bangunan.

c. Perbedaan Antara Temperatur Udara Dalam dan Temperatur Udara Luar

Perbedaan temperatur dalam dan luar juga meningkatkan terjadinya *heat loss*, dimana perbedaan temperatur ini terjadi melalui konduksi dan ventilasi.

d. *Air Change Rate*

Pergantian udara yang terjadi pada bangunan secara tidak langsung akan membawa sebagian udara panas dari dalam ke luar bangunan. Sehingga udara panas yang keluar harus digantikan dengan udara yang baru, dimana udara baru ini biasanya bertemperatur rendah. Terjadinya *air change* pada bangunan ini

biasanya dikarenakan oleh infiltrasi atau kebocoran celah pada selubung bangunan.

e. Terekspos Iklim Eksternal

Iklim eksternal yang dapat mengakibatkan terjadinya heat loss salah satunya adalah angin. Angin yang bertiup atau mengalir pada permukaan dinding dan atap bangunan, akan berefek meningkatkan perpindahan panas pada elemen bangunan tersebut. Efek ini akan berkurang apabila suatu bangunan ternaungi oleh pohon atau bangunan yang lain.

2.4 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap keadaan termal di sekitarnya (ASHRAE Standard 55-20 13). Dalam standar ISO 7730-2005 menyatakan bahwa sensai termal bergantung pada keseimbangan termal pada tubuh manusia secara keseluruhan. Dimana keseimbangan termal ini dipengaruhi oleh empat faktor iklim yaitu temperatur udara, temperatur radiasi, kelembaban udara, dan kecepatan udara, serta dua faktor fisik yaitu jenis aktivitas manusia yang berkaitan dengan metabolisme tubuh dan jenis pakaian yang dipakai. Sedangkan Karyono (2016) menyatakan bahwa tingkat kenyamanan manusia berkaitan dengan temperatur udara rata-rata di mana manusia itu tinggal. Bagi manusia yang tinggal di daerah iklim dingin dengan temperatur udara rata-rata rendah, maka mereka akan merasa nyaman pada temperatur udara rendah pula. Dan berlaku juga sebaliknya bagi manusia yang tinggal di daerah beriklim tropis lembab. Hal ini didukung pula oleh pernyataan Lippsmeier (1994), bahwa perbedaan batas kenyamanan termal selain tergantung pada kondisi fisik individu manusia, juga tergantung pada lokasi geografis daerah yang diteliti seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Batas kenyamanan manusia

Pengarang	Tempat	Kelompok Manusia	Batas Kenyamanan
ASHRAE	USA Selatan (30oLU)	Peneliti	20,5°C - 24,5°C TE
Rao	Calcutta (22oLU)	India	20°C - 24,5°C TE
Webb	Singapura	Malaysia	25°C - 27°C TE
	Khatulistiwa	Cina	
Mom	Jakarta(6oLS)	Indonesia	20°C - 26°C TE
Ellis	Singapura	Eropa	22°C - 26°C TE
	Khatulistiwa		

Sumber: Lippsmeier, 1994

Beberapa penelitian yang melakukan studi kenyamanan termal di antara adalah Natarajan (2015), Latifa (2013), dan Mirahimi (2014). Karena standar internasional kenyamanan termal saat ini hanya berfokus pada negara-negara Eropa, Amerika Utara, Asia, dan Australia. Natarajan (2015) mencoba mencari dan mengembangkan serta membandingkan data standar kenyamanan termal mana yang paling cocok untuk diterapkan di daerah beriklim subtropis khusus di Bogota Colombia. Latifa (2013) dalam penelitiannya berusaha mengetahui dan memahami tingkat kenyamanan termal pada gedung Student Center ITENAS Bandung terhadap aktivitas mahasiswa yang ada di dalamnya. Hasilnya tingkat kenyamanan termal pada gedung tersebut sangat dipengaruhi oleh desain bukaan udara yang mengalirkan udara ke dalam bangunan. Sedangkan dalam penelitian Mirahimi (2014) ditemukan bahwa parameter yang paling penting dalam menentukan tingkat kenyamanan termal adalah terletak pada desain selubung bangunan. Karena desain selubung bangunan selain berpengaruh terhadap dampak efisiensi energi, juga berdampak pada kualitas udara yang masuk kedalam bangunan.

2.4.1 Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal

Terdapat banyak variabel yang berkaitan dengan terbentuknya kenyamanan termal, seperti aktivitas, temperatur udara, kelembaban, radiasi, pakaian, bentuk tubuh, dan lain-lain. Semua variabel tersebut dapat di kelompokkan menjadi tiga, yakni lingkungan, personal, dan faktor kontribusi (Szokolay, 2004).

a. Faktor Lingkungan

- *Temperatur udara*

Temperatur udara adalah salah satu faktor yang paling dominan, karena sebagai penentu berkurangnya panas.

- *Kecepatan Angin*

Angin dapat mempercepat laju pergerakan udara secara horizontal pada ketinggian dua meter di atas tanah. Kecepatan angin juga dapat membantu meningkatkan penguapan dari permukaan kulit, sehingga memberikan efek

dingin. Berikut ini adalah tingkat reaksi manusia terhadap kecepatan pergerakan angin:

- *Radiasi*

Radiasi termal yang di hasilkan oleh objek yang hangat atau panas. Pada sisi luar bangunan radiasi dapat bersumber dari matahari, dan pada sisi dalam bangunan radiasi dapat disebabkan oleh benda sekitar seperti kipas angin, kulkas, tv, dan lainnya.

Tabel 2.4 Reaksi manusia terhadap kecepatan angin

< 0,25 m/s	Tdk disadari
to 0,5	Nyaman
to 1	Disadari
to 1,5	Banyak angin
> 1,5	Mengganggu

Sumber: Szokolay, 1987

- *Kelembaban*

Kelembaban yang sedang (RH 30%-65%) tidak memiliki dampak yang cukup signifikan, namun kelembaban yang tinggi dapat membatasi penguapan panas tubuh dari kulit dan sistem pernafasan. Sehingga dapat mengakibatkan mulut dan tenggorokan menjadi kering yang menjadikan perasaan tidak nyaman.

b. Faktor Personal atau Psikologis

- *Metabolisme*

Metabolisme erat kaitannya dengan aktifitas manusia sehari-hari. Semakin banyak kita beraktifitas semakin banyak pula tubuh akan memproduksi panas. Produksi panas dalam tubuh dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *basal metabolisme* dimana panas diproduksi secara vegetatif atau proses alami dalam tubuh secara berkelanjutan, dan *muscular metabolisme* dimana panas di produksi akibat dari kerja otot yang dipakai melakukan kegiatan berat atau ringan (Koenigsberger, 1973). Nilai metabolisme (M) manusia berbeda-beda tergantung pada setiap individunya, namun umumnya dalam kondisi istirahat rata-rata dimulai dari nilai 45 W/m² pada permukaan kulit

(0,8 met) hingga lebih dari 500 W/m² (~9 met) pada saat lari (Olesen, 1982).

- *Pakaian*

Pakaian adalah insulasi termal bagi tubuh. Pada daerah beriklim tropis lembab seperti di Indonesia saat ini, perbedaan temperatur pada musim panas dan musim hujan tidak terpaut jauh. Akan tetapi perbedaan temperatur tersebut akan terasa antara daerah dataran tinggi dan dataran rendah. Di daerah dataran tinggi manusia akan cenderung memakai pakaian yang lebih tebal dan di daerah dataran rendah manusia akan memakai pakaian lebih tipis. Insulasi pakaian di ukur dengan menggunakan satuan *clo*. 1 *clo* sama dengan orang memakai 3 helai pakaian lengkap (celana panjang, kemeja lengan panjang, sweater lengan panjang) ditambah dengan pakaian dalam.

- *Aklimatisasi*

Adalah proses penyesuaian tubuh atau adaptasi pada kondisi lingkungan baru yang akan di tempati. Tubuh manusia umumnya akan melakukan penyesuaian terhadap kondisi lingkungan baru dalam jangka waktu 30 hari, dan dalam masa itu proses perubahan peningkatan termal pada tubuh akan terjadi (Koenigsberger, 1973).

- *Makanan dan Minuman*

Dua faktor ini memiliki efek metabolisme yang berbeda-beda berdasarkan pola makan manusia di setiap daerah.

- *Bentuk Tubuh*

Rasio volume permukaan tubuh juga dapat mempengaruhi produksi panas dalam tubuh. Manusia bertubuh kurus dan tinggi cenderung akan lebih cepat tidak merasa kepanasan dalam tubuhnya, juga dapat mudah mentoleransi temperatur yang hangat dari pada manusia yang bertubuh gemuk.

- *Umur dan Jenis Kelamin*

Perbedaan umur sebenarnya tidak begitu banyak menyebabkan perbedaan temperatur. Akan tetapi mungkin karena orang tua memiliki metabolisme yang lebih lambat dari pada orang muda. Sehingga orang tua cenderung

memiliki temperatur tubuh lebih tinggi. Wanita juga memiliki metabolisme lebih lambat dari pada laki-laki, dengan perbedaan sekitar 1°C lebih tinggi.

2.4.2 Temperatur Netral (T_n)

Temperatur netral merupakan kondisi dimana sensasi termal pada manusia merasakan tidak dingin ataupun tidak panas. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Karyono (2001), bahwa kondisi temperatur netral terjadi apabila nilai sensasi termal (*comfort vote*) berada pada nilai 0. Temperatur netral juga sering diinterpretasikan sebagai temperatur nyaman. Akan tetapi suatu ruang atau area yang berada pada kondisi temperatur netral, tidak menjamin penghuni atau orang yang menempati tempat tersebut merasakan sensasi yang nyaman (Shahzad dkk, 2018). Hal tersebut dikarenakan setiap penghuni memiliki tingkat atau sensasi kenyamanan termal yang berbeda-beda. Meski demikian penggunaan sensasi temperatur netral masih sering kali digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal. Sebagai contoh, Fanger (dalam Karyono, 2016: 45) dalam penelitiannya memperkenalkan formula PMV (*Predicted Mean Vote*) yang dapat mengukur tingkat kenyamanan termal dengan menggunakan temperatur netral. Dalam penilaian menggunakan PMV, suatu kondisi dinyatakan nyaman apabila nilai PMV berkisar antara -0,5 hingga +0,5. Zainazlan (2007) dalam penelitiannya juga melakukan perhitungan temperatur netral di Malaysia untuk meneliti tingkat kenyamanan termal bangunan rumah tinggal di sana. Hasilnya nilai temperatur netral untuk rumah tinggal di Malaysia berada pada titik 26,19°C, sehingga pendinginan di bawah temperatur tersebut tidak disarankan.

Humphreys (1992) memperkenalkan formula untuk temperatur netral dimana temperatur nyaman memiliki hubungan dengan temperatur bulanan rata-rata pada suatu tempat.

$$T_n = 11.9 + 0.534T_m \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.5)$$

Dimana T_n adalah temperatur netral atau nyaman, sedangkan T_m merupakan temperatur bulanan rata-rata. Dari hasil temuan dengan membandingkan beberapa penelitian yang dilakukan di daerah tropis lembab, Karyono (2016) menyimpulkan bahwa penggunaan formula temperatur netral yang diperkenalkan

oleh Humphreys umumnya lebih mudah dan mendekati angka nyata dibandingkan dengan formula yang di pakai oleh Fanger. Menurut Ossen dkk (2008) hasil dari perhitungan untuk menentukan rentang zona kenyamanan termal dapat meluas hingga $\pm 2-3$ K.

2.4.3 Degree Days or Degree Hours

Degree days atau *degree hours* merupakan akumulasi nilai selisih dari temperatur rata-rata di dalam ruangan dengan temperatur nyaman selama 24 jam. Perhitungan ini berdasarkan dari kondisi temperatur di dalam ruangan yang konstan selama masa musim panas atau dingin (Bolattürk, 2007). Dalam definisi lainnya, *heating* dan *cooling degree hours* (HDH/CDH) dapat diartikan sebagai jumlah dari perbedaan antara temperatur rata-rata perjam dan temperatur dasar (Assawamartbunlue, 2013). Perhitungan *cooling degree hours* (CDH) dan *heating degree hours* (HDH) dapat dihitung dengan persamaan 2.6 dan 2.7:

$$CDH_b = \sum_{i=1}^N (T_i - T_b)^+ \quad (2.6)$$

$$HDH_b = \sum_{i=1}^N (T_b - T_i)^+ \quad (2.7)$$

Dimana N adalah jumlah jam (*hours*) dalam sehari, T_b adalah temperature dasar, dan T_i adalah temperature rata-rata perjam. Sedangkan tanda *superscript* “+” menunjukkan hanya nilai positif dari jumlah dalam tanda kurung (“...”) yang diperhitungkan dalam penjumlahan.

Dalam penelitiannya, Coskun (2010) mengusulkan pendekatan baru untuk melakukan estimasi terhadap distribusi kepadatan probabilitas di luar ruangan. Dengan cara menghitung distribusi probabilitas temperatur dan waktu yang telah berlalu selama per satu bulan untuk setiap interval temperature 1°C. Data yang digunakan merupakan data temperatur luar ruangan per jam selama 31 tahun terakhir yang tercatat di layanan meteorology negara Turki. Data tersebut kemudian diolah dan dianalisis dalam program computer menggunakan *Visual*

Basic data base. Octay (2011) dalam penelitian lainnya juga mencoba mengusulkan metode baru dalam melakukan estimasi bulanan terkait *temperature trends* dan *cooling degree hours*. Metode tersebut dengan menggunakan parameter baru yaitu *the dimensionless temperature variation coefficient (Z)*. Dalam prosesnya mengambil data dari 58 kota di negara Turki yang kemudian di bandingkan dengan hasil dari penelitiannya. Dari hasil penelitiannya diharapkan dengan metode baru tersebut dapat bermanfaat untuk memprediksi penggunaan nilai *degree hours* untuk kebutuhan *cooling energy* pada operasional gedung selama paruh waktu atau 24 jam.

Penelitian yang disebutkan di atas merupakan rekomendasi atau usulan metode dalam menghitung *degree hours* di suatu daerah. Dalam konteks penelitian di Desa Ranupane, metode kalkulasi *degree hours* perlu dilakukan untuk melihat seberapa besar perbedaan atau selisih *under heating* dan *over heating* pada saat proses penelitian. Dimana hal ini akan membantu peneliti untuk mengetahui berapa banyak nilai *under heating* atau *over heating* yang perlu dikurangi hingga mencapai ambang batas bawah temperatur netral.

2.5 Sintesis Kajian Pustaka

Pada penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bangunan rumah tinggal di daerah tropis lembab masih sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut dan mendalam. Hal ini didukung dengan masih banyaknya Arsitektur Tropis yang tersebar di Nusantara saat ini. Dari beberapa penelitian kinerja termal pada bangunan rumah tinggal yang telah disebutkan di atas (Natarajan (2015), Latifa (2013), Mirahimi (2014)), menunjukkan terdapat beberapa variabel yang memiliki peran penting dalam mempengaruhi kinerja termal pada bangunan. Nayak dan Prajapati (2006) menyebutkan beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja termal pada bangunan adalah elemen selubung bangunan, material properti, data iklim, dan *internal heat gain*. Sedangkan teori yang perkenalkan oleh Fanger (dalam Karyono, 2016), terdapat 4 faktor fisik yang dapat mempengaruhi tingkat kenyamanan termal yaitu faktor iklim, temperatur udara, temperatur radiasi, kelembaban udara, dan kecepatan angin, serta terdapat 2

faktor individu tambahan yaitu jenis aktivitas yang mempengaruhi metabolisme tubuh (met) dan jenis pakaian (clo) yang dikenakan.

Penelitian ini berlokasi di dataran tinggi tropis lembab di Desa Ranupane, dimana permasalahan termal yang terjadi di daerah dataran tinggi tropis lembab adalah kondisi *underheating* sepanjang hari. Sehingga perlu strategi khusus untuk memaksimalkan panas di siang hari dan meminimalkan terjadinya *heat loss* pada struktur material selubung bangunan di malam hari. Dalam penelitian ini akan berfokus pada investigasi kinerja termal material selubung bangunan terhadap kondisi permasalahan *thermal discomfort* yang terjadi khususnya pada malam hingga pagi hari. Nugroho (2018), menyarankan untuk material selubung bangunan di daerah dataran tinggi tropis menggunakan material yang tebal guna menahan dan menyimpan panas di siang hari untuk kemudian dilepaskan pada malam hari. Pada bagian selubung bangunan diusahakan memakai material dengan kapasitas termal yang tinggi dengan nilai time lag minimal 8 jam (Koenigsberger, 1973). Terutama pada bagian atap, karena pada area ini hampir terpapar oleh sinar matahari sepanjang hari.

Dalam proses penelitian kinerja termal, umumnya pencapaian kenyamanan termal menjadi salah satu patokan untuk keberhasilan penelitian tersebut. Sehingga dalam penelitian kinerja termal perlu untuk mengetahui *range* temperatur netral pada suatu daerah tertentu. Temperatur netral juga sering diinterpretasikan sebagai temperatur nyaman, akan tetapi hal tersebut bukan suatu jaminan penghuni selalu merasakan sensasi nyaman (Shahzad dkk, 2018). Hal ini disebabkan karena setiap penghuni memiliki tingkat sensasi kenyamanan termal dan metabolisme tubuh yang berbeda-beda. Sehingga dalam penelitian ini juga akan mencari tingkat ambang batas dan ambang bawah temperatur netral Desa Ranupane dengan cara simulasi. Sehingga hasil dari simulasi penelitian dapat dibandingkan dengan kondisi temperatur netral yang telah didapatkan.

Dalam penelitian kinerja termal bangunan, periode tingkat kenyamanan termal juga perlu untuk diketahui. Yaitu dengan cara perhitungan *heating* atau *cooling degree hours (HDH/CDH)*. Beberapa penelitian merekomendasikan perhitungan degree hours secara manual di antara dilakukan oleh Coskun (2010) dan Octay (2011). Dalam penelitian ini perhitungan *degree hours* perlu dilakukan

untuk melihat seberapa besar perbedaan selisih terutama *under heating* yang terjadi pada bangunan di daerah Ranupane. Untuk melihat selisih *under heating* tersebut data yang diambil didapatkan dari simulasi ARCHIPAK 5.1, yang kemudian diolah dalam aplikasi Excel.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Paradigma Penelitian

Paradigma yang dipakai dalam penelitian ini adalah paradigma *positivism*. Seperti yang dijelaskan oleh Groat dan Wang (2013), penelitian *positivism* memiliki karakteristik dimana semua realitas yang ada dapat diungkap secara realistis dan objektif. Sedangkan objectivitas itu sendiri hanya dapat tercapai dengan proses penelitian seperti perhitungan, pengukuran dan lain-lain. Menurut Neuman (1997), bahwa paradigma ini memiliki metode yang terorganisir untuk memperoleh atau menemukan konfirmasi mengenai hubungan sebab akibat yang umumnya dipergunakan untuk memprediksi pola-pola umum suatu gejala dari aktivitas manusia. Dalam paradigma *positivism*, peneliti didalamnya haruslah bersifat objektif sebagai realitas eksternal dimana peneliti harus menjaga jarak dengan objek penelitian.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode kuantitatif, dimana metode ini dalam prosesnya terdiri dari mengumpulkan dan menganalisis data, menyajikan hasil, membuat interpretasi, dan menulis penelitian secara konsisten dengan survei atau studi ekperimental (Creswell, 2009). Secara terminologi, sederhananya metode kuantitatif tergantung pada manipulasi dari fenomena yang dapat diukur dengan beberapa instrumen atau dengan angka (Groat dan Wang, 2013). Bentuk metode penelitian kuantitatif dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan identifikasi awal berupa pengumpulan data dari survei pengukuran lapangan seperti, dimensi bangunan, temperatur udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin. Selanjutnya setelah mendapatkan data dari hasil identifikasi awal, hasil observasi dan survei lapangan nantinya di ambil data untuk dijadikan variabel dalam simulasi dan optimasi menggunakan program komputer.

Saat ini dengan adanya perkembangan program komputer yang semakin baik, sangat membantu dan memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian.

Program yang dapat dipakai untuk melakukan simulasi terkait termal adalah dengan menggunakan program ARCHIPAK 5.1. Beberapa penelitian yang menggunakan program ARCHIPAK 5.1 sebagai alat simulasi adalah penelitian yang dilakukan oleh Alfred (2018) dan Rabah (2003). Dalam penelitiannya program Archipak digunakan oleh Alfred (2018) untuk mencari pengaruh variable bebas berupa bentuk, elemen, dan material bangunan rumah Niang terhadap variable terikat berupa kenyamanan termal di daerah dataran tinggi. Dimana hasil dari simulasi menunjukkan bahwa desain rumah Niang masih belum dapat memberikan kenyamanan termal yang memadai bagi penghuninya. Sedangkan Rabah (2003) dalam penelitiannya membuat pedoman pra desain dalam penggunaan *passive solar energy* untuk mendapatkan kenyamanan *indoor* serta kualitas kesehatan dan produktifitas penghuni dalam suatu bangunan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rabah (2003), ARCHIPAK 5.1 digunakan untuk mencari tingkat kenyamanan dengan membandingkan beberapa bangunan yang telah menggunakan spesifikasi desain yang sudah ada sesuai kondisi iklim Kenya. Dari simulasi ini dihasilkan spesifikasi desain arsitektur yang lebih detail dan akurat untuk dijadikan pedoman bangunan di daerah setempat.

3.3 Definisi Variabel dan Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini variabel di tetapkan menjadi tiga, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya, sedangkan variabel terikat adalah variabel yang di pengaruhi oleh variabel bebas sekaligus menjadi variabel yang diamati. Dan yang ke tiga variabel kontrol adalah variabel yang dibuat konstan atau sebagai batasan, sehingga hubungan variabel kontrol terhadap variabel terikat tidak terpengaruh oleh faktor dari luar yang tidak masuk dalam objek penelitian.

a. Variabel Bebas

- Material selubung bangunan

Material selubung bangunan merupakan komponen bangunan yang menyelimuti bagian dalam bangunan dari lingkungan luar sekitar. Sehingga bagian dalam bangunan dapat terlindung dari pengaruh lingkungan luar yang tidak dikehendaki seperti panas, hujan, angin, polusi, dll (PERGUB

38, 2012). Setiap daerah tertentu umumnya memiliki bentuk bangunan dengan karakteristik material yang berbeda-beda sesuai dengan iklim yang ada. Hal ini dikarenakan material bangunan memiliki pengaruh terhadap kondisi termal ruang di dalam bangunan. Dalam kasus bangunan yang berada di daerah dataran tinggi tropis atau beriklim dingin, dimana keadaan *heat loss* sangat perlu dihindari. Maka material yang dipakai biasanya memiliki karakteristik berat dan tebal dengan nilai *time lag* 8 jam dengan penambahan insulasi didalamnya (Koenigsberger 1973).

- Elemen selubung bangunan (dinding, bukaan, dan atap)
- Sistem bukaan memiliki kontribusi dalam menciptakan efek kenyamanan termal berupa terjadinya sirkulasi udara di dalam bangunan. Yang termasuk sistem bukaan bukan hanya jendela tapi juga pintu dan kisi-kisi. Namun umumnya yang memiliki efek paling besar dalam sistem bukaan adalah jendela. Sebagaimana diutarakan oleh Evans (1980), jendela memiliki efek paling penting dalam terjadinya kondisi *internal thermal environment*. Pengukuran pada bukaan ditentukan dengan nilai luasan *inlet* dan *outlet*.

b. Variabel Terikat

- Kenyamanan termal dalam ambang Temperatur Netral (ambang atas dan bawah)

Tingkat kenyamanan termal akan berbeda-beda menyesuaikan temperatur udara rata-rata dimana manusia itu tinggal (Karyono, 2016). Hal ini sesuai dengan pernyataan Lippsmeier (1994), bahwa perbedaan batas kenyamanan termal selain tergantung pada skondisi fisik individu manusia, juga tergantung pada letak geografis. Maka tingkat kenyamanan termal pada penelitian ini disesuaikan dengan kondisi temperatur netral Desa Ranupane yang didapatkan dari hasil simulasi ARCHIPAK 5.1.

c. Variabel Kontrol

- Sistem bukaan

Jadwal sistem bukaan seperti pintu dan jendela akan memberikan pengaruh distribusi pergantian angin yang terjadi di dalam bangunan. Sistem bukaan disesuaikan dengan kondisi di konteks lokasi studi.

- *Internal heat gain*

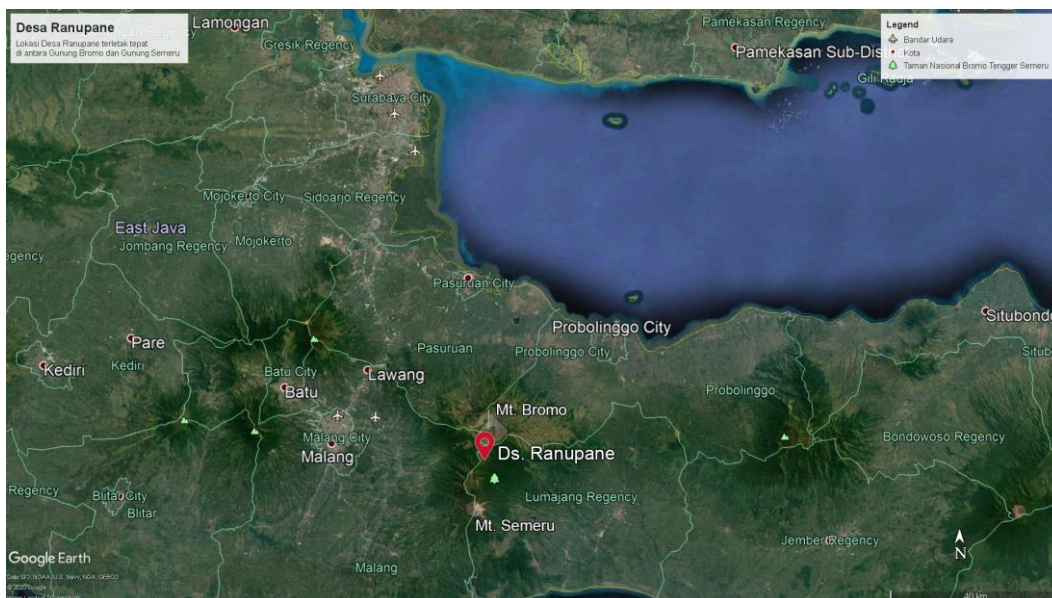
Yang menjadi sumber utama internal heat gain dalam penelitian ini adalah ada atau tidak adanya perapian di dalam rumah.

- Orientasi bangunan

Pengaruh radiasi matahari sangat berdampak pada bentuk atau posisi orientasi bangunan. Sehingga orientasi dipilih yang paling besar menerima radiasi matahari.

3.4 Pemilihan Lokasi

Sebagaimana seperti apa yang di kemukakan pada bab-bab sebelumnya, penelitian ini mengambil studi kasus pada salah satu perkampungan Suku Tengger tepatnya di Desa Ranupane seperti ditunjukkan pada gambar 3.1. Desa ini terletak paling dekat dengan gunung Semeru, dengan ketinggian ± 2100 mdpl. Berlokasi di daerah dengan kondisi iklim tipe B menurut klasifikasi Schmidt dan Ferguson, membuat temperatur udara di Ranupane bisa mencapai 0 sampai -5°C di subuh hari.



Gambar 3.1 Peta lokasi area Desa Ranupane di antara Gunung Bromo dan Gunung Semeru (Sumber: Google map)

Dengan kondisi seperti ini masyarakat suku Tengger masih dapat hidup dengan harmonis. Di tambah dengan keunikan dan ciri khas kultur budayanya yang

cenderung agak berbeda dengan suku Jawa pada umumnya. Dengan karakteristik iklim serta kearifan lokal seperti ini, sangat sayang sekali apabila tidak digali secara mendalam.

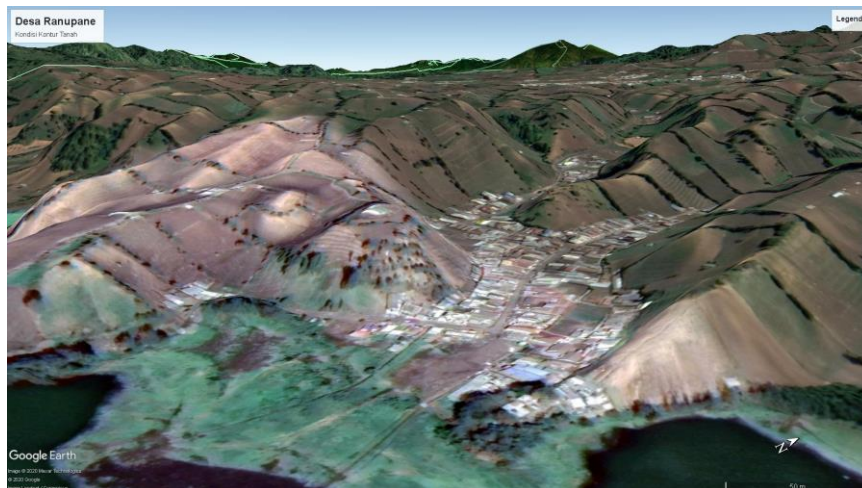
3.5 Pengamatan Lapangan

Sebelum melakukan pengukuran lapangan, dilakukan terlebih dahulu pengamatan awal. Hal ini bermaksud supaya pada saat proses penelitian tidak terjadi adanya kemungkinan-kemungkinan yang tidak sesuai dengan apa yang di rencanakan di awal. Pengamatan lapangan dilakukan dengan melakukan survei dan pengukuran pada lokasi yang telah ditentukan. Dilakukannya survei ini bertujuan untuk mengetahui kondisi fisik dan non fisik di lapangan supaya dapat dijadikan sebagai penunjang kebutuhan dan kelengkapan dalam proses penelitian selanjutnya.

Pengambilan Sampel

Berikut adalah beberapa faktor yang dapat mewakili karakteristik rumah tinggal suku Tengger di Desa Ranupane yang dijadikan acuan sebagai pengambilan sampel bangunan:

a. Topografi



Gambar 3.2 Peta kontur lokasi Desa Ranupane (Sumber: Google map)

Kondisi kontur tanah di lokasi studi kasus sangatlah bervariasi (perbukitan), sehingga agak sulit untuk memperoleh luas area dalam mendirikan bangunan.

Bentuk peta kontur tanah di Desa Ranupane seperti yang terlihat pada gambar 3.2, menunjukkan informasi perbedaan ketinggian antar lokasi. Dengan kondisi kontur tanah yang bervariasi, umumnya masyarakat mendirikan bangunan di dataran yang berkontur landai. Namun ada pula beberapa yang mendirikan di tanah berkontur tinggi dan Sebagian ada juga yang mendirikan di tanah berkontur agak miring. Dalam penelitian ini akan memilih rumah tinggal yang berlokasi di tanah berkontur landai.

b. Kepadatan bangunan

Apabila dilihat dari kondisi kepadatannya, bangunan atau rumah di Desa Ranupane dapat dibedakan menjadi tiga yaitu, area padat, sedang, dan ringan. Namun dalam penelitian ini supaya lebih fokus diambil lokasi area yang padat. Karena umumnya rumah di Desa Ranupane dibangun berkelompok di daerah berkontur landai.

c. Orientasi bangunan

Orientasi bangunan merupakan salah satu faktor penting dalam memperoleh efek radiasi matahari. Dengan kondisi yang padat mengakibatkan sebagian sisi bangunan tidak teradiasi secara maksimal. Hal ini mengakibatkan perbedaan temperatur udara di antara satu bangunan dengan bangunan yang lain.



Gambar 3.3 Tingkat kepadatan bangunan di Desa Ranupane (Sumber: Google map)

d. Jenis material bangunan

Seiring perkembangan jaman, rumah tinggal di Ranupane mengalami perubahan dari tahun ke tahun. Beberapa rumah tinggal yang di jumpai masih menggunakan kayu sebagai material dindingnya. Dan saat ini sudah didominasi dengan bangunan dengan material modern. Karena penelitian ini berfokus pada bangunan rumah tinggal yang umum pada saat ini, maka rumah tinggal yang dipilih adalah yang menggunakan material modern (material fabrikasi).



Gambar 3.4 Salah satu rumah tinggal dengan material modern



Gambar 3.5 Pembangunan rumah tinggal di Desa Ranupane menggunakan material dinding batako

3.6 Pengumpulan Data

Data yang diambil dari hasil pengamatan adalah berupa data fisik seperti dimensi bangunan, material bangunan, kondisi termal termal bangunan. Untuk menjawab pertanyaan penelitian maka dilakukan dua tahap pengumpulan data. Pertama, data untuk melihat bagaimana kinerja dan kenyamanan termal bangunan dengan pengaruh tipologi dan material bangunan di dataran tinggi. Kedua, data yang diperlukan untuk melihat pencapaian kenyamanan termal menurut pengaruh lingkungan dan sosial budaya.

Untuk mempermudah mendapatkan data-data diatas maka pencarian data diklasifikasikan menjadi dua yaitu data primer dan data skunder, sebagaimana yang ditampilkan pada tabel 3.1:

Tabel 3.1 Teknik pengumpulan data fisik

DATA PRIMER	DEFINISI OPERASIONAL	TEKNIK PENGUMPULAN DATA	ALAT
Dimensi Bangunan	Panjang, Lebar, dan Tinggi Bangunan	Pengukuran Lapangan	Measure tape, Laser tape
Kondisi Fisik Bangunan	Foto Eksterior dan Interior	Pengamatan Lapangan	Kamera
Iklm Mikro	Temperatur Udara Indoor dan Outdoor, Kelembaban Udara, dan Kecepatan Angin	Pengukuran Lapangan	Anemometer, WBGT Meter, Weather Station
Iklm Makro	Temperatur Udara Indoor dan Outdoor, Kelembaban Udara, dan Kecepatan Angin	Meteoblue.com	Meteoblue.com

Sedangkan untuk pengumpulan data yang kedua, dengan wawancara kepada responden. Wawancara ini bertujuan untuk merumuskan kenyamanan termal dari pendapat penghuni atau masyarakat sekitar dengan pengaruh lingkungan sekitar serta faktor sosial budaya.

Survei Lapangan

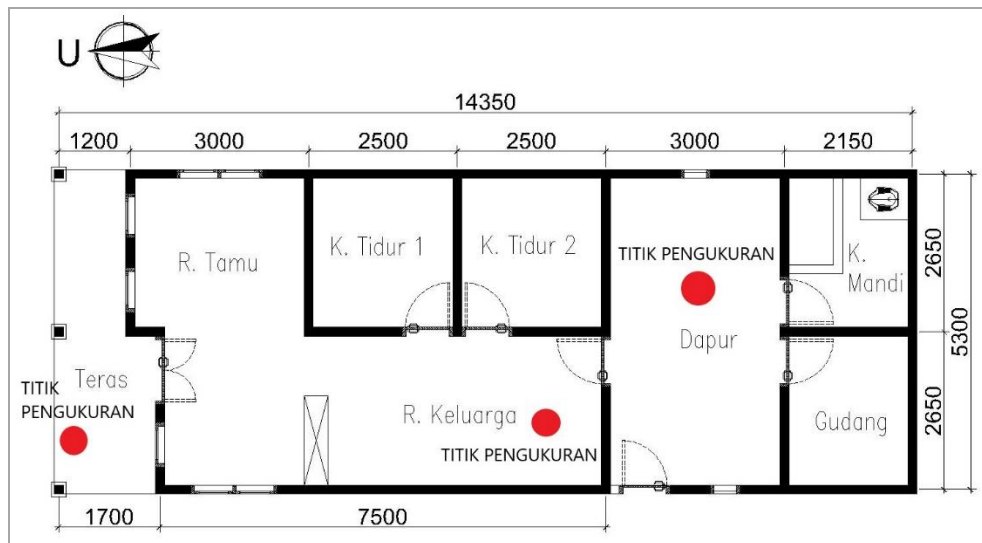
Berikut ini dijelaskan prosedur pengamatan dan pengukuran lapangan pada satudi kasus rumah tinggal di Desa Ranupane:

a. Pengukuran kinerja termal.

Pengukuran kinerja termal dilakukan pada bulan-bulan terpanas antara bulan april-oktober. Untuk pengukuran temperatur udara luar, temperatur udara dalam, kelembaban, dan kecepatan angin dilakukan selama 24 jam dengan rentan waktu per 10 menit.

b. Pemilihan ruang yang dipasang alat pengukur kinerja termal.

Ruang yang dipilih sebagai lokasi untuk menempatkan alat merupakan tempat yang biasa digunakan oleh penghuni untuk beraktivitas. Ruang-ruang tersebut di antara adalah ruang dapur dan ruang keluarga. Gambar 3.6 menunjukkan titik lokasi penempatan alat pengukuran.



Gambar 3.6 Titik pengukuran di dalam dan luar bangunan

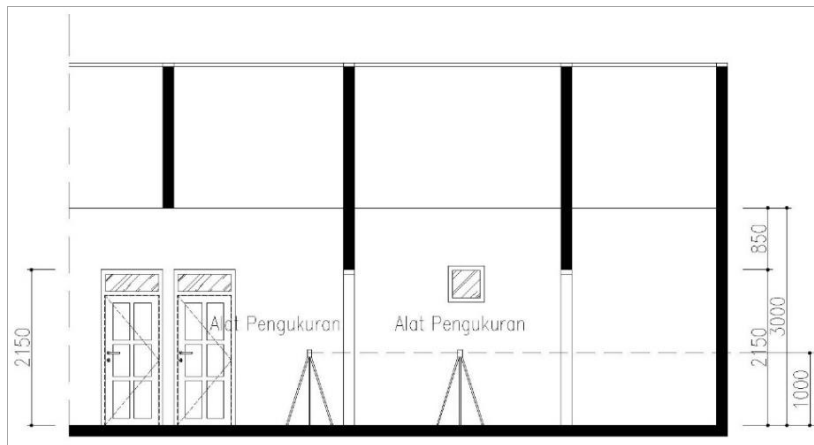
c. Identifikasi elemen selubung bangunan.

Selain penting untuk melihat jenis material yang dipakai pada selubung bangunan, identifikasi ini juga perlu untuk melihat konfigurasi ruang pada bangunan tersebut.

d. Titik pengambilan data

Titik pengambilan data dalam ruangan diletakkan pada posisi setinggi 100cm dari permukaan lantai. Ketinggian ini disesuaikan dengan posisi manusia

dalam beraktivitas seperti duduk atau berdiri sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.7. Sedangkan untuk pengambilan data luar ruangan ditempatkan pada posisi yang terbuka namun tetap aman.



Gambar 3.7 Gambar potongan posisi letak pemasangan alat

e. Aktivitas penghuni

Untuk mendapatkan informasi lebih detil tentang tingkat kenyamanan yang ada pada bangunan yang akan diukur, maka dilakukan penggalan informasi dengan cara wawancara langsung serta mendokumentasikan kondisi bangunan setempat. Dengan demikian diharapkan penulis dapat memahami dan merasakan secara langsung kebiasaan atau aktivitas penghuni dalam kesehariannya.

3.7 Alat Penelitian

Dalam memperoleh data selama proses penelitian, maka sangat penting sekali adanya sarana dan prasarana penunjang yang dapat membantu tercapainya penelitian dengan baik. Sarana dan prasarana yang dipakai dalam proses penelitian terdiri dari beberapa instrumen peralatan. Keterangan instrumen peralatan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2 di antara adalah:

- *Hobo Weather Station*, berfungsi untuk mengukur temperatur udara, kelembaban, *photosynthetic active radiation*, kecepatan angin, dan laju hembusan angin.
- *Hot Wire Anemometer*, digunakan untuk mengukur kecepatan angin.

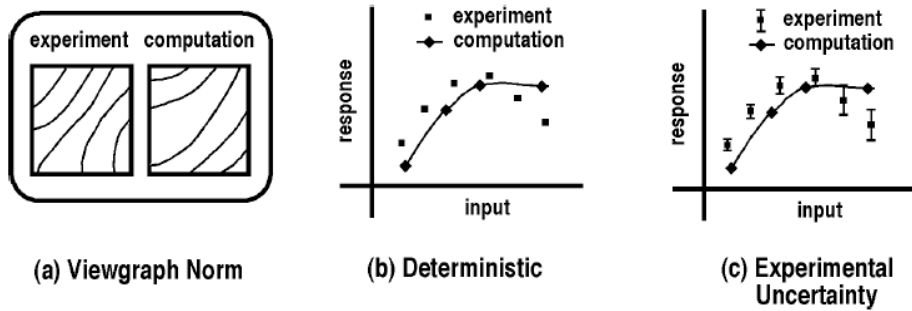
- *Wet Bulb Globe Temperatur Meter*, berfungsi untuk mengukur temperatur *indoor outdoor*, kelembaban udara, dan temperatur *dew point*.
- *Laser Tape*, berfungsi memudahkan dalam pengukuran dimensi bangunan atau jarak kerapatan antar bangunan.

Tabel 3.2 Instrumen penelitian

ALAT	GAMBAR	FUNGSI
Hobo Weather Station		Merekam data iklim
Hot Wire Anemometer		Mengukur temperatur udara dan kecepatan angin
WBGT Meter		Mengukur kelembaban dan temperatur udara
Laser Tape		Mengukur dimensi bangunan

3.8 Verifikasi

Simulasi sangat bermanfaat untuk membantu menjabarkan kerumitan data yang di peroleh dengan cara membuat tiruan fenomena yang dapat di verifikasi dengan kondisi nyata. Disamping dapat memprediksi parameter-parameter yang ditetapkan dalam penelitian, penelitian simulasi juga bertujuan untuk efisiensi waktu, biaya, dan tenaga (Groat dan Wang 2013). Dengan melakukan verifikasi terhadap hasil simulasi dan hasil pengukuran lapangan, maka akan diketahui realibilitas dari hasil simulasi tersebut.



Gambar 3.8 Contoh perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran atau eksperimen (Oberkampf, L. 2004)

3.8.1 Program Archipak

Proses simulasi kinerja termal pada penelitian ini menggunakan program ARCHIPAK 5.1. ARCHIPAK 5.1 adalah program yang digunakan pada proses perancangan untuk memeriksa dan mensimulasikan kinerja bangunan seperti desain termal dan sistem *solar heating*. Di dalamnya terdapat 7 *user program* dengan 3 program *data base*, 7 program tersebut di antaranya adalah:

1. *Climate*: untuk menganalisis iklim berdasarkan metode *table mahoney*.
2. *Climanal*: untuk menganalisis iklim berdasarkan *psychrometric chart*.
3. *Timelag*: untuk menghitung *thermal properties* dari dinding dan atap.
4. *Suncalc*: untuk menghitung letak atau posisi matahari beserta sudut bayangannya, dan juga irradian pada permukaan yang berbeda
5. *ACRSYS*: untuk menghitung seberapa besar sistem radiasi yang dihasilkan.
6. *Qbalance*: untuk menghitung *heat flow* pada suatu bangunan berdasarkan kondisi *steady state*.
7. *Harmon*: untuk menghitung *thermal response*, *hourly heat flows*, dan profil temperatur dengan metode analisis harmon BRE.

Kemudian untuk 3 program database yang menjadi pendukung dari 7 program diatas adalah sebagai berikut:

1. *Climdata*: program ini berfungsi untuk mengatur segala keperluan data iklim mulai dari input data hingga mencetak file data.
2. *Matdata*: program ini berfungsi untuk membuat dan merubah data file Material.DAT.

3. *Elemdata*: program ini berfungsi untuk membuat dan merubah data file ELEMENT.DAT.

Program ARCHIPAK memiliki kelebihan dan kekurangan dalam menghitung kinerja termal pada bangunan. Oleh karena itu sebelum dilakukan simulasi pada objek penelitian, dilakukan beberapa penyederhanaan pada bentuk bangunan terlebih dahulu. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan dari program ARCHIPAK yang ditunjukkan pada tabel 3.3:

Tabel 3.3 Fitur yang dimiliki ARCHIPAK

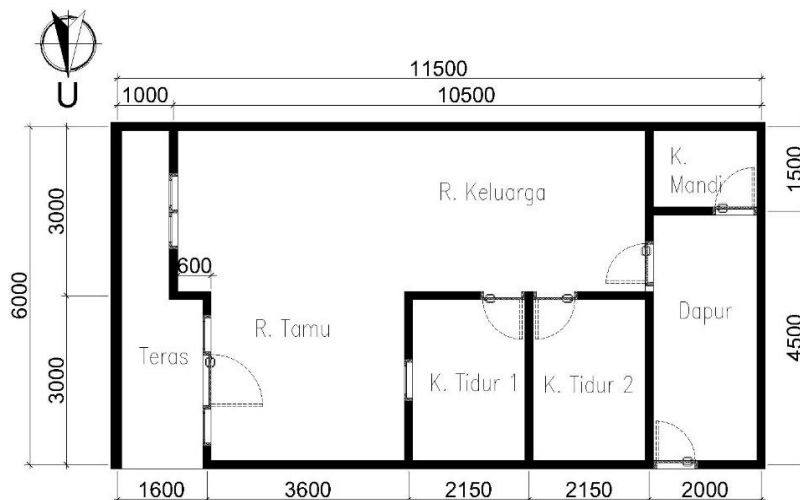
ARCHIPAK	
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> • Setiap elemen bangunan dapat disajikan data secara breakdown sehingga dapat dilakukan analisis pada bagian mana saja yang memberikan distribusi <i>heat gain</i> ataupun <i>heat loss</i>. • Simulasi dapat dilakukan dalam kondisi <i>steady state</i> ataupun <i>hormone</i>. • Nilai ACH dan <i>internal heat gain</i> dapat dimasukkan dalam kondisi konstan atau variabel. • Terdapat 3 pilihan model temperature: <i>environmental</i>, <i>dry resultant</i>, dan <i>air temperature</i>. • Output dari simulasi bisa berupa waktu satuan bulan atau 1 tahun termasuk grafik perbulan dari internal temperatur.
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> • Pilihan material terbatas, sehingga apabila ada material baru harus dimasukkan terlebih dahulu secara manual • Simulasi hanya terbatas pada bangunan yang masih dianggap dalam satu zona. • Terdapat perbedaan hasil nilai radiasi matahari antara program <i>thermal design</i> dengan program <i>solar design</i>. Namun hasil yang paling mendekati nilai benar adalah dengan perhitungan <i>solar design</i>.

Beberapa penelitian yang menggunakan ARCHIPAK sebagai program penelitiannya adalah:

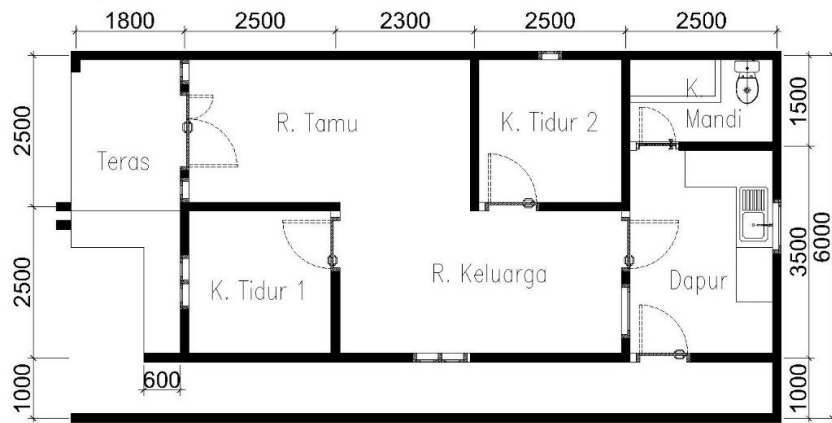
1. “Simulation of Thermal Performance of Low Cost Houses in Venezuela to Improve Thermal Comfort” oleh Siem, Giovanni. 40th Annual Conference of The Architectural Science Association ANZAScA (2007)
2. “Pre-design Guidelines for Passive Solar Architecture Buildings in Kenya” oleh V.O. Kefa, Rabah, dan C.O. Mito. *International Journal of Sustainable Energy* (2010).
3. “Aspek Termal Rumah Tradisional Tambi” oleh Putri Fitriati, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2012)

3.8.2 Objek Verifikasi

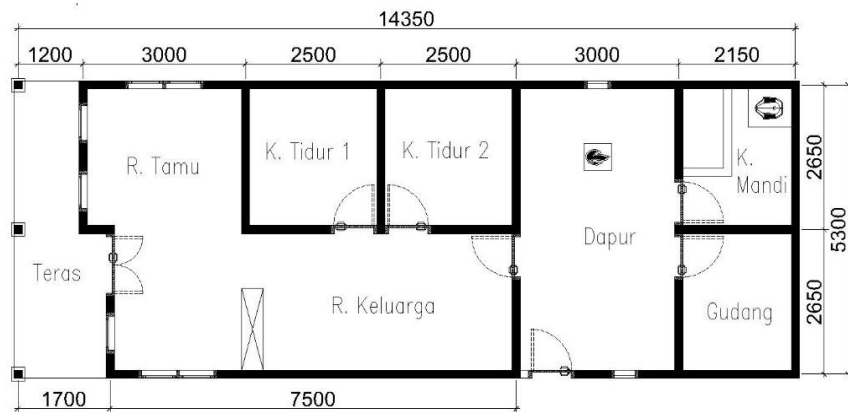
Terdapat 4 buah rumah tinggal dengan tipe yang berbeda-beda untuk digunakan sebagai model *based-case* objek verifikasi. Pemilihan 4 buah rumah tinggal ini dianggap mewakili bentuk-bentuk bangunan rumah tinggal yang ada di Desa Ranupane. Dari 4 buah rumah tinggal tersebut dua rumah memiliki perapian dan dihuni oleh pemiliknya dan dua rumah lainnya kondisi tanpa perapian, yang satu baru saja selesai dibangun dan belum dihuni sedangkan satu lainnya jarang dihuni oleh pemilik rumah. Denah rumah 1-4 diilustrasikan dalam Gambar 3.9 sampai Gambar 3.12.



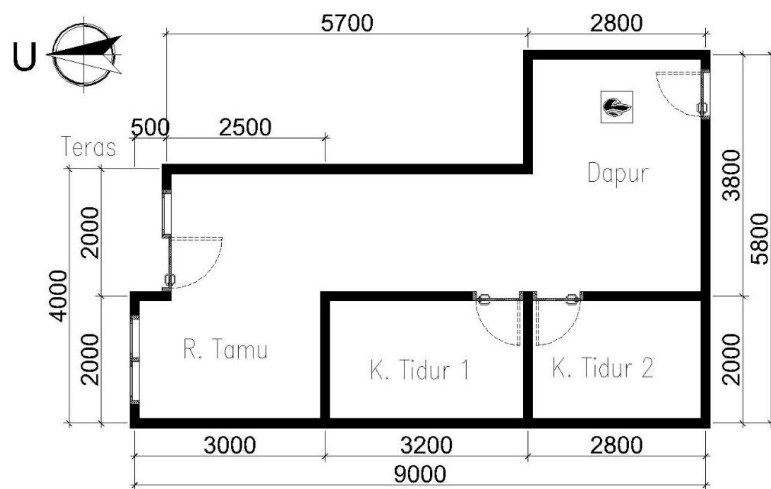
Gambar 3.9 Layout model *based-case* rumah responden 1 tanpa perapian (UT-TP)



Gambar 3.10 Layout model *based-case* rumah responden 2 tanpa perapian (AD-TP)



Gambar 3.11 Layout model *based-case* rumah responden 3 dengan perapian (AD-P)



Gambar 3.12 Layout model *based-case* rumah responden 4 dengan perapian (BA-P)

3.8.3 Metode Verifikasi

Dalam proses verifikasi antara hasil simulasi dan hasil pengukuran lapangan, dapat dilakukan dengan cara membanding keduanya dalam bentuk grafik. Untuk menilai hasil dari verifikasi apakah hasilnya akurat atau terjadi kesalahan (error), maka dapat dinilai dengan rumus 3.1 yaitu *Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error* (CV(RMSE)) (Ruiz dan Bandera, 2017). Rumus ini direkomendasikan oleh Ruiz dan Bandera (2017) karena hasilnya lebih akurat dibanding rumus indikator lainnya.

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{m}} \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n-1} \times 100(\%) \quad (3.1)$$

Dimana m merupakan rata-rata hasil pengukuran, m_i hasil pengukuran sementara, s_i adalah hasil simulasi, dan n jumlah data. Penelitian yang pernah menggunakan rumus di atas adalah Liang dkk (2017) yang bertujuan untuk memverifikasi hasil simulasi menggunakan *DesignBuilder* dan hasil pengukuran lapangan.

Sedangkan untuk menghitung seberapa dekat antara garis regresi hasil simulasi dengan hasil pengukuran lapangan, maka dapat menggunakan perhitungan R^2 (*Coefficient of Determination*) seperti pada persamaan 3.2. Dimana R^2 memiliki nilai antara 0 dan 1, yang apabila nilai lebih dekat 1 maka hasil simulasi semakin akurat.

$$R^2 = \left(\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot S_i - \sum_{i=1}^n m_i \cdot \sum_{i=1}^n S_i}{\sqrt{(n \cdot \sum_{i=1}^n m_i^2 - (\sum_{i=1}^n m_i)^2) \cdot (n \cdot \sum_{i=1}^n S_i^2 - (\sum_{i=1}^n S_i)^2)}} \right) \quad (3.2)$$

3.9 Rancangan Eksperimen

Supaya penelitian ini dapat berjalan dengan sistematis dan terencana, maka perlu menentukan beberapa tahapan rancangan eksperimen. Tahapan pertama adalah menyusun semua variabel penelitian yang telah di dapat baik dari studi literatur maupun observasi lapangan. Tahap kedua adalah melakukan simulasi menggunakan program ARCHIPAK 5.1. Simulasi pertama dilakukan terhadap 4 model *based-case* eksisting, bertujuan untuk melihat kinerja termal

pada setiap model bangunan eksisting. Tahap ketiga dari 4 model *based-case* tersebut dipilih salah satu yang memiliki hasil kinerja termal baik dan memiliki bentuk karakteristik yang mewakili bangunan di Desa Ranupane. Selanjutnya model *based-case* terpilih dijadikan model yang mewakili untuk dilakukan optimasi dengan beberapa uji coba kombinasi material dan insulasi. Tahapan terakhir, hasil simulasi optimasi akan dianalisis tingkat kenyamanan termalnya terhadap ambang batas temperatur netral (T_n).

Untuk mempermudah melakukan rancangan eksperimen, maka penelitian ini dibagi menjadi dua kelompok eksperimen. Yang pertama adalah simulasi bangunan eksisting dan yang kedua adalah simulasi optimasi. Penjelasan kedua kelompok eksperimen akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

3.9.1 Simulasi bangunan eksisting

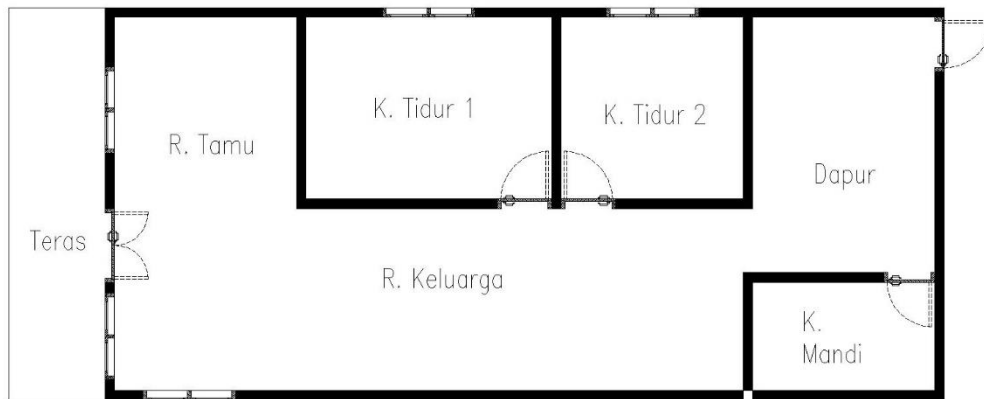
Penelitian simulasi bangunan eksisting dilakukan dari tahapan penyederhanaan model dasar dan model *based-case* eksisting dan variabel tetap dan bebas. Tahapan-tahapan pada simulasi bangunan eksisting di antara adalah:

a. Penyederhanaan model dasar bangunan

Bentuk model *based-case* bangunan perlu dilakukan penyederhanaan terlebih dahulu sebelum masuk pada tahap simulasi menggunakan program ARCHIPAK 5.1. Dari beberapa bangunan eksisting yang telah diukur, disederhanakan dan disesuaikan dengan aspek desain pada model dan data iklim yang telah diukur. Sehingga, model dasar yang telah disederhanakan dapat mewakili bentuk bangunan eksisting. Beberapa bentuk penyederhanaan model dasar simulasi tersebut adalah:

- *Layout ruang bangunan*

Dari empat bangunan eksisting rumah tinggal yang telah diukur, maka akan didapatkan bentuk layout ruang yang hampir sama. Apabila diurutkan dari depan maka yang pertama adalah teras rumah, kemudian ruang keluarga, kamar tidur, dapur, dan terakhir kamar mandi atau gudang.



Gambar 3.13 Layout ruang model *based-case* yang disederhanakan

- *Elemen material selubung bangunan*
Material selubung bangunan terdiri dari dinding yang menggunakan material batako atau bata merah dan atap menggunakan genteng atau asbes.
- *Bukaan*
Jenis material bukaan menggunakan kaca dan kayu.
- *Bentuk Bangunan*
Bentuk bangunan dibuat sederhana, tanpa adanya ornament atau bentuk geometri bangunan yang rumit.
- *Ventilasi (ACH)*
Ventilasi atau nilai ACH akan diasumsikan konstan sesuai dengan kondisi eksisting berdasarkan perhitungan manual (Lampiran 8).

b. Model *based-case* bangunan eksisting

Model *based-case* yang dijadikan objek penelitian adalah 4 bangunan eksisting yang dapat mewakili tujuan penelitian. Sebagaimana yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, bangunan rumah tinggal masa kini di Desa Ranupane sudah banyak menggunakan material modern. Misalnya seperti dinding bangunan menggunakan batako, rangka atap sudah menggunakan rangka baja ringan, kusen pintu jendela memakai bahan aluminium dan lain sebagainya.

c. Model gabungan konfigurasi dari orientasi bangunan, material dan elemen arsitektur

Empat Model dasar eksisting yang telah dipilih selanjutnya dilakukan konfigurasi mencakup orientasi, elemen dan material arsitektur bangunan. Dalam konfigurasi ini dikelompokkan menjadi dua skenario yaitu, rumah tanpa perapian dan rumah dengan perapian. Eksperimen ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh orientasi serta elemen material selubung bangunan terhadap kinerja lingkungan termal di daerah Desa Ranupane.

Tabel 3.4 Skenario konfigurasi model *based-case* yang akan diuji

Skenario	Model	Orientasi	Material Dinding		Material Atap	
			Bata Merah	Batako	Genteng	Asbes
Tanpa perapian	A					
	B					
Dengan perapian	C					
	D					

d. Pemilihan model *based-case* eksisting untuk model *based-case* optimasi

Dari keempat model base eksisting yang telah dilakukan simulasi, maka akan dipilih salah satu model *based-case* untuk dilakukan tahap optimasi. Pemilihan ini bertujuan supaya pada tahap optimasi, waktu penelitian dapat dimanfaatkan lebih efisien dan lebih fokus. Model *based-case* yang dipilih harus memiliki nilai kinerja termal yang baik dan memiliki bentuk karakteristik umumnya rumah tinggal di Ranupane.

3.9.2 Simulasi Optimasi

Setelah didapatkan model *based-case* eksisting untuk dijadikan model *based-case* simulasi optimasi, maka tahap selanjutnya adalah optimasi. Optimasi ini dilakukan untuk memperbaiki hasil konfigurasi selubung bangunan supaya lebih optimal untuk diaplikasikan di daerah dataran tinggi tropis lembab. Indikator yang digunakan adalah kinerja termal pada saat *discomfort hour* yaitu antara

pukul 16:00 sore hingga 07:00 pagi, dimana pada waktu itu kondisi temperatur udara terasa sangat dingin. Sebagaimana mengacu pada tujuan penelitian yang telah dibahas di dalam bab I, dalam eksperimen ini mencari posisi orientasi serta material selubung bangunan yang paling ideal untuk daerah dataran tinggi tropis lembab.

Pada tahap ini, yaitu penentuan model gabungan konfigurasi dengan variabel optimasi, memiliki kesamaan dengan tahap verifikasi konfigurasi bangunan yang dibahas pada simulasi bangunan eksisting. Model *based-case* yang telah ditetapkan akan disimulasikan dengan konfigurasi variabel penelitian untuk didapatkan hasil yang paling optimal. Kombinasi konfigurasi variabel optimasi ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Penyederhanaan model yang diuji terhadap variabel optimasi

Skenario model	Orientasi	Material Dinding		Material Atap	
		Bata Merah	Batako	Genteng	Asbes
Tanpa perapian					
Dengan perapian					

3.10 Analisis Hasil Penelitian

Hasil penelitian dianalisis dari data penelitian untuk menjawab pertanyaan penelitian yaitu pertama, bagaimana kinerja termal bangunan rumah tinggal di daerah dataran tinggi tropis lembab; kedua, bagaimana optimasi penggunaan material pada bangunan rumah tinggal untuk meningkatkan kinerja termal di dataran tinggi tropis lembab. Analisis data pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

a. Analisis Kondisi Termal Bangunan dan Kenyamanan Termal

Untuk melihat kondisi termal pada suatu bangunan dapat dilakukan dengan cara membandingkan kondisi temperatur *indoor* dan temperatur *outdoor* terhadap tingkat kenyamanan termal. Pada penelitian yang dilakukan oleh

Ossen dkk (2008), kinerja termal pada bangunan dapat dihitung dengan melihat berapa nilai temperatur netral. Temperatur netral dapat dihitung dengan persamaan yang diperkenalkan oleh Humphreys (1992) sebagai berikut:

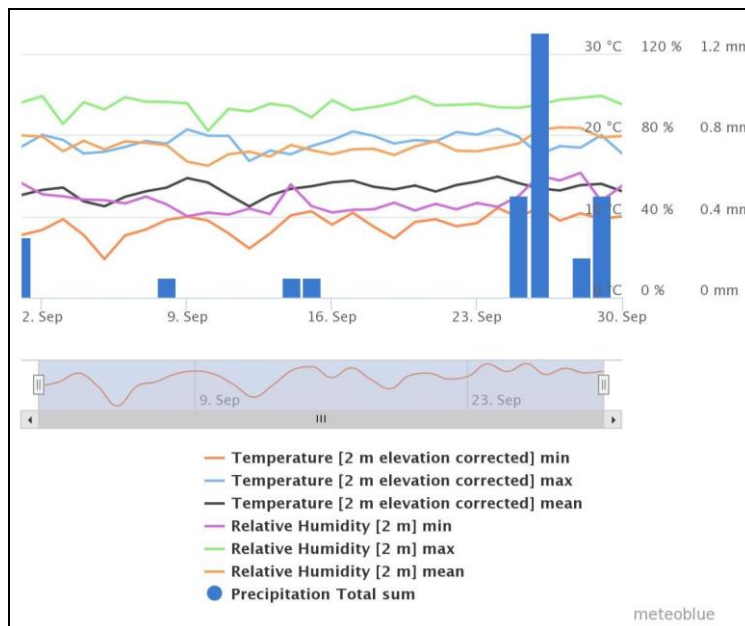
$$T_n = 11.9 + 0.534T_m \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.3)$$

Dimana T_n adalah temperatur netral atau nyaman, sedangkan T_m merupakan temperatur bulanan rata-rata.

Setelah mengevaluasi kondisi temperatur netral, selanjutnya adalah menganalisis kondisi ketidaknyamanan dengan melakukan perhitungan *degree hours*. Dengan perhitungan *degree hours* akan diketahui periode *under heating* dan *over heating* selama 24 jam. Dengan demikian dapat dilihat berapa lama durasi ketidaknyamanan dan kenyamanan termal pada bangunan tersebut.

b. Tahap analisis data pengukuran lapangan dan analisis iklim

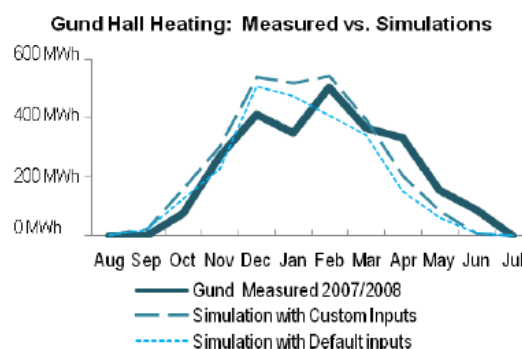
Hasil dari pengukuran lapangan berupa data iklim seperti temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi matahari, selanjutnya akan diinterpretasikan terlebih dahulu menjadi bentuk grafik dan tabel seperti contoh pada gambar 3.14. Cara ini untuk mempermudah dalam melakukan analisis kondisi iklim sebenarnya. Analisis iklim bertujuan untuk mengetahui serta mengidentifikasi secara mendetil karakteristik iklim dan standar kenyamanan atau temperatur netral di daerah Desa Ranupane. Sehingga, akan diketahui kondisi rata-rata cuaca harian dan tahunan. Kapan terjadi temperatur udara minimum dan maksimum, berapa tingkat kelembabannya, berapa nilai rata-rata kecepatannya, serta berapa nilai intensitas radiasi matahari. Data iklim yang telah disebutkan di atas merupakan data iklim yang sangat penting untuk menentukan kinerja termal bangunan. Analisis iklim akan dilakukan dengan cara mengolah data menggunakan program ARCHIPAK 5.1. Penggunaan simulasi dengan program tersebut dapat diketahui kondisi zona nyaman pada bulan terdingin maupun bulan terpanas.



Gambar 3.14 Grafik temperatur, kelembaban, dan curah hujan Desa Ranupane bulan September 2019 (meteoblue.com)

c. Tahap analisis data simulasi dan optimasi

Dari simulasi menggunakan ARCHIPAK 5.1 didapatkan hasil berupa data-data dan gambar grafik simulasi. Untuk Data-data yang berupa angka diinterpretasikan menjadi grafik dan tabel supaya lebih mudah dalam melakukan analisis matriks (gambar 3.15). Kemudian, selanjutnya hasil simulasi akan diverifikasi terlebih dahulu terhadap hasil pengukuran lapangan. Kemudian, dari hasil Analisis dapat diketahui apakah ada perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran lapangan. Apabila perbedaan yang dihasilkan masih dalam kondisi wajar, maka simulasi dapat dilanjutkan.



Gambar 3.15 Grafik *heating* perbandingan hasil pengukuran dan simulasi (Wasilowski, H.A. Reinhart, C.F., 2009)

Analisis untuk membandingkan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi juga dilakukan oleh Wasilowski (2009). Pada gambar 3.15 menunjukkan penelitian Wasilowski dari hasil analisis pada saat membandingkan kondisi beban panas dan dingin di bangunan aula Gund di negara iklim dingin (negara bagian Amerika). Walaupun penelitian Wasilowski memiliki kondisi iklim yang berbeda dengan kondisi iklim di konteks kasus penelitian ini, namun argumen perbandingan kondisi kinerja bangunan eksisting dan bangunan simulasi dapat digunakan. Pada tahap optimasi dipilih konfigurasi material selubung bangunan yang memiliki properti termal dengan nilai *time-lag* yang tinggi. Pemilihan properti termal dengan nilai *time-lag* tinggi menjadi pilihan karena mengingat kondisi temperatur di Desa Ranupane cukup rendah dan berbeda dengan kondisi iklim tropis di daerah-daerah lain di Indonesia dengan temperatur tinggi (Sukowiyono, 2004) Sehingga, dari hasil simulasi konfigurasi-konfigurasi tersebut dapat menghasilkan kombinasi material yang cukup baik untuk diterapkan di daerah dataran tinggi tropis lembab khususnya di Desa Ranupane.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL STUDI LAPANGAN

4.1 Lokasi Penelitian

4.1.1 Kondisi Geografis Desa Ranupane

Ranupane merupakan desa *enclave* yang berada di kaki gunung Semeru Jawa Timur, dengan area seluas ± 265 hektar pada ketinggian 2.200m dari permukaan laut. Disebut desa *enclave* karena letaknya yang berada di tengah-tengah Taman Nasional Bromo Semeru Tengger (TNBTS). Ranupane terletak di sebelah barat Kecamatan Senduro Kabupaten Lumajang, dimana sebelah utara berbatasan dengan desa Ngadas, sebelah selatan Desa Burno, sebelah barat Taman Nasional, dan sebelah timur Desa Argosari. Ranupane memiliki dua danau (Ranu) yang bersebelahan, yaitu Ranu Pani dengan luas $\pm 5,6$ ha dan Ranu Regulo dengan luas $\pm 0,75$ ha.

Dilihat dari kondisi topografinya, Desa Ranupane memiliki kontur tanah perbukitan dan lembah. Kondisi ini mempengaruhi cara masyarakat Ranupane dalam mendirikan rumah tinggal. Umumnya mereka mendirikan rumah tinggal di dataran yang berkontur rendah atau landai, meskipun begitu tak jarang pula ada sebagian masyarakat yang membangun rumah tinggal mereka di lereng-lereng perbukitan. Secara umum, masyarakat Ranupane membagi desa menjadi dua, yakni *desa atas* dan *desa bawah*. Hal ini dikarenakan Ranupane memiliki dua kontur rendah atau landai yang dipadati rumah penduduk yakni bagian atas dan bawah. Apabila kita memasuki Ranupane dari arah Tumpang, maka kita akan melewati *desa atas* terlebih dahulu. Dan sebaliknya, apabila kita memasuki Ranupane dari arah Senduro Lumajang, maka kita akan melewati *desa bawah* terlebih dahulu.

Fasilitas bagi para wisatawan atau pendaki di Desa Ranupane saat ini sudah semakin banyak. Fasilitas-fasilitas tersebut terdiri dari kantor informasi, pondok pendakian, homestay, warung kopi, kamar mandi dengan air hangat, tempat ibadah, dan lain-lain. Saat ini jalan menuju Desa Ranupane dari arah Lumajang atau dari arah Malang sudah dalam kondisi baik dibanding beberapa tahun yang

lalu. Hingga sampai sekarang sejak penelitian dilakukan, perbaikan dan perluasan jalan masih berlangsung dan terus dikembangkan. Maka tidak jarang saat ini jalur Ranupane sebagai penghubung antara Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang menjadi jalur alternatif bagi masyarakat yang akan menuju kedua daerah tersebut.



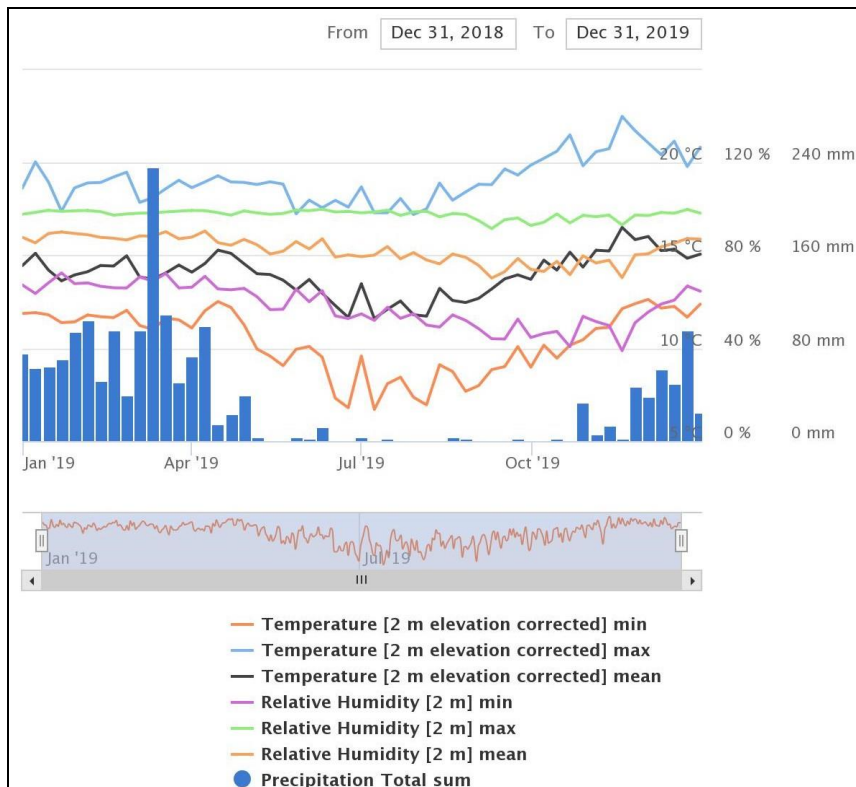
Gambar 4.1 Lokasi penelitian, (a) Lokasi terhadap wilayah Jawa Timur, (b) Lokasi terhadap wilayah Taman Nasional Bromo Tengger Semeru dan Kecamatan Senduro, (c) Lokasi terhadap wilayah Desa Ranupane. (Sumber: <https://earth.google.com>, 2018)

4.2 Tinjauan Iklim Desa Ranupane

Lokasi penelitian yang berada di dalam kawasan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS) tepatnya di bawah kaki gunung Semeru, membuat area Desa Ranupane memiliki ketinggian yang bervariasi atau berbukit-bukit. Ketinggian daerah ini mencapai 2100 mdpl yang mengakibatkan terdapat perbedaan kondisi iklim lokal antara kawasan TNBTS dibandingkan kawasan daerah sekitarnya. Karena letaknya yang berada di daerah pegunungan, kondisi iklim di Desa Ranupane cenderung dingin sepanjang tahun. Hal ini ditandai

dengan temperatur udara yang rendah berkisar antara 6°C - 21°C. Kondisi temperatur ini hampir sama dengan temperatur rata-rata di Dieng Wonosobo yang terletak didataran tinggi tropis lembab. Temperatur rata-rata harian berkisar antara 14,3°C – 26,5°C (wonosobokab.go.id). Berbeda dengan kondisi temperatur di Kecamatan Lore Tengah yang juga tergolong memiliki kondisi iklim dataran tinggi tropis, namun dengan temperatur rata-rata yang sedikit lebih tinggi (Fitriaty, 2012). Temperatur udara dengan rata-rata berkisar 15°C - 29°C, memiliki rentang perbedaan temperatur siang dan malam yang cukup tinggi ($\pm 8K$ - 15K). Antara tahun 2015-2019, iklim di Desa Ranupane menunjukkan kondisi bulan terdingin terjadi pada bulan Agustus. Pada bulan ini, temperatur minimum mencapai 6,4°C dan temperatur maksimal 16,8°C dengan kelembaban rata-rata 78,1%. Radiasi tertinggi terjadi pada bulan oktober dengan rata-rata sebesar 5.997 W/m². Sedangkan, curah hujan termasuk tinggi yaitu mencapai 3.046 mm/tahun (Senduro dalam Angka, 2019), dengan musim hujan yang biasanya terjadi pada bulan November hingga Mei.

Data iklim tahunan yang digunakan untuk simulasi diambil dari website *meteoblue.com*, yang menyediakan informasi data iklim lokal hampir di seluruh dunia. Dari data iklim yang disediakan oleh *meteoblue*, kondisi bulan terdingin sama yaitu bulan Agustus dan bulan terpanas Oktober seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Karakteristik kondisi elemen iklim (temperatur, kelembaban, radiasi matahari, kecepatan angin dan curah hujan) memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan data dari Senduro dalam Angka (2019). Diskusi analisis iklim *meteoblue* dibahas di sub bab 5.1. *Meteoblue* memberikan data lengkap untuk iklim yang dapat diakses dengan mudah dan tidak hanya diperuntukkan untuk kebutuhan komersil saja, namun juga untuk kebutuhan penelitian mahasiswa atau pelajar. Jenis data yang disediakan cukup lengkap di antara temperatur (2m), kelembaban (2m) curah hujan, radiasi matahari, kecepatan angin (10m), arah angin dan lain-lain. Pengambilan data tahunan secara online ini dipilih karena belum tersedianya data iklim untuk kawasan Desa Ranupane di BMKG terdekat, yaitu BMKG kota Malang.



Gambar 4.2 Profil data iklim selama tahun 2019 (sumber: meteoblue.com)

4.3 Deskripsi Kondisi Fisik Rumah Tinggal di Ranupane

Sejak beberapa tahun terakhir pertumbuhan rumah tinggal di Desa Ranupane sudah banyak mengalami perkembangan. Hal ini ditunjukkan dengan mulai banyaknya masyarakat Ranupane melakukan renovasi dan pembangunan pada rumah tinggal mereka. Umumnya bentuk bangunan rumah tinggal di Desa Ranupane saat ini sudah banyak mengalami perubahan. Bangunan rumah tinggal model lama (vernakular) banyak memakai material kombinasi dari bata merah dan kayu sebagai dinding utamanya. Karakteristik ini hampir sama dengan rumah vernakular di dataran tinggi Dieng Wonosobo. Menurut Hermawan (2020), terdapat dua model konstruksi bangunan di dataran tinggi Dieng Wonosobo, yaitu menggunakan dinding bata ekspos dan dinding kayu. Rumah tinggal di Desa Ranupane saat ini umumnya lebih menggunakan material yang lebih modern, seperti dinding dari bata merah atau batako dan memiliki konstruksi atap menggunakan baja ringan. Informasi ini didapatkan setelah dilakukan pengamatan pada beberapa rumah tinggal terutama rumah tinggal yang sedang direnovasi atau sedang dilakukan pembangunan seperti ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Model rumah tinggal dan pembangunan rumah di Desa Ranupane saat ini

Dari sini dapat disimpulkan bahwa rumah tinggal di Ranupane saat ini lebih banyak menggunakan material batako sebagai material dindingnya dibandingkan material bata merah. Dengan demikian, identifikasi awal terhadap kondisi fisik dan tipologi bangunan pada rumah tinggal di Ranupane dilakukan pada empat jenis rumah. Di antara yaitu rumah tinggal tanpa perapian yang menggunakan material dinding dari bata merah (rumah responden 1) dan batako (rumah responden 2), serta rumah tinggal dengan perapian yang menggunakan material dinding juga dari bata merah (rumah partisipan 3) dan batako (rumah responden 4).

4.4 Sampel Penelitian

Objek yang dijadikan sampel dalam penelitian ini adalah beberapa bangunan yang letaknya tersebar di kawasan Desa Ranupane. Sebagian terletak di wilayah kontur tinggi (rumah responden 1 dan rumah responden 3) dan sebagian terletak di wilayah kontur yang lebih rendah (rumah responden 2 dan rumah responden 4). Gambar layout dan bangunan dapat dilihat pada gambar 4.4 hingga gambar 4.7. Jumlah sampel penelitian terdiri dari 4 unit rumah dengan konstruksi material yang berbeda yaitu memiliki perbedaan material batako dan bata merah. Selain itu juga terdapat perbedaan pada material atap dari sampel penelitian yaitu ada yang menggunakan atap asbes dan ada yang menggunakan atap genteng tanah liat. Perbedaan dua material batako dan bata merah terletak pada nilai *u-value*, *time-lag*, *emittance* dan *decrement factor* (Szokolay, 2008). Perbedaan nilai-nilai

akan mempengaruhi kinerja termal bangunan terutama kondisi temperatur temperatur bangunan.



Gambar 4.4 Rumah Responden 1 Tanpa Perapian (UT-TP)

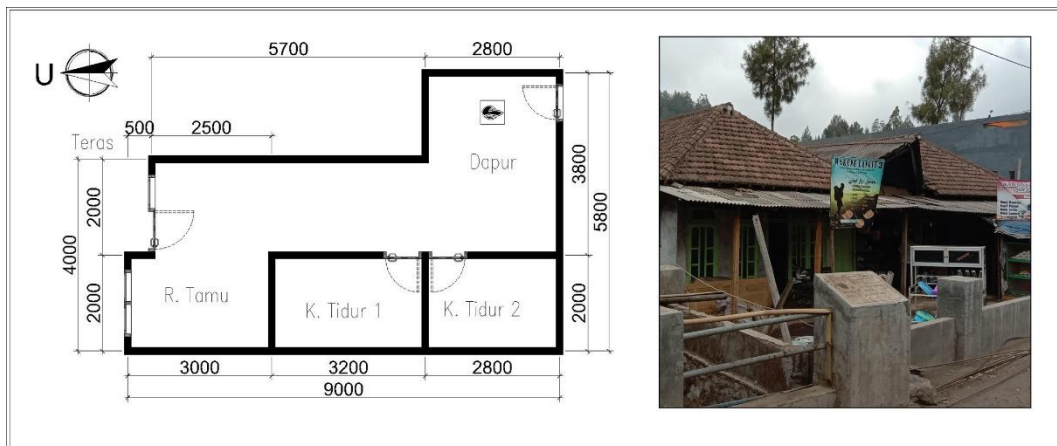


Gambar 4.5 Rumah Responden 2 Tanpa Perapian (AD-TP)

Rumah responden 1 dan responden 2 memiliki perbedaan letak dan kontur. Namun, keduanya merupakan rumah tanpa perapian dengan perbedaan material selubung bangunan (bata merah dan batako). Kedua rumah memiliki bentuk rumah modern dengan atap asbes. Kondisi organisasi ruang memiliki penataan yang hampir sama dengan adanya ruang tamu, kamar tidur, dapur dan teras. Luas dari kedua bangunan ini rata-rata 60-70 m².



Gambar 4.6 Rumah Responden 3 Dengan Perapian (AD-P)



Gambar 4.7 Rumah Responden 4 Dengan Perapian (BA-P)

Untuk rumah responden 3 berada di area dengan kontur tinggi dan rumah responden 4 di area kontur rendah dengan keduanya menggunakan perapian. Material selubung bangunan untuk rumah responden 3 menggunakan batako dan rumah responden 4 menggunakan bata merah. Sama halnya dengan kedua rumah sebelumnya, dua rumah ini memiliki bentuk arsitektur rumah modern dengan rata-rata luas 52-78 m². Kedua rumah di atas memiliki organisasi sama dengan teras, ruang tamu, kamar tidur, dan dapur.

Sebagaimana layaknya rumah tinggal bagi warga Suku Tengger, empat objek rumah tinggal yang dijadikan sampel penelitian ini memiliki layout ruang yang hampir sama. Ruang tamu yang ada tidak dipakai sebagaimana mestinya. Dari kebiasaan warga Ranupane apabila menerima tamu maka langsung

dipersilahkan ke ruang dapur, dan tidak diterima di ruang tamu. Hal ini karena ruang dapur memiliki perapian yang kondisinya lebih nyaman untuk dijadikan sebagai tempat berkumpul bersama keluarga atau tamu. Untuk konstruksi bangunan secara keseluruhan dijelaskan pada tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.1 Jenis Konstruksi dan Elemen bangunan Rumah Tanpa Perapian

Rumah Tanpa Perapian			
Rumah Responden 1 (UT-TP)			
Elemen Bangunan		Konstruksi	Dimensi
Lantai		Kramik	60 m ²
Dinding		Bata merah 15 cm	
Bukaan			9.8 m ²
	Pintu	Panel Kayu	
	Jendela	Jendela kaca frame kayu	
Plafon		Gypsum board	Tinggi 3m
Atap		Model pelana, mat. asbes rangka kayu	Kemiringan 35°
Rumah Tanpa Perapian			
Rumah Responden 2 (AD-TP)			
Elemen Bangunan		Konstruksi	Dimensi
Lantai		Kramik	49 m ²
Dinding		Batako 15cm	
Bukaan			9.8 m ²
	Pintu	Panel Kayu	
	Jendela	Jendela kaca frame kayu	
Plafon		Gypsum board	2.85 m
Atap		Asbes rangka galvalum	Kemiringan 15°

Tabel 4.2 Jenis Konstruksi dan Elemen bangunan Rumah Tanpa Perapian

Rumah Dengan Perapian			
Rumah Responden 3 (AD-P)			
Elemen Bangunan		Konstruksi	Dimensi
Lantai		Kramik	69,4m ²
Dinding		Batako 15cm	
Bukaan			12,8m ²
	Pintu	Panel Kayu	
	Jendela	Jendela kaca frame kayu	
Plafon		Gypsum board	Tinggi 3m
Atap		Beton rangka kayu	Kemiringan 40°
Rumah Dengan Perapian			
Rumah Responden 4 (BA-P)			
Elemen Bangunan		Konstruksi	Dimensi
Lantai		Kramik	39,5m ²
Dinding		Bata merah 15cm	
Bukaan			8,8m ²
	Pintu	Panel Kayu	
	Jendela	Jendela kaca frame kayu	
Plafon		Tanpa plafon	
Atap		Genteng tanah liat rangka kayu	Kemiringan 35°

4.5 Operasional Pengukuran

Pengukuran kondisi termal studi kasus rumah tinggal dalam penelitian ini dilakukan mulai tanggal 12 September sampai 17 September 2019. Pengukuran terdiri dari 4 buah rumah tinggal yang diukur secara bergiliran. Pengukuran tidak dapat dilakukan secara bersamaan karena keterbatasan peralatan dan waktu. Data iklim yang diukur meliputi temperatur outdoor, temperatur indoor, kelembaban udara, arah angin dan kecepatan angin. Temperatur outdoor diukur dengan menggunakan *Hobo Weather Station* yang diletakkan di luar bangunan. Penggunaan *Hobo Weather Station* ini juga pernah dilakukan oleh Wasilowski (2009) dengan merekam data untuk keperluan simulasi menggunakan DesignBuilder dalam penelitiannya. Pada saat pengukuran demi menjaga keamanan alat, *Hobo Weather Station* dipasang di atap cor dak bangunan. Alat ini selain dapat mengukur temperatur udara outdoor juga dapat mengukur kelembaban udara, arah angin dan kecepatan angin. Kemudian temperatur, kelembaban, dan kecepatan angin indoor diukur menggunakan *Hot Wire Anemometer* dan *WBGT Data Logger*. Masing-masing alat diletakkan pada ruang yang biasa digunakan untuk berkumpul oleh anggota keluarga, yaitu ruang tamu dan dapur.

4.6 Hasil Pengamatan dan Pengukuran

Hasil pengamatan dan pengukuran terhadap 4 buah rumah tinggal di Desa Ranupane yang dilakukan selama 4 hari, yakni berupa temperatur udara dalam, luar, arah dan kecepatan angin menunjukkan karakteristik yang berbeda-beda. Pengukuran ini mengambil sampel 2 buah rumah tinggal yang menggunakan perapian dan 2 buah rumah tinggal tanpa menggunakan perapian. Karena keterbatasan waktu dan peralatan, pengukuran dilakukan hanya satu hari (24 jam) untuk setiap rumah. Gambar 4.8 merupakan kondisi peletakan alat pengukuran di dalam dan di luar bangunan. Khusus untuk *Hobo Weather Station*, demi keamanan alat diletakkan di atas rumah tepatnya pada dak beton. Sesuai dengan petunjuk instruksi penggunaan alat, *Hobo Weather Station* juga sengaja diletakkan di atas rumah supaya terbebas dari halangan pepohonan dan dinding rumah di sekitarnya.



Gambar 4.8 Penempatan alat pengukuran

Tabel 4.3 menjelaskan kondisi eksisting bangunan dengan alat pengukuran yang di pasang pada tanggal tertentu. Pengukuran yang dilakukan selama 4 hari mendapatkan hasil data elemen iklim selama 24 jam. Elemen iklim tiap rumah yang diukur antara lain yaitu, temperatur, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi matahari baik di dalam bangunan (*indoor*) ataupun di luar bangunan (*outdoor*). Untuk alat yang dipasang di dalam bangunan diletakkan di ruang dapur dan ruang keluarga, sedangkan untuk alat pengukuran yang diletakkan di luar bangunan, berada di atas atap bangunan.

Tabel 4.3 Jenis peralatan, cara penempatan dan tanggal pemasangan

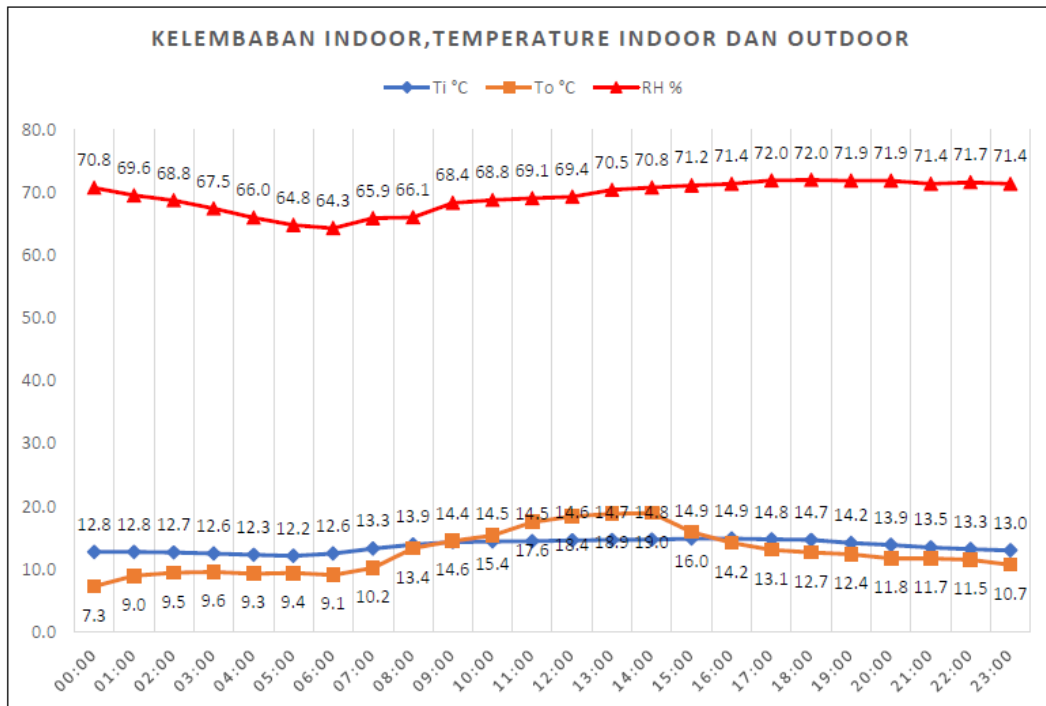
DATA	KETERANGAN	ALAT	CARA DAN PENEMPATAN	TANGGAL
Eksisting Bangunan	Dimensi	Meteran	Pengukuran pada objek bangunan	12-17 Sept 19
	Jenis Material	Kamera	pengambilan visual pada objek bangunan	12-17 Sept 19
Temperatur, kelembaban, kecepatan dan arah angin	Temperatur indoor	WBGT Data Loger	Ditempatkan di ruang tamu dan dapur	12-17 Sept 19
	Temperatur outdoor	Hobo Weather Station	Ditempatkan di luar bangunan	

DATA	KETERANGAN	ALAT	CARA DAN PENEMPATAN	TANGGAL
	Kelembaban	WBGT Data Loger	Ditempatkan di ruang tamu dan dapur	
	Kecepatan angin	Hot Wire Anemometer	Ditempatkan di ruang tamu dan dapur	
	Arah angin	Hobo Weather Station	Ditempatkan di luar bangunan	

Hasil Pengukuran Kondisi Iklim Sampel Penelitian

A. Rumah No.01 UT-TP (Rumah Responden 1 Tanpa Perapian)

Pada rumah pertama pengukuran dilakukan selama 24 jam dimulai pada tanggal 12 hingga 13 September 2019. Rumah No.1 ini adalah rumah kosong yang lama tidak dihuni. Di dalamnya tidak memiliki perapian. Posisi rumah pertama bagian depan menghadap ke timur, sedangkan bagian utara dan selatan langsung berdempetan dengan rumah tetangga. Pada gambar 4.9 menunjukkan grafik hasil pengukuran temperatur minimum di dalam ruangan (T_{i-min}) sebesar $12,2^{\circ}\text{C}$ terjadi pada pukul 05:00 dengan kelembaban sebesar 64,8%. Sedangkan temperatur maksimum di dalam ruangan (T_{i-max}) terjadi antara pukul 15:00 hingga 16:00 sebesar $14,9^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban udara 71,2% hingga 71,4%. Selama periode pengukuran 24 jam, rumah pertama ini memiliki temperatur rata-rata *indoor* sebesar $13,7^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban rata-rata sebesar 69,4%. Dilihat dari grafiknya, maka terlihat temperatur di dalam ruangan hampir cenderung konstan sepanjang hari. Hal ini disebabkan kondisi rumah pertama hampir tertutup selama 24 jam, sehingga sedikit sekali terjadi aliran udara di dalam ruangan. Untuk temperatur diluar ruangan, temperatur minimum (T_{o-min}) sebesar $7,3^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban udara sebesar 71,8% terjadi pada pukul 00:00. Sedangkan temperatur udara luar maksimum (T_{o-max}) terjadi pada pukul 14:00 sebesar 19°C dengan tingkat kelembaban udara sebesar 70,8%.

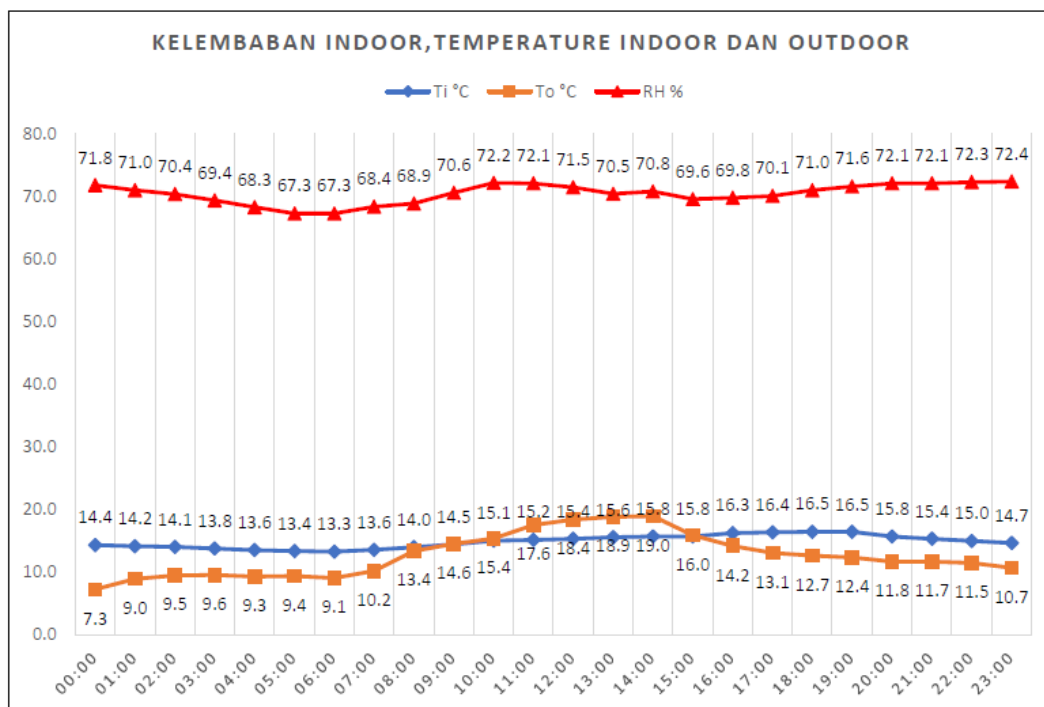


Gambar 4.9 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah no.1 UT-TP

B. Rumah No.02 AD-TP (Rumah Responden 2 Tanpa Perapian)

Pada rumah kedua pengukuran juga dilakukan selama 24 jam. Kondisi rumah kedua sama dengan rumah pertama, yakni belum ditempati karena baru saja mengalami renovasi. Di dalam rumah kedua ini juga tidak memiliki perapian di dalamnya. Posisi rumah kedua bagian depan rumah menghadap ke utara, sedangkan sisi timur berdempet dengan rumah tetangga dan sisi barat lapangan. Rumah kedua memiliki temperatur rata-rata sebesar 14,9°C dan kelembaban rata-rata sebesar 70,5%. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 temperatur minimum di dalam ruangan (Ti-min) sebesar 13,3°C hingga 13,4°C dengan kelembaban sebesar 67,3% terjadi antara pukul 05.00 hingga pukul 06.00 pagi. Sedangkan temperatur maksimum di dalam ruangan (Ti-max) sebesar 16,5°C dengan kelembaban udara sebesar 71,6% terjadi pada pukul 18:00 hingga 19:00. Untuk temperatur udara *outdoor* sama dengan yang dijelaskan pada rumah pertama, karena dilakukan pada waktu yang sama.

Dari kedua rumah di atas, yaitu rumah UT-TP dan AD-TP dengan kondisi tanpa perapian, memperlihatkan hasil temperatur yang masih dibawah tingkat kenyamanan. Dimana dengan temperatur rata-rata indoor sebesar 13,7°C dan 14,9°C masih masuk dalam kategori *cold discomfort* (Karyono, 2016).

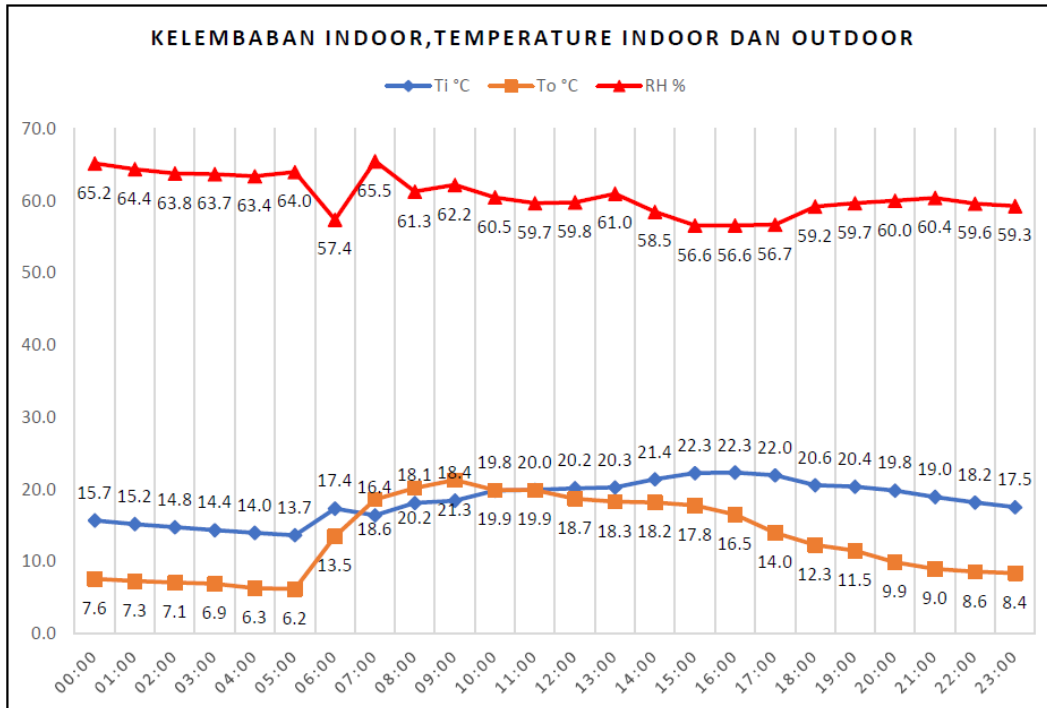


Gambar 4.10 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah No. 02 AD-TP

C. Rumah No.03 AD-P (Rumah Responden 3 Dengan Perapian)

Rumah ketiga diukur selama 24 jam dimulai dari pukul 12:00 siang hingga 11:00 siang esok harinya. Di dalam rumah ke tiga ini terdapat perapian yang terletak di dapur. Dilihat dari posisi bangunannya, rumah ketiga ini menghadap ke utara tepat ke arah jalan. Sedangkan disekelilingnya masih terdapat lahan kosong, dan agak berjauhan dengan rumah disebelahnya. Dari hasil pengukuran lapangan seperti ditunjukkan pada gambar 4.11, temperatur minimum di dalam ruangan (T_{min}) terjadi antara pukul 03:00 hingga 05:00 pagi hari dengan temperatur rata-rata 14°C dengan kelembaban udara sebesar 63,5%. Sedangkan peningkatan temperatur mulai terjadi pada pukul 06:00 sebesar 17,4°C dengan kelembaban 57,4% dan pada puncaknya di siang hari dengan temperatur maksimum sebesar 22,3°C dengan kelembaban udara sebesar 56,6%. Peningkatan temperatur ini

terjadi selain akibat aktivitas memasak juga karena meningkatnya temperatur luar yang mencapai temperatur 21°C di siang hari.

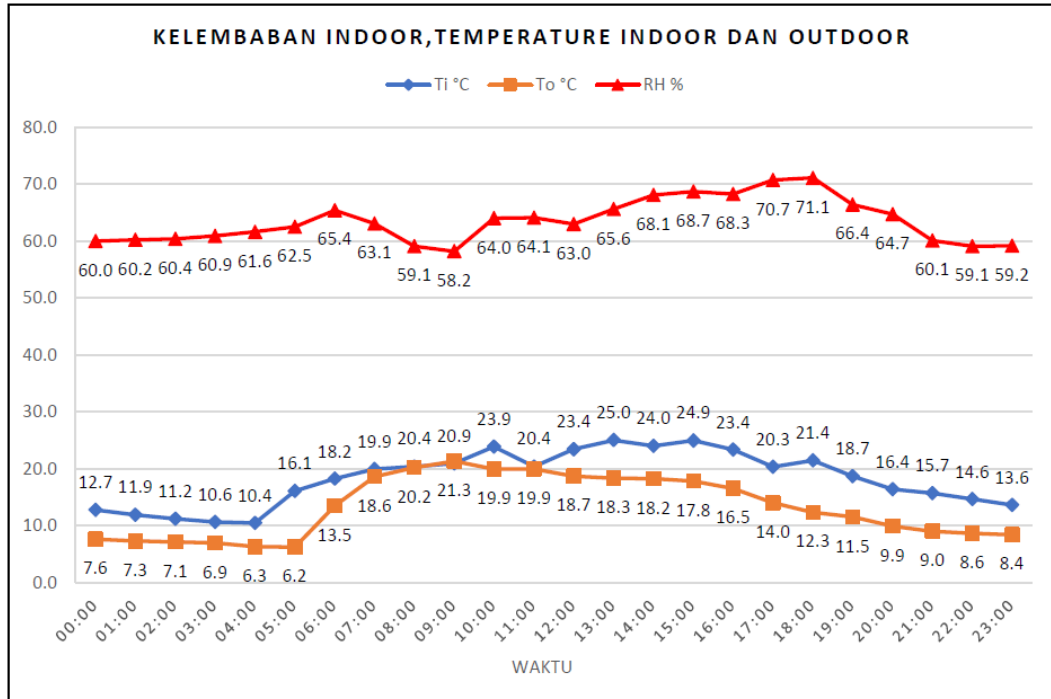


Gambar 4.11 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah No. 03 AD-P

D. Rumah No.04 BA-P (Rumah Responden 4 Dengan Perapian)

Pada rumah ke empat pengukuran juga dilakukan selama 24 jam dimulai pada siang hari pukul 12:00. Pada gambar 4.12 menunjukkan temperatur dalam (Ti) minimum terjadi sekitar pukul 02:00 hingga 04:00 pagi hari temperatur temperatur antara 11,2°C hingga 10,4°C dengan kelembaban udara sebesar 60,4% hingga 61,6%. Sedangkan temperatur maksimum di dalam ruangan (Ti-max) terjadi pada pukul 13:00 yaitu sebesar 25°C dengan kelembaban udara sebesar 65,6%. Temperatur di dalam ruangan ini mengikuti pola temperatur luar (To), dimana temperatur luar minimum (To-min) terjadi pada pukul 05:00 sebesar 6,2°C dengan kelembaban udara sebesar 62,5%. Kemudian untuk temperatur maksimum diluar ruangan sebesar 21,3°C dengan tingkat kelembaban udara sebesar 58,2%. Peningkatan temperatur di dalam ruangan yang dimulai pukul 05:00 terjadi akibat adanya aktifitas memasak. Tungku perapian hampir selalu menyala sepanjang hari. Sehingga pada siang hari di saat temperatur luar (To)

mencapai titik maksimum, menambah kondisi temperatur di dalam ruangan ikut meningkat hingga mencapai temperatur 25°C.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan kelembaban, temperatur udara dalam dan luar rumah No. 04 BA-P

Iklim mikro selama pengukuran yang dilakukan beberapa hari, memiliki kecendrungan temperatur rata-rata yang sama berkisar 12°C hingga 13°C dengan tingkat kelembaban udara antara 60% hingga 70%. Dari hasil pengamatan pada ke 4 rumah menunjukkan adanya perbedaan pola temperatur *indoor* antara rumah tanpa perapian dan rumah yang menggunakan perapian. Pada rumah tanpa perapian (UT-TP dan AD-TP) tren profil temperatur *indoor* cenderung konstan. Hal ini diakibatkan oleh sistem bukaan yang hampir selalu tertutup sepanjang hari, sehingga nilai ACH nol. Nilai ACH sangat dipengaruhi oleh bukaan pada selubung bangunan. Dengan adanya bukaan akan mempengaruhi terjadinya heat loss, sehingga mengakibatkan permasalahan *discomfort* (Koenigsberger, 1973). Selain itu juga tidak adanya pengaruh *internal heat gain*, dimana temperatur di dalam ruangan hanya mengandalkan *heat transfer* dari konduksi antar material. Hal ini sesuai dengan yang diutarakan oleh Lechner (2015), bahwa heat transfer dapat terjadi selain akibat pengaruh dari kombinasi antara konduksi, konveksi dan

radiasi, juga dapat diakibatkan oleh perbedaan temperatur udara *indoor outdoor* dan *thermal resistance* material selubung bangunan. Berbeda dengan rumah tinggal yang menggunakan perapian (AD-P dan BA-P), pada kedua rumah tersebut cenderung memiliki tren profil temperatur *indoor* yang lebih variatif dengan kondisi temperatur yang lebih hangat. Hal ini selain dipengaruhi oleh *heat transfer* secara konduksi dari elemen material selubung bangunan, juga dipengaruhi oleh *internal heat gain* dari perapian. Temuan ini sangat sesuai dengan keadaan rumah tradisional Tambi yang berada di dataran tinggi tropis lembab tepatnya di Kecamatan Lore Tengah. Temuan ini menunjukkan sistem perapian sangat mempengaruhi tingkat kenyamanan termal di dalam bangunan (Fitriaty, 2012). Temperatur pada rumah no.3 dan no.4 mengalami peningkatan sekitar pukul 05:00 sampai dengan pukul 13:00. Kemudian mengalami penurunan sekitar pukul 16:00 hingga 00:00. Pola temperatur ini hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hermawan dkk (2018), pada bangunan vernakular di dataran tinggi Dieng Wonosobo. Dimana pada bangunan vernakular dengan material bata ekspos, temperatur mulai naik pada pukul 06:00 hingga pukul 11:00 dan mengalami penurunan pada pukul 14:00 hingga pukul 22:00.

BAB V

ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Iklim

Pada Lampiran 13, dapat dilihat data iklim didapatkan dari tahun 2015 sampai 2019 dengan kondisi bulan terdingin adalah Agustus dan Oktober sebagai bulan terpanas. Di bulan terdingin temperatur maksimum mencapai 16,8 °C dan temperatur minimum pada posisi 6,4 °C. Kelembaban udara di bulan terdingin mencapai 78,1% dengan curah hujan nol, sedangkan bulan terpanas kelembaban mencapai 74,5% dan curah hujan rata-rata kurang dari 0,02 mm. Untuk nilai radiasi matahari yang diterima di bulan terdingin mencapai 208,1 W/m² dan bulan terpanas dengan nilai lebih tinggi sebesar 249,9 W/m². Dengan kondisi temperatur rata-rata yang lebih rendah di bulan terdingin, kecepatan angin menunjukkan nilai lebih tinggi yaitu 1,99 m/s dibandingkan bulan terpanas yaitu 1,65 m/s; arah kecepatan angin dari kedua bulan rata-rata sama yaitu cenderung dari arah Tenggara. Dengan demikian, kondisi iklim secara umum di Desa Ranupane menunjukkan kondisi iklim yang relatif dingin dibandingkan kondisi elemen iklim secara umum di iklim tropis lembab. Tren iklim di Desa Ranupane mendukung hasil analisis dari Karyono (2016) dan Budiyaniti (2015) yang menyebutkan rata-rata iklim di dataran tinggi tropis lembab berkisar kurang dari 23 °C atau bahkan di bawah 0°C. Kondisi iklim ini menjadi permasalahan bagi kenyamanan termal masyarakat Ranupane, karena pada malam hari menjadi sangat dingin dan pada saat siang hari relatif dingin ke sejuk.

Analisis iklim berikutnya difokuskan pada penentuan temperatur netral di Desa Ranupane. Analisis didapatkan dengan memasukkan data iklim Desa Ranupane tahun 2019 yang diperoleh dari website *meteoblue.com* ke dalam program ARCHIPAK 5.1. Data yang dimasukkan ke program tersebut adalah temperatur rata-rata, temperatur maksimum, temperatur minimum, kelembaban rata-rata, radiasi matahari, dan curah hujan untuk setiap bulan. Maka, pada tabel 5.1 dapat dilihat temperatur netral (T_n) Desa Ranupane berkisar antara 21,7°C hingga 22,1°C. Ambang atas bernilai sekitar 24,5-24,6°C pada bulan Oktober hingga bulan Desember dan nilai ambang bawah sekitar 18,7°C terjadi di bulan

Juli dan Agustus. Hasil perhitungan nilai temperatur netral ini mendukung nilai rata-rata temperatur netral di daerah iklim gunung tropis lembab yang dirumuskan oleh Karyono (2016), yaitu berkisar 23°C atau kurang.

Tabel 5.1 Temperatur netral Desa Ranupane dengan Archipak

location		RANUPANE												display	print	exit
Outdoor																
under-/ overheated Kelvin-hours (re. comfort limits shown)																
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC				
To. average	13.8	13.8	13.3	13.8	13.2	12.5	11.7	11.6	13.0	14.3	14.7	14.6				
neutrality	21.9	21.9	21.7	21.9	21.7	21.5	21.2	21.2	21.6	22.0	22.1	22.1				
lower limit (base)	19.4	19.4	19.2	19.4	19.2	19.0	18.7	18.7	19.1	19.5	19.6	19.6	year totals			
UNDERheated	4176	3748	4432	4016	4458	4687	5254	5279	4414	3906	3594	3739	K-days			
upper limit (base)	24.4	24.4	24.2	24.4	24.2	24.0	23.7	23.7	24.1	24.5	24.6	24.6	2154			
OVERheated	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	00			

5.2 Data Input Archipak

Data *input* untuk penelitian simulasi merupakan data berdasarkan variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas terdiri dari material dan elemen selubung bangunan. Variabel terikat adalah kenyamanan termal. Variabel kontrol terdiri *internal gain*, sistem bukaan, dan orientasi bangunan. Untuk sistem bukaan yang mempengaruhi nilai ACH dijadikan sebagai variabel kontrol karena mempertimbangkan preferensi masyarakat di lokasi studi yang menghindari membuka jendela ataupun pintu terlalu sering. Jadi dalam penelitian ini bukaan serta orientasi bangunan ditetapkan sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut detail penjelasan proses pemodelan bangunan untuk simulasi baik bangunan eksisting (*based-case*) dan simulasi optimasi kinerja termal.

5.2.1 Data Model Bangunan dan Data Iklim

Data model bangunan yang disimulasikan terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama adalah simulasi yang dilakukan pada model *based-case* sesuai dengan kondisi bangunan di eksisting. *Based-case* model diambil berdasarkan pembahasan pada bab III, yang meliputi 4 model varian rumah tinggal di Desa Ranupane. Keempat model rumah dibagi menjadi 2 kelompok yaitu, rumah tanpa perapian dan rumah dengan perapian. Tahap kedua, dari hasil simulasi model *based-case* dipilih satu model bangunan dengan hasil yang paling optimal dengan

kondisi *underheating* paling rendah. Selain itu, pemilihan juga mempertimbangkan bentuk bangunan yang banyak dijumpai di Ranupane untuk mewakili ciri dan sifat yang sama dengan populasi model bangunan penelitian. Tahap ketiga, setelah model *based-case* terpilih, berikutnya melakukan simulasi optimasi dengan memasukkan data yang memiliki properti termal yang dapat memberikan perbaikan kinerja termal bangunan.

Dalam melakukan simulasi kinerja termal, data yang dimasukkan berupa luas bangunan, jenis material, orientasi bangunan, dan nilai properti termal selubung bangunan (Lampiran 5.1). Untuk *input* data iklim, tidak menggunakan data iklim mikro dari hasil pengukuran, karena hanya dilakukan pengukuran selama 5 hari. Sehingga, data iklim yang dimasukkan adalah data iklim makro tahun terakhir dari *meteoblue.com* untuk tahun 2019 (lampiran 13). Dari data iklim tersebut didapatkan kondisi bulan terdingin terjadi pada bulan Agustus dengan temperatur rata-rata sebesar 6°C dan kondisi bulan terpanas terjadi pada bulan Oktober dengan temperatur rata-rata sebesar 21°C.

5.2.2 Data Internal Heat Gain dan Air Change per hour (ach)

Data *internal heat gain* di ambil dari perhitungan beban panas total baik dari penghuni bangunan dan peralatan elektronik maupun non elektronik selama 24 jam. Jumlah *internal heat gain* yang dihasilkan oleh penghuni hanya pada rumah yang menggunakan perapian. Sedangkan, rumah tanpa perapian *internal heat gain* hanya dihasilkan dari lampu, karena tidak dihuni oleh pemilik rumah. Jumlah anggota keluarga pada masing-masing rumah dengan perapian yaitu 4 orang (AD-P) ayah, ibu, anak laki-laki dan anak perempuan, sedangkan rumah (BA-P) dihuni oleh tiga orang yaitu ayah, ibu, dan anak laki-laki dewasa. Jenis aktivitas ayah dan ibu diasumsikan hampir sama yaitu lebih banyak diluar rumah pada pagi hari antara pukul 8:00 hingga sore hari pukul 16:00. Penentuan aktivitas ini didasarkan pada wawancara dengan responden, yang umumnya masyarakat Ranupane beraktivitas berkebun pada siang harinya. *Internal heat gain* lainnya dihasilkan oleh lampu, peralatan masak, dan perapian yang digunakan pada jam-jam tertentu (Lampiran 14 sampai dengan Lampiran 17). Perhitungan data *internal heat gain* ini sama dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Fitriaty

(2012), yaitu disesuaikan dengan kondisi *internal heat gain* pada saat pengukuran di lapangan; agar hasil simulasi T_i akan sesuai dengan pengukuran di lapangan. Sedangkan, untuk perhitungan *air change per hour* (ACH) didapatkan dari perhitungan manual (Lampiran 8). Perhitungan ini juga disesuaikan dari hasil wawancara dengan responden. Dimana, aktivitas bukaan sengaja dikurangi supaya pertukaran udara di dalam bangunan terjadi minimal dan tidak mempengaruhi penurunan temperatur di dalam bangunan.

5.3 Verifikasi Hasil Pengukuran Lapangan dan Hasil Simulasi

Untuk melakukan verifikasi hasil kinerja model simulasi, maka sebelumnya perlu dilakukan kalibrasi antara hasil pengukuran lapangan dan simulasi *based-case*. Dalam melakukan kalibrasi dibutuhkan dua data utama yaitu, data simulasi berupa model *based-case* dan data pengukuran lapangan (Fabrizio dan Monetti, 2015). Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada perbedaan atau kesesuaian antara profil temperatur hasil pengukuran lapangan dengan profil temperatur hasil simulasi. Apabila hasilnya memenuhi persyaratan, maka dilakukan analisis kinerja termal lebih lanjut untuk model *based-case* yang lain dengan menggunakan data iklim makro yang didapat dari *meteoblue.com*.

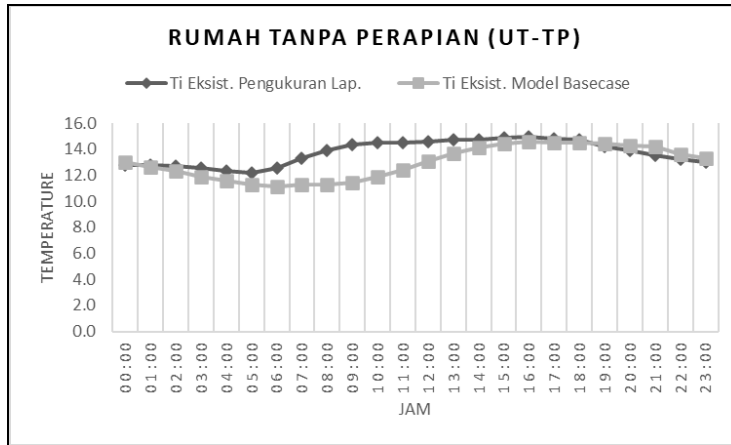
Kondisi termal pada bangunan sampel penelitian diidentifikasi dengan membandingkan temperatur netral dan temperatur luar (iklim makro). Dari hasil perhitungan melalui program ARCHIPAK 5.1 dan diambil di bulan September (sesuai dengan bulan pengukuran) didapatkan nilai temperatur netral sebesar 21,2 °C dengan nilai temperatur batas minimum 19,1°C dan batas maksimum 24,1 °C. Dari hasil simulasi antara profil temperatur hasil pengukuran dan simulasi terlihat menunjukkan perbedaan, dimana nilai temperatur hasil pengukuran lebih tinggi dibanding dengan hasil simulasi. Hal ini terjadi disebabkan karena *model based-case* dilakukan beberapa penyederhanaan pada elemen bangunan, serta data iklim yang dimasukkan berasal dari data iklim makro yang diperoleh dari *meteoblue.com*. Selain itu, perbedaan nilai juga disebabkan oleh nilai *internal heat gain* pada saat dilakukan pengukuran lapangan lebih besar dari pada simulasi yang berdasarkan pada asumsi perhitungan (Lampiran 14 – 17). Keputusan penyederhanaan model simulasi tersebut sesuai dengan pernyataan Maile dkk

(2010) yang menjelaskan, pada saat pelaksanaan simulasi sebuah model dibandingkan dengan objek saat pengukuran langsung terdapat berbagai penyederhanaan dan pengurangan data *input*, salah satunya data model bangunan dan data eksternal lainnya (iklim, ACH, *internal heat gain*, dan sebagainya). Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Kakon (2012), menyatakan hasil pengukuran lapangan dan hasil pengukuran simulasi memiliki rentan perbedaan yang masih dapat ditoleransi yaitu sebesar 2-4 K. Sehingga, perbedaan atau selisih nilai yang dihasilkan jika masih diambang batas kewajaran/toleransi yang ditetapkan, maka bisa digunakan untuk simulasi selanjutnya.

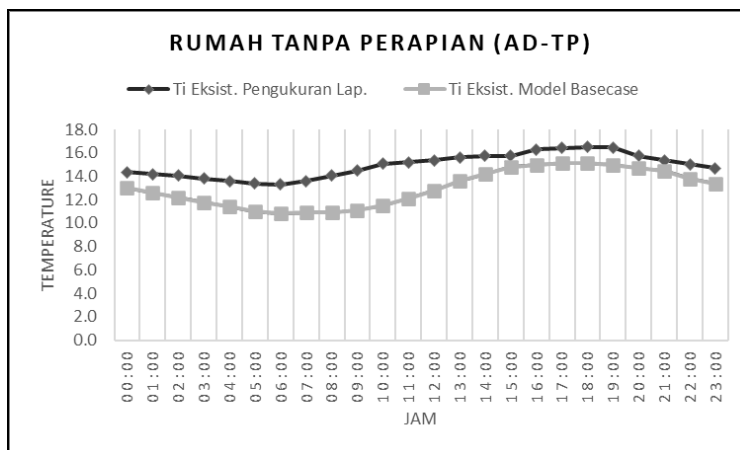
Untuk dapat melihat seberapa besar perbedaan antara hasil pengukuran dan hasil simulasi, maka dilakukan pengujian dengan membandingkan profil temperatur yang diukur selama 24 jam. Dalam simulasi ini model *based-case* terdiri dari 4 buah tipe rumah, yang terdiri dari 2 rumah tanpa perapian dan 2 rumah dengan perapian. Dari keempat tipe rumah tersebut menunjukkan nilai temperatur hasil pengukuran lapangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil simulasi. Namun, terdapat perbedaan yang mencolok pada selisih nilai temperatur antara tipe rumah tanpa perapian dengan rumah yang menggunakan perapian. Hasil ini wajar, karena adanya input *internal heat gain* dapat mempengaruhi kinerja termal bangunan. Hasil ini didukung oleh hasil penelitian Zhang, dkk (2017) yang menunjukkan perbedaan perlakuan ventilasi dan *internal heat gain* akan mempengaruhi kinerja termal bangunan.

Pada Gambar 5.1 dan 5.2, menunjukkan 2 model *based-case* tanpa perapian, yaitu rumah responden 1 dan rumah responden 2 yang memiliki selisih temperatur rata-rata antara 1 dan 1.9 K. Selisih temperatur antara hasil pengukuran dari bangunan eksisting dan hasil simulasi model menunjukkan perbedaan cukup kecil, karena pada kedua model *based-case* hanya ada penyederhanaan pada elemen arsitektur dan tidak ada pengaruh *internal heat gain* (perapian) yang dimasukkan. Selain itu, nilai ACH tidak dimasukkan atau dianggap konstan, disesuaikan dengan bangunan eksisting yang saat pengukuran dalam kondisi tidak dihuni, tanpa perapian, serta tidak ada aktivitas pengoperasian bukaan selama 24 jam.

Aktivitas bukaan hanya terjadi pada saat pemasangan atau pengaturan alat instrumen pengukuran.



Gambar 5.1 Diagram perbandingan Ti eksisting dan Ti model *based-case* rumah tanpa perapian dengan material bata merah (UT-TP)

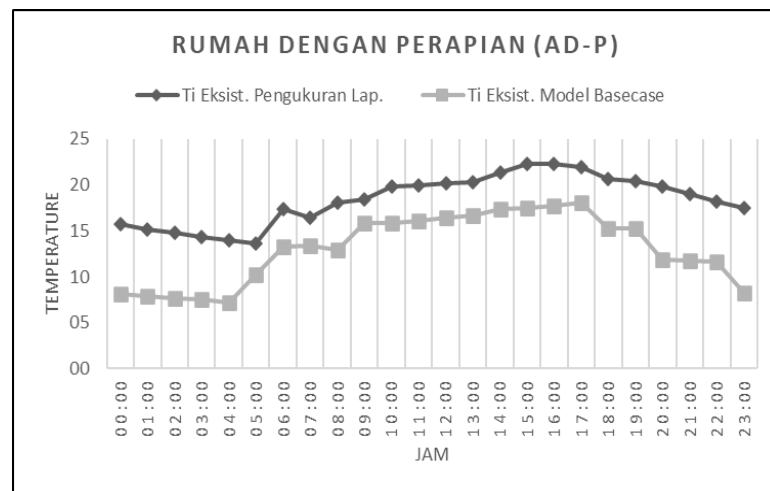


Gambar 5.2 Diagram perbandingan Ti eksisting dan Ti model *based-case* rumah tanpa perapian dengan material batako (AD-TP)

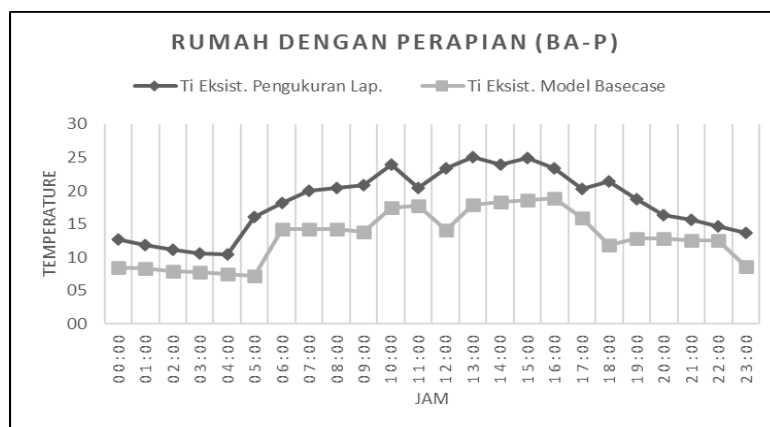
Gambar 5.1 dan 5.2 juga menunjukkan hasil untuk tren profil temperatur selama 24 jam baik pada model eksisting maupun model *based-case* menunjukkan tren yang hampir sama. Hal ini terlihat mulai pukul 01.00 dini hari temperatur dalam berangsur menurun sampai pukul 06.00 pagi, dan mulai mengalami kenaikan antara pukul 09.00 sampai dengan pukul 18.00. Karena pada saat pengukuran dan simulasi baik *internal heat gain* dan ACH dikondisikan konstan, maka profil temperatur baik Ti eksisting dan Ti model memiliki karakter profil yang hampir sama, dengan sedikit perbedaan nilai temperatur selama 24 jam.

Hasil analisis ini menunjukkan kesamaan dari hasil penelitian Zhang, dkk (2017), dimana keberadaan kondisi ventilasi (ACH) yang konstan, tidak akan memberikan pengaruh signifikan pada kinerja termal bangunan antara model pengukuran dan model simulasi; walaupun telah dilakukan penyederhanaan model.

Pada Gambar 5.3 dan 5.4 menunjukkan diagram perbandingan T_i eksisting dan T_i model *based-case* yang menggunakan perapian, yaitu rumah responden 3 (AD-P) dan responden 4 (BA-P). Pada saat dilakukan simulasi variabel berupa *internal heat gain* dan ACH dimasukkan sebagai pengganti kondisi perapian dan adanya aktivitas bukaan. Dari hasil perhitungan manual, didapatkan nilai ACH pada model AD-P sebesar 0,4 dan pada model BA-P sebesar 1,0.



Gambar 5.3 Diagram perbandingan T_i eksisting dan T_i model *based-case* rumah tanpa perapian dengan material batako (AD-P)



Gambar 5.4 Diagram perbandingan T_i eksisting dan T_i model *based-case* rumah tanpa perapian dengan material bata merah (BA-P)

Hasil simulasi menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara hasil pengukuran lapangan, yaitu selisih temperatur rata-rata sebesar 5,3 dan 5,2 K. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan tidak hanya oleh penyederhanaan model *based-case*, tetapi juga karena pengaruh memasukkan nilai *internal heat gain* dan ACH yang tidak sama dengan eksisting. Namun, trend profil temperatur dalam selama 24 jam menunjukkan tren yang hampir sama dengan temperatur dalam mulai turun pada pukul 18.00 dan nilai cukup konstan sampai pukul 05.00 pagi. Temperatur tertinggi terjadi antara pukul 10.00-16.00, karena pada saat tersebut nilai *internal heat gain* dan ACH cukup tinggi (aktivitas penghuni, adanya perapian dan aktivitas buka tutup bukaan).

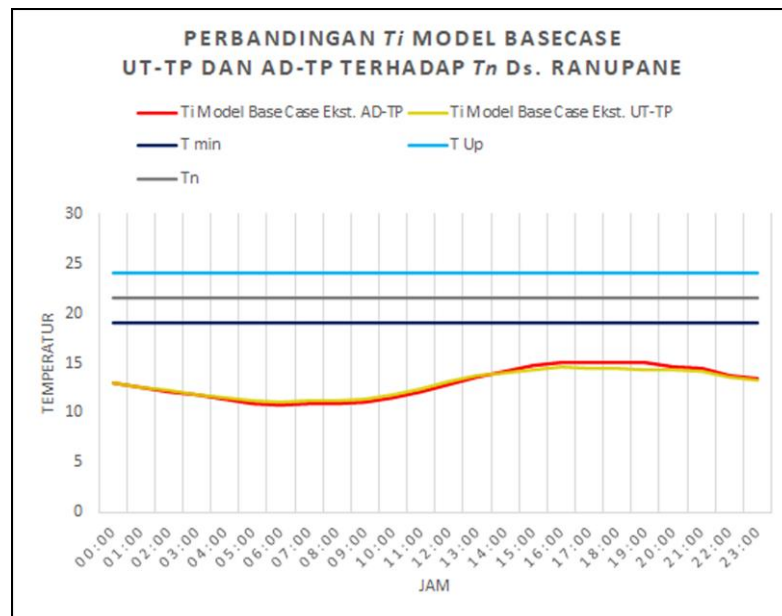
Dari hasil analisis perbandingan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa perbandingan hasil pengukuran dan simulasi pada model *based-case* rumah tanpa perapian (UT-TP dan AD-TP) memiliki selisih nilai yang kecil. Hal ini terjadi disebabkan oleh penyederhanaan bentuk dari bangunan eksisting menjadi model *based-case*. Sedangkan pada perbandingan hasil pengukuran dan simulasi pada rumah model *based-case* yang menggunakan perapian (AD-P dan BA-P), memiliki selisih nilai yang cukup besar. Hal ini selain karena adanya penyederhanaan model *based-case*, juga dapat diakibatkan oleh *input internal heat gain* yang tidak sama dengan kondisi eksisting. Walaupun terjadi dua perbedaan selisih antara model *based-case* yang menggunakan perapian dan tanpa menggunakan perapian, namun dari kecenderungan grafik profil temperatur menunjukkan tren yang hampir sama. Sehingga, dari hasil verifikasi simulasi ini dapat dijadikan acuan sebagai dasar dilakukan simulasi berikutnya.

5.4 Hasil Simulasi Bangunan Eksisting dan Penentuan Model *Based-Case* Simulasi Optimasi

Pemilihan model untuk simulasi ditentukan dari performa kinerja termal pada setiap bangunan eksisting yang diteliti. Disamping itu model yang diambil disesuaikan dengan bangunan yang memiliki karakteristik yang sering dijumpai di lapangan. Simulasi terhadap empat model bangunan eksisting perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi optimasi model karena terdapat banyak faktor eksternal dan keterbatasan dalam pengukuran di lapangan. Tahapan ini dilakukan

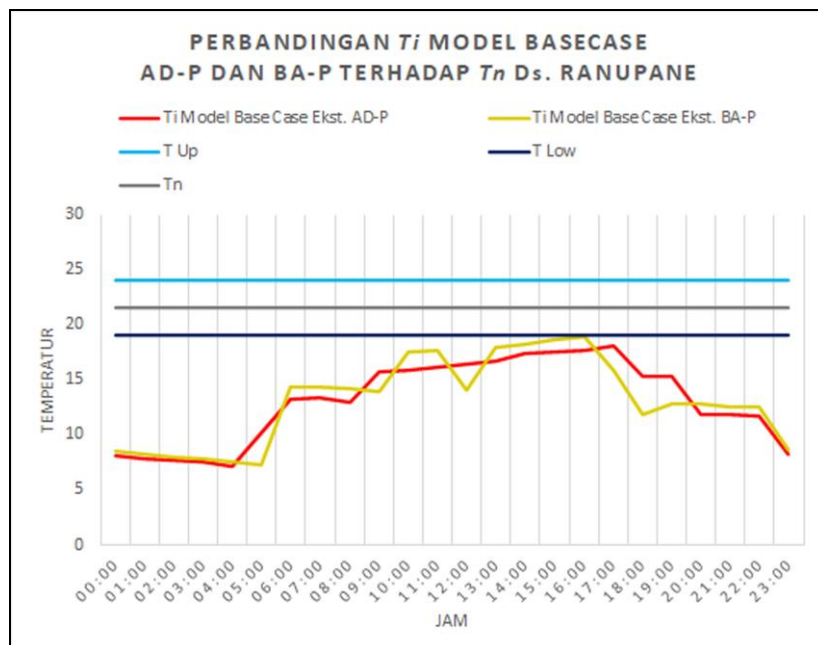
juga oleh Udawattha dan Halwatura (2016) yang dalam penelitiannya disamping melakukan eksperimen nyata yaitu membangun 3 (tiga) bangunan rumah dengan bentuk bangunan sama namun penerapan material berbeda, juga melakukan simulasi model dengan beberapa penyederhanaan model yang disesuaikan. Menurut Udawatta dan Halwatura (2016), simulasi model perlu dilakukan karena pengamatan dan pengukuran lapangan memiliki beberapa keterbatasan, antara lain orientasi bangunan, iklim mikro lingkungan setempat dan warna atap.

Berikut ini adalah ulasan dari keempat model *based-case* yang kemudian dipilih salah satu model untuk simulasi optimasi. Pada Gambar 5.5 memperlihatkan posisi grafik T_i hasil simulasi pada model *based-case* rumah tanpa perapian terhadap temperatur netral atau ambang nyaman Desa Ranupane. Dari grafik ini dapat dilihat bahwa temperatur *indoor* selama 24 jam belum mampu mencapai titik area temperatur netral. Dimana, temperatur netral pada bulan September berada pada temperatur ambang bawah $19,1^{\circ}\text{C}$ dan ambang atas $24,1^{\circ}\text{C}$. Temperatur rata-rata *indoor* pada kedua model *based-case* selama 24 jam hampir sama yaitu $12,9^{\circ}\text{C}$ dengan nilai lebih rendah 6 K dari ambang bawah temperatur netral.



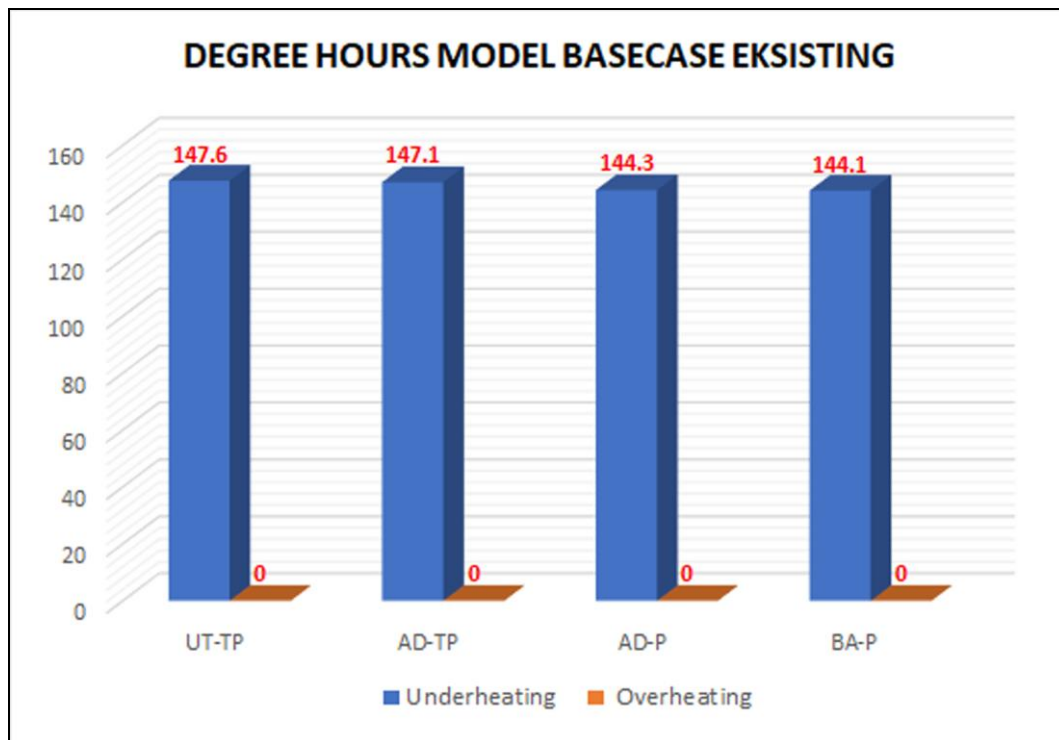
Gambar 5.5 Grafik perbandingan T_i model *based-case* terhadap T_n untuk rumah tanpa perapian dengan material bata merah (UT-TP) dan rumah (AD-TP) tanpa perapian dengan material batako.

Kondisi hampir sama dengan gambar grafik sebelumnya, gambar 5.6 juga memperlihatkan grafik perbandingan hasil simulasi temperatur *indoor* (T_i) model *based-case* yang menggunakan perapian, terhadap temperatur netral (T_n) atau ambang batas nyaman Desa Ranupane. Temperatur rata-rata model *based-case* AD-P dan BA-P memiliki nilai yang hampir sama, yaitu sekitar 13°C lebih rendah 6 K dari temperatur ambang bawah temperatur netral yaitu $19,1^\circ\text{C}$. Pada kedua grafik model *based-case* menunjukkan temperatur *indoor* mendekati kondisi nyaman terjadi sekitar pukul 07.00 hingga 19.00 WIB. Kondisi ini terjadi akibat pengaruh dari *internal heat gain* berupa perapian. Namun, meskipun terdapat *internal heat gain*, hasil simulasi menunjukkan temperatur *indoor* belum mampu mencapai temperatur ambang batas kenyamanan. Salah satu penyebabnya adalah adanya pertukaran udara dari dalam bangunan ke luar bangunan. Hal ini mendukung hasil penelitian Fitriaty (2012) pada rumah Tradisional Tambi. Pada Rumah Tradisional Tambi, temperatur di dalam bangunan belum mampu mencapai temperatur nyaman selain karena penggunaan material *lightweight*, juga dikarenakan adanya pertukaran udara atau infiltrasi udara pada elemen selubung bangunan.



Gambar 5.6 Grafik perbandingan T_i model *based-case* terhadap T_n untuk, rumah dengan perapian material batako (AD-P) dan rumah (BA-P) dengan material bata merah.

Perbandingan *degree hours* dari keempat simulasi model *based-case* eksisting pada gambar 5.7 menunjukkan *underheating* terbesar dicapai oleh model *based-case* UT-TP sebesar 147,6 K dan terendah dicapai oleh model *based-case* BA-P sebesar 144,1 K. Perbedaan antara keempat model tidak begitu jauh dan juga rata-rata masih mengalami kondisi *cold discomfort* sepanjang hari.



Gambar 5.7 Diagram degree hours model *based-case* eksisting

Selanjutnya analisis kinerja termal dilakukan dengan melihat pengaruh bentuk atau karakteristik bangunannya untuk melihat kondisi temperatur *indoor* dan *degree hours* untuk nilai *under heating* pada keempat model *based-case*. Pada model *based-case* UT-TP dan AD-TP memiliki karakteristik bentuk yang lebih menyerupai bangunan modern di daerah tropis pada umumnya. Pada kedua bangunan tersebut kurang memperhatikan kebutuhan pemakaian material atau layout ruang untuk daerah di dataran tinggi tropis lembab. Sedangkan, model *based-case* AD-P dan BA-P jika dilihat dari bentuk bangunan, bentuk *layout*, maupun karakteristik material yang digunakan, sangat mewakili bangunan rumah tinggal di dataran tinggi tropis lembab khususnya Desa Ranupane. Untuk model *based-case* AD-P, *layout* serta elemen selubung bangunan cenderung lebih

lengkap dibandingkan model *based-case* BA-P. Kondisi ini dapat dilihat pada komponen elemen atap pada model AD-P yang sudah menggunakan plafon. Sedangkan, pada model *based-case* BA-P tidak menggunakan plafon pada bagian ruang atapnya.

Dari hasil simulasi menunjukkan, bangunan UT-TP dengan material bata merah tanpa perapian memiliki nilai *underheating* paling tinggi, sedangkan bangunan BA-P dengan material bata merah dan menggunakan perapian memiliki *underheating* paling rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan perapian sebagai bagian nilai *internal heat gain* dapat mempengaruhi kinerja termal bangunan, walaupun saat ini cukup jarang diterapkan karena sudah tergantikan oleh penggunaan pemanasan elektrik (Ingeli dan Buday, 2019). Menurut Jannat, dkk (2020) beberapa faktor yang menentukan kinerja termal, antara lain variabel rancangan bangunan (orientasi, dinding, atap, tipe bukaan, bentuk, dan lain-lain), properti material (konduktivitas termal, kepadatan massa, kapasitas panas spesifik, dll.), data iklim (suhu, kelembaban, radiasi, kecepatan angin, dll.), dan data operasional bangunan (*internal gain*, pertukaran udara, dll.). Namun, menurut Hsieh dan Wu (2012) dalam Jannat, dkk (2020), selubung bangunan adalah faktor paling penting untuk mencapai efisiensi energi, terutama dalam mengurangi kebutuhan energi.

Karena selubung bangunan menjadi faktor penting dalam mempengaruhi kinerja termal bangunan, maka dari hasil simulasi menunjukkan perbedaan kinerja antara bangunan yang menggunakan bata merah dan batako. Pada model UT-TP dengan material bata merah menunjukkan akumulasi nilai *heat loss* lebih tinggi daripada model AD-TP dengan material batako yang keduanya tidak menggunakan perapian. Di lihat dari nilai *time-lag* dan *decrement factor*, bata merah memiliki *time-lag* sebesar 6,1 dengan *decrement factor* sebesar 0,54, sedangkan untuk material batako memiliki nilai *time-lag* 3 dengan *decrement factor* 0,93. Dari hasil penelitian Udawattha dan Halwatura (2016), merumuskan bahwa material bata (*brick*) memiliki *time-lag* tertinggi dan *decrement factor* terendah dibandingkan dua tipe material lainnya yaitu dinding semen berlubang (*hollow cement block*) dan blok beton lumpur (*mud concrete block*). Hasil ini

menunjukkan porositas tinggi dari batu bata membantu mengurangi suhu luar ruangan dan menciptakan efek pendinginan struktural dan bentuk jeda waktu. Hasil penelitian ini memiliki kesesuaian dengan penelitian Udawattha dan Halwatura (2016), bahwa material bata merah lebih memiliki kecenderungan kemampuan pendinginan struktural lebih baik daripada material batako yang memiliki porositas lebih rendah. Namun dalam konteks simulasi optimasi penelitian ini, pemilihan model *based-case* sebagai model optimasi tidak berdasarkan pada bangunan dengan material spesifik, tetapi lebih dilihat secara keseluruhan dari variabel rancangan bangunan termasuk bentuk bangunan (Jannat, dkk, 2020).

Dari diskusi di atas maka dapat disimpulkan, bahwa model *based-case* yang dipilih untuk mewakili simulasi optimasi pada tahap selanjutnya adalah rumah model *based-case* AD-P. Hal ini dikarenakan model *based-case* AD-P selain memiliki nilai *degree hours underheating* yang lebih rendah dari model *based-case* yang tanpa perapian, juga memiliki bentuk karakteristik bangunan yang paling mewakili rumah tinggal di Desa Ranupane. Lantai rumah menggunakan lantai keramik, dinding menggunakan batako, dan bagian atap menggunakan plafon gypsum sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 Rumah model *based-case* terpilih AD-P

5.5 Analisis Model *Based-case* Hasil Simulasi Optimasi

5.5.1 Data Input Material Selubung Bangunan

Dalam melakukan simulasi optimasi, data yang dimasukkan ke dalam simulasi bukan sekedar data acak yang diambil dari pangkalan data program ARCHIPAK 5.1. Data yang diambil adalah data material yang dilihat pada ketersediaannya di Desa Ranupane, apakah mudah didapatkan atau tidak. Selain itu, dipilih material yang memiliki *thermal properties* yang sesuai untuk kondisi iklim di daerah dataran tinggi tropis yang memiliki karakteristik temperatur cenderung lebih rendah dibandingkan dengan daerah iklim tropis lainnya. Kondisi iklim di Desa Ranupane memiliki karakteristik yang umum terjadi di daerah dengan kondisi iklim dingin memiliki permasalahan *underheating* terutama pada malam hari (Szokolay, 2008). Sehingga, memerlukan perlakuan khusus seperti perlu adanya energi panas tambahan, seperti adanya perapian dan meminimalisasi terjadinya *heat loss* khususnya di malam hari. Kondisi ini sangat berbeda dengan saran penelitian-penelitian sebelumnya, dimana pada iklim tropis kinerja termal bangunan akan lebih baik jika memaksimalkan *heat loss* dan mengurangi *heat gain* (Jannat, 2020; Zhang, Yi dkk, 2017; dan Udawattha dan Halwatura, 2016), karena konteks karakteristik iklim tropis yang berbeda. Selain itu, beberapa kriteria yang perlu diperhatikan adalah, rasio volume permukaan selubung bangunan, penambahan insulasi atau pemilihan material pada selubung bangunan dengan nilai *time lag* yang tinggi, pemilihan material dengan nilai *U-value* kurang dari 0,5W/m²K, dan memperhatikan infiltrasi udara pada selubung bangunan tidak lebih besar dari 0,5 ach (Szokolay, 2008).

Dari beberapa kriteria yang telah disebutkan di atas selanjutnya dipilih beberapa jenis material selubung bangunan yang ada di dalam *database* ARCHIPAK. Dalam simulasi optimasi ini berfokus pada elemen atap dan dinding dengan cara mengkombinasikan diantara kedua elemen bangunan tersebut dengan beberapa pilihan material sebagaimana ditunjukkan pada tabel 5.2. Pada material atap dipilih 2 material dengan bentuk atap datar dan atap pelana. Atap datar dengan kode R00 yang terdiri dari kombinasi material plat beton, plester, dan aspal. Dan yang kedua atap pelana dengan kemiringan 40° yang terdiri dari

kombinasi atap genteng dilapisi EPS 10cm dan plaster board. Kemudian pada elemen dinding juga akan dikombinasikan dengan 2 material yaitu, dinding dengan kode W37 yang terdiri dari batako berongga, EPS, bata merah, dan plaster. Dan yang kedua dengan kode W15 yang terdiri dari bata merah tebal 27cm, insulasi EPS 5cm, dan *plasterboard*.

Tabel 5.2 Data input material untuk simulasi optimasi

Kode Simulasi	Kode Material	Deskripsi Elemen Material	U-value	Admit.	Tlag	Decr.f	Abs	
ATAP	A1	R00	150 Conc. Slab+13 Plast+75 Screed+20 asphalt	1.8	5.7	7.2	0.41	0.6
	A2	R58	40deg Tiles+Sark+Attic+100EPS+plaster board	0.3	0.7	10	0.98	0.5
DINDING	D1	W37	C. Block, Hollow 100+cav+25EPS+105 Brick+13LighW.Plaster	0.67	3.5	7.4	0.4	0.4
	D2	W15	Brick 270+cav+ins. 50 EPS+10 Plasterboard	0.46	0.8	9	0.23	0.5

Sumber: ARCHIPAK 5.1

5.5.2 Rancangan Simulasi Optimasi

Pada tabel 5.3 menunjukkan kode kombinasi material selubung bangunan yang akan dilakukan simulasi. Dari hasil kombinasi tersebut didapatkan 4 (empat) buah model kombinasi material, yaitu A1D1, A1D2, A2D1, dan A2D2. Sebagaimana telah dijelaskan pada sub bab 5.5.1 dalam tabel 5.2, A1 dan A2 mewakili material atap dengan kode R00 dan R58. Sedangkan D1 dan D2 mewakili material dinding dengan kode W37 dan W15. Dari diskusi sebelumnya, faktor yang mempengaruhi kinerja termal bangunan adalah jenis material bangunan, bentuk atap, dan bukaan (jendela, kisi-kisi, ataupun pintu). Perbedaan material dapat menunjukkan perbedaan *time-lag* dan *decremental factor*, dimana kedua faktor ini akan mempengaruhi perpindahan panas dari luar bangunan ke dalam bangunan (Balaji dkk, 2014).

Tabel 5.3 Kombinasi simulasi elemen material selubung bangunan

KODE MAT.	DINDING 1 (D1)	DINDING 2 (D2)
ATAP 1 (A1)	A1-D1	A1-D2
ATAP 2 (A2)	A2-D1	A2-D2

Untuk rancangan simulasi optimasi yang diberlakukan dalam penelitian ini, kemudian variabel kontrol dipertimbangkan, termasuk perbedaan bulan terdingin dan terpanas, serta adanya pergantian udara di dalam bangunan (ACH), dan penggunaan perapian atau perhitungan internal gain di dalam bangunan. Dari kombinasi faktor-faktor ini maka ditentukan 32 kemungkinan model kombinasi (Tabel 5.4). Hasil simulasi ke 32 model kombinasi tersebut dapat dilihat pada lampiran 24-25.

Tabel 5.4 Model kombinasi simulasi dengan pertimbangan *internal heat gain*, *ACH*, bulan terdingin dan bulan terpanas

KODE	PERAPIAN				TANPA PERAPIAN			
	ACH 5.6		ACH 0.0		ACH 5.6		ACH 0.0	
	AGS	OKT	AGS	OKT	AGS	OKT	AGS	OKT
A1D1								
A1D2								
A2D1								
A2D2								

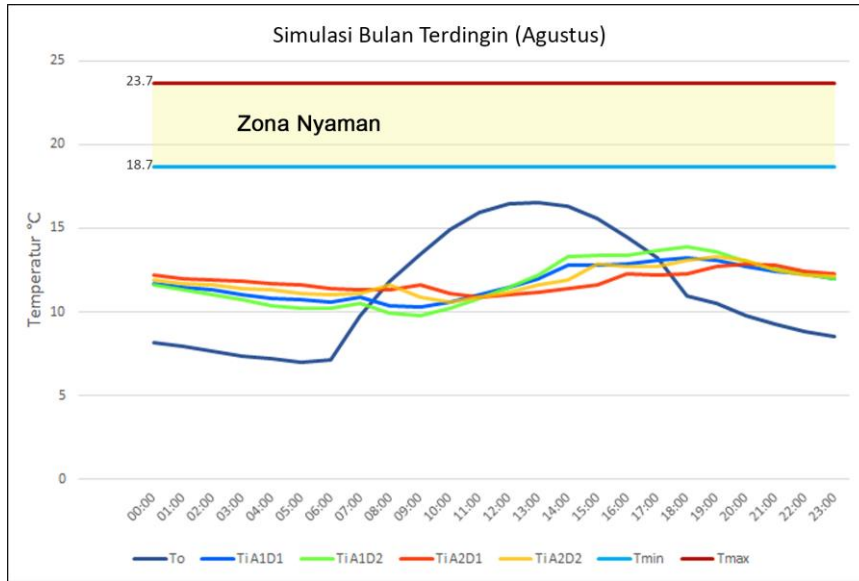
Dengan mempertimbangkan beberapa aspek rancangan simulasi untuk mencapai hasil yang paling optimum, maka rancangan **pertama** berkaitan dengan penentuan analisis kinerja difokuskan di bulan terdingin yaitu bulan Agustus. Penentuan ini dilakukan karena untuk melihat kinerja termal bangunan pada saat bulan terdingin yang memiliki temperatur yang paling rendah dengan akumulasi *underheating* paling tinggi. Selanjutnya, rancangan **kedua** berkaitan dengan nilai *ACH* yang dimasukkan. Umumnya kebiasaan masyarakat Ranupane tidak sering bahkan jarang melakukan bukaan pada rumah tinggal mereka. Hampir seluruh bukaan dalam kondisi tertutup, dan hanya beberapa yang kadang terlihat terbuka, yaitu pada pintu utamanya saja. Hal ini dilakukan supaya tidak banyak terjadi pertukaran udara dari dalam rumah ke luar lingkungan. Sehingga, kondisi ini dapat menjaga temperatur udara di dalam rumah lebih bersifat konstan. Kondisi ini didukung oleh pernyataan Idham (2015), bahwa salah satu prinsip perpindahan panas adalah terjadinya pergerakan udara dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Dengan kondisi temperatur di luar bangunan yang cenderung lebih rendah dari dalam bangunan, yang akan mudah menyebabkan terjadinya *heat loss*. Maka, pada rancangan ini bukaan dikondisikan tertutup, sehingga nilai *ACH* dianggap

bernilai nol atau konstan. Kemudian yang terakhir yaitu rancangan **ketiga** berkaitan dengan *internal heat gain*. Pada rancangan ketiga ini berfokus pada kinerja material, sehingga *internal heat gain* berupa perapian dimatikan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja termal yang dihasilkan oleh material selubung bangunan tanpa pengaruh dari panas yang dihasilkan oleh perapian. Setelah menentukan kondisi beberapa variabel kontrol seperti dijelaskan di atas, selanjutnya ditentukan kombinasi material yang telah ditentukan sebelumnya untuk dilakukan simulasi. Dari hasil simulasi, nantinya dilihat kombinasi mana saja yang dianggap paling optimal, terutama dilihat pada jam-jam tertentu yang dianggap memiliki temperatur maksimum.

Berikut ini dijelaskan analisis hasil simulasi yang dilakukan pada model *based-case* terpilih yaitu model AD-P. Namun, dalam simulasi ini *internal heat gain* berupa perapian dihilangkan, hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja termal material bangunan yang sesungguhnya tanpa pengaruh panas dari perapian. Dalam Gambar 5.9, grafik yang ditampilkan terdapat profil temperatur luar bangunan (T_o) yang diambil dari *meteoblue.com*. Profil temperatur luar tersebut merupakan kondisi rata-rata selama 1 bulan di bulan terdingin yaitu bulan Agustus. Selain itu juga dalam grafik ditampilkan profil temperatur *indoor* (T_i), dimana temperatur *indoor* ini merupakan hasil simulasi menggunakan ARCHIPAK 5.1 yang dikondisikan pada bulan Agustus pula.

Gambar 5.9 merupakan kondisi termal hasil simulasi terhadap 4 model *based-case* terpilih. Dari hasil simulasi keempat model *based-case* tersebut dapat diketahui semuanya hampir memiliki profil temperatur yang hampir sama dan hanya sedikit perbedaan saja. Dilihat dari kemiripan bentuk profil temperaturnya, keempat model simulasi ini dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu pertama A1D1 dan A1D2, kemudian kelompok kedua yaitu A2D1 dan A2D2. Profil temperatur kelompok pertama terjadi penurunan cukup drastis mulai jam 1:00 hingga jam 9:00, dan mengalami peningkatan cukup tinggi dibanding dengan kelompok 2 mulai jam 11:00 hingga jam 18:00. Hal tersebut disebabkan oleh material atap yang terbuat dari plat beton yang dilapisi plester dan aspal dengan nilai *time lag* 7,2 jam. Meskipun memiliki nilai *time lag* yang cukup panjang, namun tidak

cukup baik untuk menahan temperatur khususnya di pagi hari. Hal ini senada dengan pernyataan Jannat, dkk (2020), yang menyatakan kondisi kenyamanan termal (khususnya di daerah dengan iklim dingin), belum mampu dicapai jika hanya bergantung pada kinerja material bangunan, namun perlu didukung kontrol dari sistem mekanis yang adaptif.



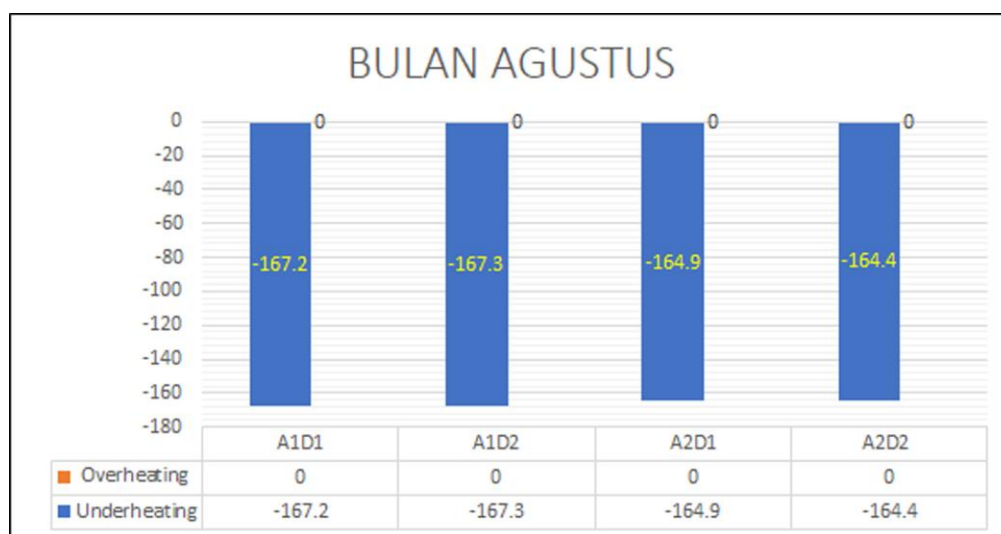
Gambar 5.9 Hasil simulasi model *based-case* perbandingan T_o dan T_i

Pada kelompok kedua profil temperatur cenderung lebih konstan, dimana penurunan temperatur di pagi hari tidak begitu drastis dan peningkatan temperatur di siang hari juga tidak begitu signifikan. Meskipun temperatur maksimal dari kelompok kedua ini tidak lebih dari 13,3 °C, namun dapat menjaga penurunan temperatur yang cukup lambat khususnya pada waktu dini hari dan pagi hari. Hal ini bukan hanya disebabkan oleh bentuk atapnya yang menggunakan model atap pelana, tetapi juga material atap yang digunakan berupa genteng yang dilapisi oleh insulasi *styrofoam* setebal 2,5 cm dan papan gypsum setebal 1,3 cm dengan nilai *time lag* sebesar 10 jam. Untuk kelompok model kedua ini yang memiliki kondisi termal paling baik adalah model *based-case* A2D2 dengan temperatur rata-rata sebesar 11,9 °C.

a. Analisis Degree Hours

Pada sub-bab ini mengevaluasi kondisi *degree hours* dengan cara melihat hasil selisih temperatur di dalam bangunan (T_i) terhadap ambang batas

kenyamanan temperatur netral. Ambang batas atas untuk melihat selisih *overheating* sedangkan ambang bawah untuk melihat selisih *underheating*. Batas tingkat kenyamanan pada bulan September berbeda dengan bulan agustus yang merupakan bulan terdingin. Pada bulan September rentang kenyamanan berkisar antara 19,1 °C – 24,1 °C, sedangkan pada bulan agustus rentang nyaman berkisar antara 18,7 °C - 23,7 °C. Dari hasil simulasi pada bulan terdingin (gambar 5.10) semua model *based-case* tidak ada yang menunjukkan kondisi *overheating*, akan tetapi hanya mengalami kondisi *underheating* saja. Kinerja model *based-case* yang terbaik ditunjukkan oleh model A2D2 dengan nilai *underheating* sebesar 164,4 K. Sedangkan kinerja yang paling buruk ditunjukkan oleh model A1D2 dengan nilai *underheating* sebesar 167.3 K. Dilihat dari nilai semua hasil simulasi model *based-case* di atas, menunjukkan selisih yang tidak begitu besar. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai properti termal yang tidak begitu besar, seperti nilai *time-lag*, *decerement factor*, dan *U-value*. Diskusi elemen material dibahas pada sub bab berikutnya.



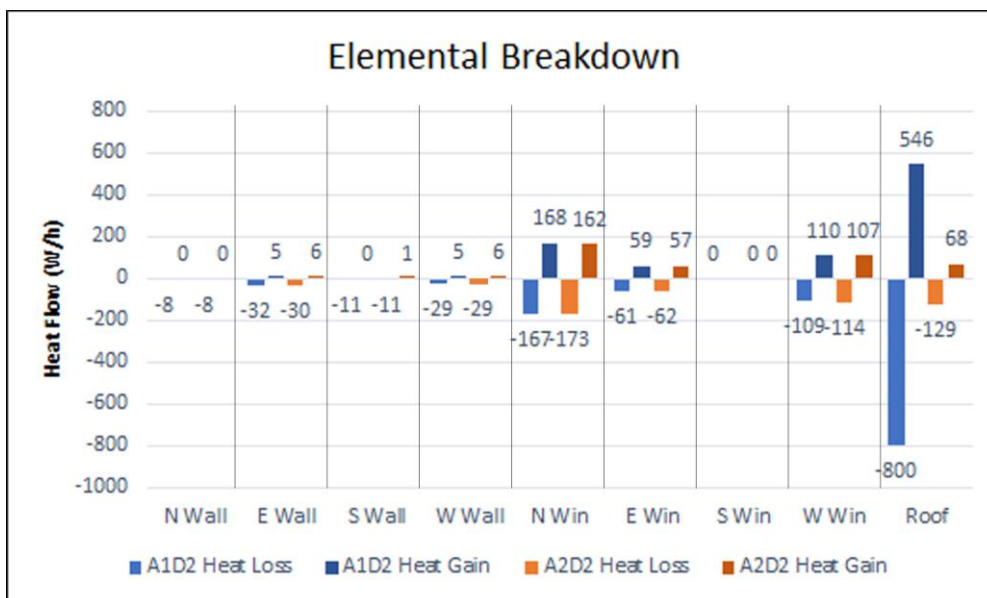
Gambar 5.10 Grafik perbandingan total degree hours hasil simulasi model *based-case* pada bulan terdingin.

b. Analisis Elemen Bangunan

Untuk mengetahui secara lebih detil tentang respon material pada elemen bangunan terhadap kondisi iklim sekitar, maka dapat dilakukan dengan mengevaluasi *elemental breakdown* yang didapatkan dari hasil simulasi

ARCHIPAK 5.1. Pada evaluasi *elemental breakdown* berikut ini akan fokus membahas model *based-case* dengan kinerja termal yang paling buruk (A1D2) dan model *based-case* dengan kinerja termal yang paling baik (A2D2).

Pada gambar 5.11 model *based-case* A1D2 terlihat memiliki nilai *heat loss* dan *heat gain* yang cukup besar dibandingkan model *based-case* A2D2. Hal ini karena dipengaruhi oleh bentuk atap model A1D2 yang menggunakan atap dak beton, sedangkan model A2D2 menggunakan atap genting pelana dengan kemiringan 40°. Elemen material atap pada model A1D2 memiliki nilai *U-value* 1.8, *admittance* 5.7, *T-lag* 7.2, *decrement factor* 0.41, dan *absorptance* 0.6. Sehingga dengan nilai *thermal properties* tersebut dapat lebih mudah meneruskan panas ke dalam bangunan di siang hari, namun dengan cepat pula melepaskan ke luar bangunan di malam hari. Hasil ini sejalan dengan temuan Malama dan Sharples (1997), dalam penelitiannya terhadap bangunan tradisional Zambia yang berada di dataran tinggi. Hasil penelitian Malama dan Sharples menunjukkan adanya sela-sela pada selubung bangunan membuat kinerja material tidak dapat bekerja secara maksimal walaupun menggunakan material dengan nilai *time lag* yang tinggi. Sela-sela pada selubung bangunan menyebabkan terjadinya infiltrasi udara yang membuat terjadinya *heat loss*. Sedangkan, pada model A2D2 elemen -



Gambar 5.11 Perbandingan *elemental breakdown* pada model A1D1 dan A2D2

material atap memiliki nilai properti termal *U-value* 0.3, *admittance* 0.7, *T-lag* 10, *decrement factor* 0.98, dan *absorptance* 0.5. Dengan nilai *thermal properties* tersebut atap model A2D2 lebih sedikit mampu menerima panas masuk ke dalam bangunan. Namun, dengan nilai *admittance* yang cukup rendah dan nilai *T-lag* yang cukup tinggi, model A2D2 cukup baik dalam mempertahankan temperatur konstan di dalam bangunan dibandingkan model A1D2.

Profil pada elemen dinding kedua model *based-case* memakai material yang sama dengan nilai *thermal properties* *U-value* 0.46, *admittance* 0.8, *T-lag* 9, *decrement factor* 0.23, dan *absorptance* 0.5. Sehingga, karakteristik material dapat cukup baik menahan *heat loss* karena memiliki *T-lag* yang cukup panjang. Sesuai dengan teori yang kemukakan oleh Szokolay (2008) dan Lechner (2015), bahwa untuk daerah dataran tinggi tropis dengan temperatur yang rendah sebaiknya menggunakan material dengan nilai *time lag* yang panjang. Sehingga, panas yang berada di dalam selubung bangunan dapat dilepaskan pada saat sore dan malam hari ketika temperatur rendah. Dari hasil penelitian ini menambahkan, untuk bangunan di daerah pegunungan tropis lembab selain memakai material dengan nilai *T-lag* yang panjang juga perlu ditambahkan insulasi material. Sehingga penggunaan kayu untuk perapian sebagai *internal heat gain*, dapat dikurangi.

Seperti pada elemen material dinding, elemen material bukaan kedua model *based-case* juga memakai jenis material yang sama. Namun, karena memakai jenis atap yang berbeda, maka nilai *heat loss* dan *heat gain* sedikit memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Terlihat pada bukaan sisi utara menunjukkan nilai pelepasan dan penerimaan panas yang paling besar dibandingkan dengan bukaan sisi lainnya. Hal ini cukup membantu dalam meneruskan panas dari luar untuk masuk kedalam, khususnya pada pagi dan siang hari.

Dari penjelasan analisis *elemental breakdown* di atas dapat diketahui bahwa meskipun model A1D2 menunjukkan nilai *heat gain* yang cukup besar dibandingkan model A2D2, namun kemampuan model A1D2 dalam menahan terjadinya *heat loss* tidak cukup baik. Sehingga pada kondisi malam dan pagi hari

terjadi penurunan temperatur yang cukup tinggi. Berbeda dengan model A2D2 yang memiliki kemampuan dalam menjaga temperatur di dalam bangunan untuk tidak mudah terjadi *heat loss*. Dengan demikian model A2D2 dapat lebih baik dalam menjaga temperatur indoor yang konstan sepanjang 24 jam.

Dari hasil optimasi pada keempat model menunjukkan, hasil analisis yang sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Szokolay (2008) dan Lechner (2015). Menurut Szokolay (2008) untuk daerah dataran tinggi tropis dengan temperatur yang rendah sebaiknya menggunakan material dengan nilai *time lag* yang panjang. Sehingga panas yang berada di dalam selubung bangunan dapat dilepaskan pada saat sore dan malam hari. Lechner (2015) juga menyatakan bahwa teknik *passive heating* pada bangunan yang berada di daerah dingin sebaiknya memperhatikan penggunaan material selubung bangunan yang memiliki nilai *thermal storage* yang tinggi. Lechner (2015) menyarankan menggunakan material beton atau bata dengan ketebalan tertentu untuk diaplikasikan pada bagian dinding dan atap. Balaji dkk (2014) dalam hasil penelitiannya menyimpulkan, Untuk mendapatkan nilai *time lag* dan *decrement factor* yang sesuai, maka disarankan untuk menggunakan kombinasi beberapa material dengan memperhatikan ketebalan dan properti materialnya. Karena *time lag* dan *decrement factor* merupakan salah satu faktor penting kinerja termal bangunan dalam meningkatkan kemampuan menyimpan panas pada elemen selubung bangunan (Asan, 1998).

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Strategi Masyarakat Ranupane Dalam Menghadapi Permasalahan Kondisi Kenyamanan Termal di Iklim Dataran Tinggi Tropis Lembab

Di Desa Ranupane yang memiliki iklim tropis namun dengan temperatur rendah sepanjang hari (siang dan malam), membutuhkan strategi desain bangunan yang khusus dibandingkan dengan bangunan di daerah iklim tropis lainnya. Strategi bangunan di daerah tropis lembab dikondisikan untuk memaksimalkan pelepasan panas di dalam bangunan tercapai kenyamanan termal. Dengan kondisi temperatur yang cukup rendah, masyarakat di Desa Ranupane saat ini belum memiliki strategi khusus untuk memodifikasi selubung bangunan agar kinerja termal bangunan menjadi lebih baik. Masyarakat lebih mengandalkan penggunaan perapian dan mempertebal pakaian untuk menghadapi temperatur dingin sepanjang hari. Perapian bagi masyarakat Ranupane sudah merupakan suatu bagian dari budaya. Hal ini terlihat dari cara masyarakat Ranupane dalam menerima atau menjamu tamu. Pada saat menerima tamu tidak di depan rumah atau ruang tamu, tetapi langsung di persilahkan ke dapur. Hal ini mengindikasikan perapian merupakan faktor penting dalam menambah *internal heat gain* dan menaikkan temperatur di dalam ruangan. Hasil temuan ini menambahkan pernyataan dari hasil penelitian yang menemukan bahwa perapian merupakan indikator paling besar dalam meningkatkan internal heat gain (Ingeli dan Buday, 2019).

Karena masyarakat Ranupane rata-rata bekerja sebagai petani, maka aktivitas keseharian dari pagi sampai siang atau sore ke ladang dan baru beristirahat pada malamnya. Kondisi ini menyebabkan masyarakat lebih membutuhkan kenyamanan termal di dalam bangunan pada saat malam hari terutama ketika aktivitas tidur. Apabila masyarakat Ranupane tidak bekerja atau pulang dari berkebun, aktifitas lebih banyak berada di dalam rumah. Kondisi rumah umumnya bukaan selalu dalam kondisi tertutup. Hanya bukaan pintu saja yang sedikit terbuka untuk menandakan di dalam rumah ada penghuninya. Aktifitas masyarakat Ranupane yang selalu menjaga bukaan dalam kondisi

tertutup bertujuan supaya temperatur di dalam bangunan tidak cepat keluar (*heat loss*). Hal ini yang mendasari pada saat dilakukan simulasi optimasi, model *based-case* dikondisikan dalam keadaan bukaan tertutup yang ditandai dengan nilai ACH 0. Sehingga hasil optimasi akan fokus pada kinerja termal material selubung bangunan. Sedikit berbeda dengan hasil penelitian yang menemukan bahwa aktifitas bukaan jendela tidak memiliki pengaruh yang besar terjadinya heat loss di dalam bangunan dibandingkan dengan bukaan selalu tertutup; asalkan aktifitas bukaan tidak sering atau lebih dari 5% (Jack dkk, 2016).

6.2 Pengaruh Elemen Material Selubung Bangunan Terhadap Kinerja Termal Bangunan Rumah Tinggal di Desa Ranupane

Baik kapasitas panas dan ketahanan termal dinding luar akan memiliki efek yang signifikan pada kemampuan untuk mengatur lingkungan *internal* dengan mengatur desain bangunannya (Pohl, 2011). Kondisi ini berarti, jenis material dinding bangunan menentukan tingkat penyerapan panas (*heat gain*) pada saat siang hari, dan mampu menyimpannya sampai saat panas dilepaskan pada malam hari. Tranfer panas material pada malam hari dapat memiliki efek positif untuk peningkatan temperatur dalam bangunan terutama di daerah Ranupane yang memiliki temperatur lingkungan yang rendah di bawah nilai nyaman sepanjang hari. Selain itu, jenis material dan ketebalan material juga memengaruhi kinerja termal bangunan (Aldawi, dkk, 2012).

Atap menjadi perhatian besar sebagai media transmisi panas terutama pada saat siang hari. Sedangkan menurut studi yang dilakukan oleh Richards (1957) dalam Pohl (2011) di Afrika Selatan menunjukkan tinggi langit-langit atau plafon tidak memiliki efek signifikan pada ventilasi, temperatur dalam ruangan, atau subjektifitas sensasi radiasi dari permukaan langit-langit internal permukaan. Hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa ketinggian langit-langit/plafon minimum agar mencapai kenyamanan termal di dalam bangunan adalah 2,5 meter atau 8 ft. Dalam penelitian ini, tinggi plafon ditentukan 3 meter dan jenis atap dikombinasikan antara rumah yang menggunakan atap dak beton dan atap genteng pelana dengan kemiringan 40°. Dari kedua kombinasi tersebut ditemukan bahwa kinerja yang paling maksimal bangunan rumah yang memiliki atap genteng pelana

dengan kombinasi material untuk dinding yaitu batako, insulasi EPS, bata merah dan finishing plester dengan total ketebalan kurang lebih 25 cm.

Penelitian ini menambahkan konteks penelitian di dataran tinggi, yang sebelumnya dilakukan pada daerah tropis pada umumnya. Penelitian ini berbeda dengan penelitian lainnya yang berusaha untuk melepaskan *heat loss* dalam mencapai kenyamanan termal. Dalam penelitian ini justru berusaha menjaga supaya tidak terjadi adanya *heat loss* pada bangunan yang menyebabkan temperatur di dalam bangunan turun. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Udawattha dan Halwatura (2016) di daerah iklim tropis Srilanka. Meningkatnya temperatur di dalam bangunan berusaha untuk di keluarkan dengan pemilihan material selubung bangunan yang memiliki porositas yang tinggi. Berbeda juga dengan hasil temuan penelitian di desa Kalianget Madura, tingkat kenyamanan termal pada rumah tinggal sangat dipengaruhi oleh banyaknya bukaan, luas jendela, dan orientasi bangunan (Utami, 2014).

6.3 Saran

- Kelebihan dari penelitian ini adalah adanya strategi penelitian yang melakukan pengukuran di lapangan di daerah yang cukup sulit yaitu di daerah dataran tinggi Ranupane. Pengukuran dilakukan selama 5 hari dengan mengukur semua elemen iklim termasuk temperatur, kelembaban, radiasi dan kecepatan angin. Pengukuran dilakukan tidak hanya di dalam 4 bangunan rumah tinggal terpilih, namun juga dilakukan di luar bangunan (lingkungan termal luar). Namun, karena keterbatasan alat dan waktu pengukuran dilakukan bertahap dan berbeda waktu untuk setiap rumah dan juga hanya dilakukan antara 1-2 hari. Kondisi ini menyebabkan tidak dapat melihat kondisi iklim mikro ataupun kinerja termal bangunan secara menyeluruh dan bersamaan. Sehingga disarankan untuk penelitian mendatang diperlukan peralatan yang cukup dan lengkap serta waktu yang cukup agar dapat dilakukan pengukuran secara bersamaan dan minimal dilakukan selama 7-14 hari.

- Dalam melakukan optimasi kinerja termal, penelitian ini hanya mefokuskan pada satu model bangunan yang merupakan model yang paling umum ditemukan di lokasi penelitian. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dapat dimungkinkan membuat beberapa model bangunan dengan memperhatikan semua variasi bangunan yang ada di lingkungan studi.
- Untuk program simulasi, penelitian ini menggunakan program ARCHIPAK 5.1 yang memiliki kelebihan dan kelemahan tersendiri. Sehingga, perlu adanya variasi penggunaan program lain untuk dapat dilakukan verifikasi hasil penelitian dengan penelitian mendatang.
- Dari hasil studi optimasi yang telah dilakukan untuk daerah dataran tinggi tropis yang memiliki kondisi *underheating* hampir selama 24 jam seperti Ranupane. Menunjukkan bahwa konstruksi material selubung bangunan yang ada saat ini belum mampu mengatasi permasalahan kondisi iklim dataran tinggi tropis lembab. Sehingga bagi perancang atau arsitek disarankan untuk selain menambah ketebalan pada material dindingnya juga menambahkan insulasi pada bagian dinding serta atap bangunan.
- Saran untuk perancang/arsitek, perlu upaya tersendiri untuk merancang bangunan terutama di lingkungan iklim yang unik seperti di pegunungan Ranupane. Walaupun perancang atau arsitek dapat melakukan berbagai modifikasi ketika merancang bangunan, juga perlu memperhatikan potensi dan permasalahan lingkungan terutama ketersediaan material, kebiasaan atau aktivitas masyarakat, tipe bangunan, dan kondisi iklim lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE (2014), Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- Aldawi, F. dkk (2013), Effect of climates and building materials on house wall thermal performance. 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. *Procedia Engineering* 56 (2013) 661 – 666
- Alfred, P. J. Antaryama, I. G. N. Nastiti, S. (2015), Desain Rumah Niang Dalam Merespon Kondisi Termal di Dataran Tinggi. Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Alfred, D.D. dkk (2016), Kinerja Termal Rumah Niang di Dataran Tinggi Tropis Lembab di Distrik Manggarai. *Atrium Jurnal Arsitektur* Vol.2 No. 1
- Asan, H. (1998), Effects of Walls Insulation Thickness and Position on Time Lag and Decrement Factor. *Energy and Buildings* 28(3):299-305.
- Assawamartbunlue, K. (2013), An Investigating of Cooling and Heating Degree Hours in Thailand. *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 1, No. 2 ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013
- Balaji, dkk (2014), Thermal Performance of The Building Walls. the 1st IBPSA Italy conference. Free University of Bozen-Bolzano. Italia
- Budiyanti, S. (2015), Analisis Deskriptif Aktifitas dan Potensi Komunitas Desa “Enclave” Ranu Pani Zona Pemanfaatan Tradisional, Kecamatan Senduro, Kab. Lumajang, Wilayah Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS). hal. 8.
- Bolattürk, A. (2007), Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree Hours in The Warmest Zone of Turkey.
- Creswell, J.W. (2009), Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 3rd Edition.

- Coskun, C. (2010), A Novel Approach to Degree Hour Calculation: Indoor and Outdoor Reference Temperature Based Degree Hours Calculation.
- Dewi, P. (2011), *Peran Perapian Dalam Rumah Tinggal Masyarakat Tengger, studi kasus: Desa Ngadisari Tengger*. Ph.D., Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Elsland, R. Peksen, I. Wietschel, M. (2014), “Are Internal Heat Gain Underestimated in Thermal Performance Evaluation of Building?” 6th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-14” *Energy Procedia* 62 (2014) 32-41
- Evans, Martin (1980), *Housing, Climate and Comfort*, The Architectural Press, London
- Fabrizio, E. Monetti, V. (2015), “Methodologies and Advancements in the Calibration of Building energy Models,” *Open Access Energies*, 8, 2548-2574.
- Fitriaty, P. (2012), *Aspek Termal Rumah Tradisional Tambi*. Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- Given, L.M. (2008), *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods*.
- Groat, Wang, (2013), *Architectural Research Methods*, 2nd Edition.
- Jamaludin, N. Mohammed, N. I. Khamidi, M.F. Wahab, S. N. A. (2014), *Thermal Comfort of Residential Building in Malaysia at Different Micro Climates*.
- Haliim, W. (2018), *The Dynamics of Bromo Tengger Semeru National Park Land Conservation Policy Implementation*.
- Hermawan. Prianto, E. Setyowati, E. (2014), *The Difference of Thermal Performance Between Houses with Wooden Walls and Exposed Brick Walls in Tropical Coasts*.
- Hermawan. Prianto, E. Setyowati, E. (2018), *Studi Tipologi Rumah Vernakular Pantai dan Gunung, Studi Kasus di Kabupaten Demak dan Kabupaten Wonosobo*. *Jurnal PPKM III*, 259-266

- Hermawan. Sunaryo. Kholil, A. (2020), “The Analysis of Thermal Performance of Vernacular Building Envelope in Tropical High Lands Using Ecotect” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 423 (2020) 012004
- Hidayat, S. dan Adam, L. (2014), *Kebudayaan Suku Tengger*, Makalah, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Humphreys, M.A. (1992), Thermal Comfort Requirements, Climate and Energy. *In Proceedings of 2nd WREC Conference*, Reading, UK, 13-18 September
- Humphreys, M.A. (1997), An Adaptive to Thermal Comfort Criteria. *Naturally Ventilated Buildings*. Chapter Seven, Ed. D. Clements-Croome.
- Idham, N.C. (2016), *Arsitektur dan Kenyamanan Termal*
- Ingeli, R. Buday, P. (2019), “Alaysis of The Impact of The Fireplace Heating on The Eney Performance of The Family House”. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*. 2020
- Jack, R. Loveday, D. Allinson, D. Lomas, K. (2016), “Quantifying the Effect of Window Opening on The Measured Heat Loss of a Test House”. *Sustainable Ecological Engineering Design*. pp 183-196
- Jannat, N. Hussein, A. Abdullah, B. Cotgrave, A. (2020), “Comparative Simulation Study of The Thermal Performance of The Building Envelope Wall Materials in The Tropics”. *Sustainability*, 2020, 12, 4892. MDPI, Basel, Switzerland.
- Jens Pohl (2011), *Building Science. Concepts and Application*. Wiley & Blackwell
- Karyono, T. H. (2001), “Penelitian Kenyamanan Termis di Jakarta Sebagai Acuan Temperatur Nyaman Manusia Indonesia”, *Dimensi Teknik Arsitektur* Vol. 29, No. 1 Hal. 24-33.
- Karyono, T. H. (2013), *Ar.sitektur dan Kota Tropis Dunia Ketiga*.

- Karyono, T. H. (2016), *Arsitektur Tropis Bentuk, Teknologi, Kenyamanan, & Penggunaan Energi*.
- Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay. (1973), *Manual of Tropical Housing and Building, Part 1 Climate Design*.
- Kristianto, M.A. Utama, N.A. Fathoni, A.M. (2014), Analyzing Indoor Environment of Minahasa Traditional House Using CFD. *Procedia Environmental Science* Vol 20, 172-179
- Latha, P.K. Darshana, Y. Venugopal, V. (2015), *Role of Building Material in Thermal Comfort in Tropic Climate*.
- Latifah, N.L. Perdana, H. Prasetya, A. Oswald, P.M.S. (2013), *Kajian Kenyamanan Termal Pada Bangunan Student Center ITENS Bandung*.
- Lechner, N. (2015), *Heating Cooling Lighting, Sustainable Design Methods for Architects*.
- Lei, Jiawei. Yang, Jinglei. dan Yang, E.H. (2015), *Energy Performance of Building Envelopes Integrated with Phase Change Material for Cooling Load Reduction in Tropical Singapore*.
- Lippsmeier, G. (1994), *Bangunan Tropis*.
- Maile, Fischer and Bazjanac (2012), *A Method to compare measured and simulated data to assess building energy performance. CIFE Working paper #WP127. Stanford University*.
- Markus, T.A. Moris, E. N. (1980), *Building Climate and Energy*.
- McMullan, R. (2007), *Environmental Science in Building*
- Mirrahimi, S. Mohamed, M.F. Haw, L.C. Ibrahim, N.L.N. Yusoff, W.F.M. dan Aflaki, A. (2014), *The Effect of Building Envelope on The Thermal Comfort and Energy Saving for High-Rise Building in Hot Humid Climate*.
- Mumovic, Deja dan Santamouris, Mat. (2009), *A Handbook of Sustainable Building Design & Engineering*.

- Mumovic, D. Santamouris, M. (2009), *A Handbook of Sustainable Building Design & Engineering*.
- Nada, S. A. El-Batsh, H. M. Elattar, H. F. Ali, N. M. (2016), *CFD Investigation of Airflow Pattern, Temperature, Distribution, and Thermal Comfort of UFAD System for Theater Building Applications*.
- Natarajan, S. Rodriguez, J. Vellei, M. (2015), *A field Study of Indoor Thermal Comfort in The Subtropical Highland Climate of Bogota, Colombia*.
- Nayak, J.K. and Prajapati, J.A. (2006), *Handbook on Energy Conscious Buildings*.
- Neuman, L., (1997), "Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches in Social Works", New York: Columbia University
- Nematchoua, M.K. Orosa, J.A. (2015), *Building Construction Materials Effect in Tropical Wet and Cold Climate, case study: Office Building in Cameroon*.
- Nugroho, A.M. (2008), *Arsitektur Tropis Nusantara: Rumah Tropis Nusantara Kontemporer*.
- Oberkampf, W.L. (2004), *Verification and Validation in Computational Simulation*.
- Oktay, Z. Cosku, C. Dincer, I. (2011), *A New Approach for Predicting Degree Hours and Energy Requirments in Building*.
- Olesen, B. W. (1982), *Thermal Comfort*.
- Ossen, Dilshant R., Ahmad, M. H. et al. (2008), "Thermal Performance of Prototype Malaysian Traditional Timber House", *2nd ISESEE International Seminar Malaysia*, 80-90
- Paramita, B. Koerniawan, M.D. (2012). *Solar Envelope Assessment In Tropical Region Building, case study: Vertical Settlement in Bandung, Indonesia*.

- Pertiwi, E.A. Ruja, I.N. Budijanto, (2013), *Karakteristik keluarga anak putus sekolah dasar Suku Tengger (studi kasus Desa Ranu Pani Kecamatan Senduro Kabupaten Lumajang)*
- Permenhut No. P. 56/MenhutII/2006, tentang Pedoman Zonasi Taman Nasional
- Priatman, J. (1999), *Tradisi dan Inovasi Material Fasade Bangunan Tinggi.*
- Pohl, J. (2011), *Building Science Concepts and Application.* First Edition.
- Rabah, K. Mito, C.O. (2003), *Pre-Design Guideline for Passive Solar Architectural Building in Kenya.*
- Ruiz, G.R., & Bandera, C.F. (2017), “Validation of Calibrated Energy Models: Common Errors”. *Energies.*
- Sari, N.P.G. 14 September (2014), *Program Penunjang Kerja Arsitek.*
www.genahsari.wordpress.com
- Santosa, M. (1994), “Rancangan Geometri dan Konstruksi Atap Sebagai Aspek Penentu Tingkat Kenyamanan Hunian Bangunan”, Lembaga Penelitian Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Shahzad, S. Brennan, J. Theodossopoulos, D. Calautit, J.K. Hughes, B.R. (2018), “Does A Neutral Thermal Sensation Determine Thermal Comfort?” *Building Services Engineering Research & Technology* 0 (0) 1-13
- Sugini, (2014), *Kenyamanan Termal Ruang. Konsep dan Penerapan pada Desain.*
- Sukowiyono, G. (2004), *Sistim Termal Rumah Tinggal Masyarakat Tengger Ngadas.* Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- Szokolay, S. V. (2008), *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design.*
- Szokolay, S.V. (1987), *Thermal Design of Buildings*

- Udawattha, C. Halwatura, R. (2016), “Thermal performance and structural cooling analysis of brick, cement block, and mud concrete block, *Advances in Building Energy Research*, Volume 12, 2018
- Utami, R. Handayani, K.D. (2014), *Pengaruh Elemen Bangunan Terhadap Kenyamanan Termal Penghuni Bagi Rumah Kolonial di Kalianget*.
- Wang, S. K. (2001), *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*.
- Wasilowski, H.A. & Reinhart, C.F. (2009), Modelling an Existing Building in DesignBuilder/Energy Plus: Custom versus Default Inputs. *Eleventh International IBPSA Conference*.
- Wastiels, L. Wouters, I. (2009), Material Considerations in Architectural Design: A Study of the Aspects Identified by Architects for Selecting Materials.
- Wiley, A. S. J. Sons. (2012), Advanced building technologies for sustainability.
<http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/>
https://id.wikipedia.org/wiki/Franz_Wilhelm_Junghuhn
https://id.wikipedia.org/wiki/Gunung_Seme
- Zainazlan, M. Z. Taib, M.N. Shahrizam, M. S. B. (2007), “Hot and Humid Climate: Prospect for Thermal Comfort in Residential Building” *Journal of Desalination* 209, 261-268
- Zhang, Yi, dkk (2017), “Effect of Summer Ventilation on the Thermal Performance and Energy Efficiency of Buildings Utilizing Phase Change Materials”. *Energies* 2017, 10, 1214. MDPI, Basel, Switzerland.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Properti Termal Material Lantai

PROPERTIES OF SOME FLOORS

		list	another	print	exit							
code	element	description				U-val.		admitt		tlag. decr. abs		
f30	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 6 x 4 m	1.09	6.00	0.0	0.00							
f31	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 6 x 6 m	0.96	6.00	0.0	0.00							
f32	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 10 x 6 m	0.79	6.00	0.0	0.00							
f33	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 10 x 10 m	0.65	6.00	0.0	0.00							
f34	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 20 x 10 m	0.51	6.00	0.0	0.00							
f35	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 20 x 20 m	0.38	6.00	0.0	0.00							
f36	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 40 x 10 m	0.45	6.00	0.0	0.00							
f37	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 40 x 20 m	0.29	6.00	0.0	0.00							
f38	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 40 x 40 m	0.22	6.00	0.0	0.00							
f39	slab on ground, 4 edges exp. 270 wall, 100 x 40 m	0.16	6.00	0.0	0.00							

Lampiran 2. Properti Termal Material Dinding

PROPERTIES OF SOME WALLS

		list	another	print	exit							
code	element	description				U-val.		admitt		tlag. decr. abs		
w00	brick, 105, unplastered	3.28	4.26	2.5	0.87	0.50						
w01	brick, 220, unplastered	2.26	4.70	6.0	0.54	0.50						
w02	brick, 105, inside 13 plaster	3.02	4.14	2.9	0.83	0.50						
w03	brick, 220, inside 13 plaster	2.14	4.51	6.4	0.49	0.50						
w04	brick, 105, inside 13 lightweight plaster	2.59	3.31	3.0	0.82	0.50						
w05	brick, 220, inside 13 lightweight plaster	1.91	3.57	6.6	0.46	0.50						
w06	brick, 105, inside 10 plasterboard on battens	2.72	3.51	2.9	0.83	0.50						
w07	brick, 220, inside 10 plasterboard on battens	1.98	3.81	6.5	0.47	0.50						
w08	brick, 105, ins.10 foilback plasterboard on batten	2.72	3.51	2.9	0.83	0.50						
w09	brick, 220, ins.10 foilback plasterboard on batten	1.98	3.81	6.5	0.47	0.50						
w20	concr.blck.hollow 100 +13 plastering	2.76	3.37	1.8	0.93	0.40						
w21	concr.blck.hollow 200+13 plastering	1.93	3.62	4.2	0.75	0.40						
w22	concr.blck.hollow 200, 25 EPS, 10 plasterbd	0.79	1.15	5.3	0.57	0.40						
w23	concr.blck.hollow 200, cav.+25 EPS+10 plbd	0.69	1.03	5.4	0.56	0.40						
w24	LW concr.blck.200 +cav+10 plast.bd on battens	0.68	1.78	7.3	0.46	0.40						
w25	LW concr.blck.200+cav+10 foilback plbd	0.64	1.61	7.5	0.44	0.40						
w26	LW.conc.blck.200,+25 EPS+10 plasterboard	0.50	1.11	8.1	0.36	0.40						
w27	LW.concr.blck.200+cav+25 EPS+10 plasterbd	0.46	1.01	8.2	0.34	0.40						
w28	concr.blck.medium 200+cav+10 plasterboard	1.23	2.27	7.9	0.35	0.40						
w29	concr.blck.medium 200+cav+10foilback plbd	1.12	1.96	8.0	0.33	0.40						
w30	brck 105+cav+100 dense concr.blck+13LWpl	1.59	4.25	7.9	0.31	0.40						
w31	brick 105+cav+50EPS+100dense blck+13LWpl	0.49	4.39	9.4	0.20	0.40						
w32	brick 105+cav+100LWblock+13LWplaster	0.92	2.16	7.1	0.54	0.40						
w33	brick 105+cav+50EPS+100LWblck+13LWplast	0.40	2.39	8.7	0.40	0.40						
w34	c.blck.dense 100+cav+105 brick+13LWplaster	1.49	3.34	7.9	0.40	0.40						
w35	c.blck.dense100+50UFfoam+105 brck+13LWpl	0.57	3.61	9.2	0.27	0.40						
w36	concr.blck.hollow100+cav+105 brck+13LWplast	1.30	3.43	6.4	0.51	0.40						
w37	c.blck.hollow100+cav+25EPS+105brck+13LWpl	0.68	3.59	7.4	0.40	0.40						
w38	LWblck100+cav+105brck+13LWplaster	0.88	3.52	7.6	0.40	0.40						
w39	LWblck100+50 UFfoam+105brck+13LWplast	0.45	3.62	9.0	0.31	0.40						
w80	200 solid block, ins plastered	1.63	4.13	7.1	0.31	0.50						
w81	200 solid block, 25 EPS, ins plastered	0.86	4.17	7.6	0.22	0.50						
w82	--											
w83	--											
w84	--											
w85	Brick 335 Plastered	1.79	4.50	9.9	0.26	0.90						
w86	Brick 335 + 10mm Plasterboard	1.60	3.80	10.0	0.25	0.90						
w87	--											
w88	--											
w89	--											

Lampiran 3. Properti Termal Material Buka

PROPERTIES OF SOME OPENINGS						list	another	print	exit	
code	element	description				U-val. admitt		sgf	asgf1	asgf2
o10	wood frame 20%	single clear 6mm glass				5.00	5.00	0.8	0.64	0.47
o11	wood frame 20%	single surface tinted glass				5.00	5.00	0.6	0.53	0.41
o12	wood frame 20%	single body tinted glass				5.00	5.00	0.5	0.47	0.38
o13	wood frame 20%	single + reflective film				5.00	5.00	0.3	0.29	0.23
o14	wood frame 20%	single highly reflective glass				5.00	5.00	0.2	0.17	0.15
o15	wood frame 20%	double: clear+clear glass				2.90	2.90	0.6	0.56	0.42
o16	wood frame 20%	double: surf. tinted+clear glass				2.90	2.90	0.5	0.43	0.34
o17	wood frame 20%	double: body tinted+clear glass				2.90	2.90	0.4	0.37	0.30
o18	wood frame 20%	double: reflective+clear glass				2.90	2.90	0.3	0.25	0.21
o19	wood frame 20%	double: reflective sealed unit				2.90	2.90	0.2	0.14	0.11

code	element	description				U-val. admitt		sgf	asgf1	asgf2
o20	wood frame 20%	single clear 6mm glass				4.70	4.70	0.8	0.64	0.47
o21	wood frame 30%	single surface tinted glass				4.70	4.70	0.6	0.53	0.41
o22	wood frame 30%	single body tinted glass				4.70	4.70	0.5	0.47	0.38
o23	wood frame 30%	single + reflective film				4.70	4.70	0.3	0.29	0.23
o24	wood frame 30%	single highly reflective glass				4.70	4.70	0.2	0.17	0.15
o25	wood frame 30%	double: clear+clear glass				2.80	2.80	0.6	0.56	0.42
o26	wood frame 30%	double: surf. tinted+clear glass				2.80	2.80	0.5	0.43	0.34
o27	wood frame 30%	double: body tinted+clear glass				2.80	2.80	0.4	0.37	0.30
o28	wood frame 30%	double: reflective+clear glass				2.80	2.80	0.3	0.25	0.21
o29	wood frame 30%	double: reflective sealed unit				2.80	2.80	0.2	0.14	0.11

Lampiran 4. Properti Termal Material Atap

PROPERTIES OF SOME ROOFS						list	another	print	exit	
code	element	description				U-val. admitt		tflag	decr.	abs
r00	150 conc. slab+13plaster+75screed+20asphalt					1.87	5.79	7.2	0.42	0.60
r01	150 conc. slab +13 plast +40scr +10bit. felt					2.32	5.71	5.8	0.54	0.60
r02	150 c. slab+13plst 40scr +25EPS +10bit. felt					0.87	5.92	7.1	0.31	0.60
r03	150 c. slab+13plst+40scr+50EPS +10bit. felt					0.54	5.94	7.3	0.28	0.60
r04	150 c. slab+13plst+40scr +75EPS +10bit. felt					0.39	5.95	7.5	0.26	0.60
r05	150LWc slab+13plst+75scr+20asphalt					1.21	4.10	8.7	0.40	0.60
r06	150LWc slab+13plst+40scr+10bit. felt					1.39	4.09	7.0	0.54	0.60
r07	150LWc slab+13plst+40scr+50EPS +10bit. felt					0.47	4.10	9.2	0.22	0.60
r08	150aerated c. slab+13plst+40scr +10bit. felt					0.79	2.52	5.5	0.75	0.60
r09	150aerated c. slab+13plst+40scr+50EPS+10bit. felt					0.37	2.55	8.6	0.28	0.60

code	element	description				U-val. admitt		sgf	asgf1	asgf2
o10	wood frame 20%	single clear 6mm glass				5.00	5.00	0.8	0.64	0.47
o11	wood frame 20%	single surface tinted glass				5.00	5.00	0.6	0.53	0.41
o12	wood frame 20%	single body tinted glass				5.00	5.00	0.5	0.47	0.38
o13	wood frame 20%	single + reflective film				5.00	5.00	0.3	0.29	0.23
o14	wood frame 20%	single highly reflective glass				5.00	5.00	0.2	0.17	0.15
o15	wood frame 20%	double: clear+clear glass				2.90	2.90	0.6	0.56	0.42
o16	wood frame 20%	double: surf. tinted+clear glass				2.90	2.90	0.5	0.43	0.34
o17	wood frame 20%	double: body tinted+clear glass				2.90	2.90	0.4	0.37	0.30
o18	wood frame 20%	double: reflective+clear glass				2.90	2.90	0.3	0.25	0.21
o19	wood frame 20%	double: reflective sealed unit				2.90	2.90	0.2	0.14	0.11

code	element	description				U-val. admitt		tflag	decr.	abs
r40	tiles+sark 30deg +cav +10plasterboard (parallel)					2.55	2.58	0.3	1.00	0.50
r41	tiles+sark 30deg +cav +25timber (parallel)					2.21	2.10	0.8	0.99	0.50
r42	tiles+sark 30deg +cav +25EPS +25timb. (parallel)					0.93	1.50	1.2	0.97	0.50
r43	tiles+sark 30deg +cav +50EPS +25timb (parallel)					0.59	1.48	1.4	0.97	0.50
r44	tiles+sark 30deg +cav+100EPS +25timb (parallel)					0.34	1.52	1.9	0.96	0.50
r45	tiles+sark 40deg +cav +25timber (parallel)					2.50	2.10	0.8	0.99	0.50
r46	tiles+sark 40deg +cav +25EPS +25timber (parallel)					1.06	1.50	1.2	0.97	0.50
r47	tiles+sark 40deg +cav +50EPS +25timber (parallel)					0.67	1.48	1.4	0.97	0.50
r48	tiles+sark 40deg +cav+100EPS +25timber (parallel)					0.39	1.52	1.9	0.96	0.50
r49	tiles+sark 40deg +cav +foil +25timber (parallel)					2.17	1.91	0.9	0.99	0.50

code	element	description				U-val. admitt		tflag	decr.	abs
r50	50deg tiles+sarking +attic +10plasterboard					2.70	2.68	0.4	0.98	0.50
r51	50deg tiles+sark. +attic +25EPS +10plasterbd					0.92	1.06	0.5	0.99	0.50
r52	50deg tiles+sark +attic +50EPS +10plasterbd					0.56	0.80	0.6	0.99	0.50
r53	50deg tiles+sark +attic +100EPS +10plasterbd					0.31	0.71	1.0	0.99	0.50
r54	50deg tiles+sark +attic +foil +10plasterboard					2.22	2.22	0.4	0.98	0.50
r55	40deg tiles+sarking +attic +10plasterboard					2.65	2.64	0.3	0.99	0.50
r56	40deg tiles+sark +attic +25EPS +10plasterbd					0.92	1.05	0.5	0.99	0.50
r57	40deg tiles+sark +attic +50EPS +10plasterbd					0.55	0.80	0.6	0.99	0.50
r58	40deg tiles+sark +attic +100EPS +10plasterbd					0.31	0.71	1.0	0.99	0.50
r59	40deg tiles+sark +attic +foil +10 plasterboard					2.18	2.20	0.4	0.99	0.50

Lampiran 5. Tabel A.1a Rasio kecepatan angin terhadap sidit jatuh angin

Sudut Jatuh Angin (°)	Rasio Kecepatan Angin
0-40	0.35
50	0.3
60	0.25
70	0.2
80	0.14
90	0.08

Sumber: Mediastika, 2002

Lampiran 6. Tabel A.1b Angka koreksi permukaan

Tipe Daratan	Ventilasi 24 Jam (Negara Tropis Lembab)	Ventilasi pada malam hari (Negara Tropis Kering)
Tepi laut	1.3	0.98
Bandara atau dataran luas	1	0.75
Pedesaan	0.85	0.64
Tepi kota atau area industri	0.67	0.5
Pusat kota besar	0.47	0.35

Sumber: Mediastika, 2002

Lampiran 7. Tabel A.1c Tipe jendela dan area efektif yang mengalirkan udara

Tipe jendela	Luas efektif mengalirkan udara
Geser vertical satu	45%
Geser vertical dua	45%
Geser horizontal	45%
Gantung atas satu atau dua	75%
Membuka ke samping	90%
Jalusi atau krapyak	75%
Membuka ke atas	45%

Sumber: Mediastika, 2002

Lampiran 8. Tabel Tabel uji perhitungan manual nilai ACH model *based-case* eksisting

Langkah	Spesifikasi	Rumus	AD-TP			UT-TP			AD-P			BA-P		
			Lokasi pinggir kota			Lokasi pinggir kota			Lokasi pinggir kota			Lokasi pinggir kota		
1	Luas lantai		49 m ²			60 m ²			69 m ²			40 m ²		
2	Tinggi plafon		2.85 m			3.00 m			3.00 m			4.50 m		
3	Volume rumah	Langkah 1 x langkah 2	140 m ³			180 m ³			208 m ³			180 m ³		
4	<i>Air change per hour</i>		0.4 ach			0 ach			0 ach			1 ach		
5	Jumlah aliran udara yang dibutuhkan (m ³ /det)	(Langkah 3 x langkah 4) : 3600	0.02 m ³ /det			0.00 m ³ /det			0.00 m ³ /det			0.05 m ³ /det		
6	Kecepatan angin rata-rata		Terendah	1.46	m/det	Terendah	1.46	m/det	Terendah	1.46	m/det	Terendah	1.46	m/det
			Tertinggi	2.27	m/det	Tertinggi	2.27	m/det	Tertinggi	2.27	m/det	Tertinggi	2.27	m/det
			Dipakai rata-rata			Dipakai rata-rata			Dipakai rata-rata			Dipakai rata-rata		
			1.9			1.9 m/det			1.9 m/det			1.9 m/det		
7	Sudut angin ke <i>inlet</i>		50-60°			< 40°			< 40°			50-60°		
8	Rasio kecepatan angin	T a b e l A.1a	Rata-rata = 0.25			Rata-rata = 0.35			Rata-rata = 0.35			Rata-rata = 0.25		
9a	Angka koreksi permukaan	T a b e l A.1b	0.85			0.85			0.85			0.85		
9b	Bangunan disekitarnya	Dikelilingi bangunan = 0.77	0.77			0.77			0.77			0.77		
		Tanpa tetangga = 1.0	0.77			0.77			0.77			0.77		
9c	Faktor korsi	Rumah 2 lantai = 1.15	1.0			1.0			1.0			1.0		
		Rumah 1 lantai = 1.0	1.0			1.0			1.0			1.0		
10	Faktor koreksi kecepatan angin	Langkah 9a x langkah 9b x langkah 9c	0.65			0.65			0.65			0.65		
11	Kecepatan angin pada site (m/det)	Langkah 6 x langkah 10	1.22 m/det			1.22 m/det			1.22 m/det			1.22 m/det		
12	Kecepatan angin pada <i>inlet</i>	Langkah 8 x langkah 11	0.31 m/det			0.43 m/det			0.43 m/det			0.31 m/det		
13	<i>Inlet</i> area netto	Langkah 5 : langkah 12	0.1 m ²			0.0 m ²			0.0 m ²			0.2 m ²		
14	Total efektif <i>inlet</i> + <i>outlet</i> area	3.33 x langkah 13	0.2 m ²			0.0 m ²			0.0 m ²			0.5 m ²		
15	Total efektif area (% luas lantai)	(Langkah 14 : langkah 1) x 100	0 %			0 %			0 %			1 %		
16	Tipe jendela yang digunakan	T a b e l A.1c	Cantung Atas dan Jalusi			Cantung Atas			Cantung Atas			Cantung Atas dan Jalusi		
17	Total area efektif jendela yang digunakan adalah luas jendela (m ²) x efektif area terbuka x jumlah jendela		<i>Inlet:</i>			<i>Inlet:</i>			<i>Inlet:</i>			<i>Inlet:</i>		
			(0,075 x 0,75)			-			-			(0,20 x 0,75)		
			=	0.06	m ²	=	0.00	m ²	=	0.00	m ²	=	0.15	m ²
			<i>Outlet:</i>			<i>Outlet:</i>			<i>Outlet:</i>			<i>Outlet:</i>		
			(0,125 x 0,75)			-			-			3(0,18 x 0,75)		
			=	0.09	m ²	=	0.00	m ²	=	0.00	m ²	=	0.41	m ²
Total:			0.00	m ²	Total:	0.00	m ²	Total:	0.00	m ²	Total:	0.56	m ²	

Lampiran 9. Data input simulasi ARCHIPAK 5.1 model *based-case* eksisting rumah tanpa perapian dengan material bata merah (UT-TP)

EDIT BUILDING FILE

job name: Position (exposure): sheltered normal exposed

volume (m3): ventilation rate (ac/h): internal gain (W):

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	32	0	-1	10.0	6.0	0.79	47.2	-	-	-	6.00	0.00	0.0	-	360.0
2	w	03	0	360	10.0	3.0	2.14	60.1	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	135.3
3	w	03	0	90	6.0	3.0	2.14	21.4	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	81.2
4	w	03	0	180	10.0	3.0	2.14	64.2	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	135.3
5	w	03	0	270	6.0	3.0	2.14	38.5	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	81.2
6	o	21	2	360	0.8	2.4	4.70	09.0	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	09.0
7	o	21	3	90	3.3	2.4	4.70	37.7	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	37.7
8	o	21	4	180	0.0	0.0	4.70	00.0	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	00.0
9	o	21	5	270	0.0	0.0	4.70	00.0	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	00.0
10	r	120	0	-1	10.0	6.0	4.40	264.2	-	0.04	0.55	4.40	1.00	0.0	-	264.2

Lampiran 10. Data input simulasi ARCHIPAK 5.1 model *based-case* eksisting tanpa perapian dengan material batako (AD-TP)

EDIT BUILDING FILE

job name: Position (exposure): sheltered normal exposed

volume (m3): ventilation rate (ac/h): internal gain (W):

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	32	0	-1	9.8	5.0	0.79	38.6	-	-	-	6.00	0.00	0.0	-	294.0
2	w	21	0	360	5.0	2.9	1.92	15.4	-	0.06	0.40	3.62	0.75	4.2	-	51.6
3	w	21	0	90	9.8	2.9	1.92	52.4	-	0.06	0.40	3.62	0.75	4.2	-	101.1
4	w	21	0	180	5.0	2.9	1.92	26.5	-	0.06	0.40	3.62	0.75	4.2	-	51.6
5	w	21	0	270	9.8	2.9	1.92	47.1	-	0.06	0.40	3.62	0.75	4.2	-	101.1
6	o	21	2	360	2.9	2.2	4.70	29.3	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	29.3
7	o	21	3	90	0.4	1.7	4.70	03.1	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	03.1
8	o	21	4	180	0.9	0.5	4.70	02.1	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	02.1
9	o	21	5	270	1.6	2.2	4.70	16.1	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	16.1
10	r	121	0	-1	9.8	5.0	4.18	204.8	-	0.04	0.55	4.18	1.00	0.0	-	204.8

Lampiran 11. Data input simulasi ARCHIPAK 5.1 model *based-case* eksisting dengan perapian dan material batako (AD-P)

EDIT BUILDING FILE

job name: Position (exposure): sheltered normal exposed

volume (m3): ventilation rate (ac/h): internal gain (W):

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	32	0	-1	13.1	5.3	0.79	54.6	-	-	-	6.00	0.00	0.0	-	416.6
2	w	03	0	360	5.3	3.0	2.14	20.4	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	71.7
3	w	03	0	90	13.1	3.0	2.14	79.3	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	177.2
4	w	03	0	180	5.3	3.0	2.14	34.0	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	71.7
5	w	03	0	270	13.1	3.0	2.14	75.2	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	177.2
6	o	21	2	360	2.9	2.2	4.70	30.0	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	30.0
7	o	21	3	90	1.6	1.4	4.70	10.5	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	10.5
8	o	21	4	180	0.0	0.0	4.70	00.0	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	00.0
9	o	21	5	270	1.9	2.2	4.70	19.6	0.60	-	-	4.70	-	-	0.53	19.6
10	r	10	0	-1	13.1	5.3	1.60	111.1	-	0.04	0.60	1.82	1.00	1.0	-	126.4

Lampiran 12. Data input simulasi ARCHIPAK 5.1 model *based-case* eksisting dengan perapian material bata merah (BA-P)

EDIT BUILDING FILE

job name Position (exposure) sheltered normal exposed

volume (m3) ventilation rate (ac/h) internal gain (W)

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	32	0	-1	9.0	4.5	0.79	31.9	-	-	-	6.00	0.00	0.0	-	243.0
2	w	03	0	360	4.5	4.5	2.14	28.3	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	91.3
3	w	03	0	90	9.0	4.5	2.14	86.7	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	182.7
4	w	03	0	180	4.5	4.5	2.14	39.6	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	91.3
5	w	03	0	270	9.0	4.5	2.14	86.7	-	0.06	0.50	4.51	0.49	6.4	-	182.7
6	o	10	2	360	3.2	2.2	5.00	35.2	0.76	-	-	5.00	-	-	0.64	35.2
7	o	10	3	90	0.0	0.0	5.00	00.0	0.76	-	-	5.00	-	-	0.64	00.0
8	o	10	4	180	0.8	2.2	5.00	08.8	0.76	-	-	5.00	-	-	0.64	08.8
9	o	10	5	270	0.0	0.0	5.00	00.0	0.76	-	-	5.00	-	-	0.64	00.0
10	r	45	0	-1	9.0	4.5	2.50	101.3	-	0.04	0.50	2.10	0.99	0.8	-	85.1

Lampiran 13. Data iklim Desa Ranupane 5 tahun terakhir (*sumber: meteoblue.com*)

Tahun	Data Iklim	Unit	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2019	Tmax	°C	16	16,1	15,3	15,9	16,3	16,1	16,1	16,8	18,4	19,8	18,8	17,2
	Tmin	°C	11,5	11,5	11,2	11,7	10,1	8,8	7,2	6,4	7,6	8,8	10,5	12
	RH	%	87,3	87,7	89,4	89,4	86,3	83,7	81,4	78,1	75,5	74,5	78,4	84,1
	Rainfall	mm	0,47	0,38	0,64	0,46	0,09	0,01	0,02	0	0	0,01	0,06	0,47
	Radiation	W/m²	105,3	121,4	95,6	104,7	134,9	163	182,4	208,1	241,8	249,9	200,2	128
	Direct Radiation	W/m²	26,02	42,13	27,6	33,77	61,23	92,09	108,11	129,59	152,23	161,28	109,77	46,47
	Wind Speed	m/s	1,09	0,74	1	0,99	1,38	1,93	1,82	1,99	1,86	1,65	1,23	0,62
	Wind Direction	°	254	189	215	147	156		152	148	142	150	154	185
2018	Tmax	°C	15,4	15,1	16	16,1	16,9	16,1	16	15,7	17,7	19,2	17,2	16,8
	Tmin	°C	11,4	11	10,8	11,1	9,8	9,3	7,7	7,3	8	9,7	11	10,9
	RH	%	89	90	84	87	85	86	86	83	82	79	77	84
	Rainfall	mm	0,66	0,69	0,4	0,29	0,08	0,07	0,07	0	0,01	0,02	0	0,21
	Radiation	W/m²	89,6	102,9	128,9	117,2	193,1	149,1	149,7	170,2	172,1	220,5	227,5	152
	Direct Radiation	W/m²	20,2	32,7	49,4	40,4	90,5	79,7	79,7	97,5	95,3	134,6	141,9	71,2
	Wind Speed	m/s	0,94	0,87	0,97	1,03	1,39	1,5	1,5	1,76	1,75	1,63	1,53	1,18
	Wind Direction	°	256	254	220	139	148	145	145	163	159	158	152	174
2017	Tmax	°C	15	15,5	16,1	15,9	16,3	15,4	15,3	16,5	18,1	17,1	15,3	15,9
	Tmin	°C	11,8	10,9	10,9	11,4	9,7	10	8,4	7,9	8,2	10,3	11,4	10,9
	RH	%	90	87	85	88	87	88	86	83	80	84	90	87
	Rainfall	mm	1,23	0,47	0,51	0,7	0,18	0,28	0,03	0,01	0,07	0,06	1,41	0,59
	Radiation	W/m²	72	107	114	107	135	115	138	183	209	173	87	125
	Direct Radiation	W/m²	11,6	26,7	43,7	35,9	63,8	51,4	66,3	103,3	124,4	85,2	21,1	52
	Wind Speed	m/s	0,91	1,12	0,81	0,85	1,62	1,46	2,06	2,05	1,87	1,82	1,06	1,13
	Wind Direction	°	267	218	206	163	164	156	165	156	152	175	168	228
2016	Tmax	°C	17,2	15,3	16,6	16,2	17,2	16,1	16,6	16,8	17,1	17,1	16,2	15,8
	Tmin	°C	12,4	11,9	12,3	12,1	11,9	11,1	10,2	8,9	10,4	11,3	11,8	11,2
	RH	%	85	91	86	89	87	87	85	82	83	84	88	87
	Rainfall	mm	0,67	1,72	0,57	0,54	0,26	0,24	0,12	0,11	0,26	0,55	0,88	1
	Radiation	W/m²	127	76	98	88	121	112	138	157	142	136	95	104
	Direct Radiation	W/m²	48,9	13,5	24,7	16,4	50,4	47,5	68,4	78,1	63,2	55,7	25,2	39,4
	Wind Speed	m/s	1,2	0,86	0,77	1,02	1,11	1,14	1,51	1,83	1,39	1,19	0,94	1,15
	Wind Direction	°	162	234	167	106	118	120	119	135	128	129	143	252
2015	Tmax	°C	16	16	16	16	17	17	18	18	19	21	18	17
	Tmin	°C	11	11	11	12	10	9	8	8	9	10	11	12
	RH	%	84	87	86	90	84	83	79	78	73	70	81	85
	Rainfall	mm	0,64	0,77	0,8	0,89	0,12	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,16	0,79
	Radiation	W/m²	143	118	97	90	145	166	176	196	218	221	166	111
	Direct Radiation	W/m²	68,9	44	28,2	24,2	74,8	93,1	103,7	115,3	129	132	79,7	35,9
	Wind Speed	m/s	1,01	0,86	1,01	0,94	1,25	1,63	1,72	1,91	1,84	1,74	1,18	0,9
	Wind Direction	°	254	237	195	153	131	155	128	138	136	116	140	200

Lampiran 14. Perhitungan internal heat gain pada model *based-case*, rumah pak Untung tanpa perapian (UT-TP)

No.	Keterangan	Watt	Qtt	JAM																							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Lampu		6	30	30	30	30	30	30	30									30	30	30	30	30	30	30	30	
	15Watt x 6 bh	90																									
	Siang	0																									
	Petang 2bh	30																									
	Malam 2bh	30																									
Total				30	30	30	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30

Lampiran 15. Perhitungan internal heat gain pada model *based-case*, rumah pak Adek tanpa perapian (AD-TP)

No.	Keterangan	Watt	Qtt	JAM																							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Lampu		6	30	30	30	30	30	30	30	30								30	30	30	30	30	30	30	30	
	15Watt x 6 bh	90																									
	Siang	0																									
	Petang 2bh	30																									
	Malam 2bh	30																									
Total				30	30	30	30	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30

Lampiran 16. Perhitungan internal heat gain pada model *based-case*, rumah pak Adek dengan perapian (AD-P)

No	Keterangan	Watt	Qtt	JAM																							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Ayah		1	115	115	115	115	115	235	235						115	115	115	115	235	235	235	115	115	115	115	
	Istirahat/ Santai	115																									
	Pekerjaan Ringan	235																									
2	Ibu		1	98	98	98	98	200	200	200	200	200	200	200	98	98	98	200	200	200	98	98	98	98	98		
	Istirahat/Santai	98																									
	Pekerjaan Ringan	200																									
3	Anak (L)		1	115	115	115	115	115	235						235	115	115	235	235	235	115	115	115	115	115		
	Istirahat/ Santai	115																									
	Pekerjaan Ringan	235																									
4	Anak (P)		1	98	98	98	98	98	200						200	98	98	200	200	200	98	98	98	98	98		
	Istirahat/ Santai	98																									
	Pekerjaan Ringan	200																									
5	Lampu		7	45	45	45	45	45	45										105	105	105	105	105	45	45		
	15Watt x 7 bh	105																									
	Siang	0																									
	Petang 7bh	105																									
	Malam 3bh	45																									
6	Memasak dan Perapian	3500	3				3.500	7.000	7.000	7.000	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	7.000	7.000	3.500	3.500	3.500	0			
	Total			471	471	471	3.971	7.573	7.915	7.435	10.700	10.700	10.700	10.700	10.700	11.148	10.926	10.926	11.250	7.975	7.975	4.151	4.031	4.031	471		

Lampiran 17. Perhitungan internal heat gain pada model *based-case*, rumah pak Buari dengan perapian (BA-P)

No.	Keterangan	Watt	Qtt	JAM																								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	Ayah		1	115	115	115	115	115	235	235	235	235	235						235	235	235	235	115	115	115	115	115	
	Istirahat/ Santai	115																										
	Pekerjaan Ringan	235																										
2	Ibu		1	98	98	98	98	200	200	200	200	200	200	200	98	98	98	200	200	200	200	98	98	98	98	98	98	
	Istirahat/Santai	98																										
	Pekerjaan Ringan	200																										
3	Anak (L)		1	115	115	115	115	115	235	235							115	115	115	235	235	235	235	115	115	115	115	115
	Istirahat/ Santai	115																										
	Pekerjaan Ringan	235																										
5	Lampu		5	30	30	30	30	30	30																			
	15Watt x 5 bh	75																										
	Siang	0																										
	Petang 5bh	75																										
	Malam 2bh	30																										
6	Perapian dan Perapian	3.500	3					7.000	7.000	7.000	7.000	10.500	10.500	7.000	10.500	10.500	10.500	10.500	7.000	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500			
Total				358	358	358	358	7.460	7.700	7.670	7.435	10.935	10.935	7.200	10.598	10.713	10.713	10.815	7.670	4.245	4.245	4.143	3.903	3.903	358	358	358	

Lampiran 18. Tabel Perbandingan Ti Eksisting dan Ti Model *Based-case* Rumah pak Untung dan pak Adek Tanpa Perapian (UT-TP dan AD-TP)

Rumah Pak Untung Tanpa Perapian				Rumah Pak Adek Tanpa Perapian			
Jam	Ti Pengukuran Ekst.	Ti Model Base Case Ekst.	Selisih Ti	Jam	Ti Pengukuran Ekst.	Ti Model Base Case Ekst.	Selisih Ti
00:00	12.8	13	0.2	00:00	14.4	13	1.4
01:00	12.8	12.6	0.2	01:00	14.2	12.6	1.6
02:00	12.7	12.3	0.4	02:00	14.1	12.2	1.9
03:00	12.6	11.9	0.7	03:00	13.8	11.8	2.0
04:00	12.3	11.6	0.7	04:00	13.6	11.4	2.2
05:00	12.2	11.3	0.9	05:00	13.4	11	2.4
06:00	12.6	11.1	1.5	06:00	13.3	10.8	2.5
07:00	13.3	11.3	2.0	07:00	13.6	10.9	2.7
08:00	13.9	11.3	2.6	08:00	14.0	10.9	3.1
09:00	14.4	11.4	3.0	09:00	14.5	11.1	3.4
10:00	14.5	11.9	2.6	10:00	15.1	11.5	3.6
11:00	14.5	12.4	2.1	11:00	15.2	12.1	3.1
12:00	14.6	13.1	1.5	12:00	15.4	12.8	2.6
13:00	14.7	13.7	1.0	13:00	15.6	13.6	2.0
14:00	14.8	14.1	0.7	14:00	15.8	14.2	1.6
15:00	14.9	14.4	0.5	15:00	15.8	14.8	1.0
16:00	14.9	14.6	0.3	16:00	16.3	15	1.3
17:00	14.8	14.5	0.3	17:00	16.4	15.1	1.3
18:00	14.7	14.5	0.2	18:00	16.5	15.1	1.4
19:00	14.2	14.4	0.2	19:00	16.5	15	1.5
20:00	13.9	14.3	0.4	20:00	15.8	14.7	1.1
21:00	13.5	14.2	0.7	21:00	15.4	14.5	0.9
22:00	13.3	13.6	0.4	22:00	15.0	13.8	1.2
23:00	13.0	13.3	0.3	23:00	14.7	13.4	1.3
Selisih Rata-rata			1.0	Selisih Rata-rata			1.9

Lampiran 19. Tabel Perbandingan Ti Eksisting dan Ti Model *Based-case* Rumah pak Adek dan pak Buari Dengan Perapian (AD-P dan BA-P)

Rumah Pak Adek Dengan Perapian				Rumah Pak Buari Dengan Perapian			
Jam	Ti Pengukuran Ekst.	Ti Model Base Case Ekst.	Selisih Ti	Jam	Ti Pengukuran Ekst.	Ti Model Base Case Ekst.	Selisih Ti
00:00	15.7	8.1	7.6	00:00	12.7	8.5	4.2
01:00	15.2	7.9	7.3	01:00	11.9	8.3	3.6
02:00	14.8	7.7	7.1	02:00	11.2	8	3.2
03:00	14.4	7.5	6.9	03:00	10.6	7.8	2.8
04:00	14.0	7.2	6.8	04:00	10.4	7.5	2.9
05:00	13.7	10.2	3.5	05:00	16.1	7.3	8.8
06:00	17.4	13.3	4.1	06:00	18.2	14.3	3.9
07:00	16.4	13.4	3.0	07:00	19.9	14.3	5.6
08:00	18.1	12.9	5.2	08:00	20.4	14.2	6.2
09:00	18.4	15.8	2.6	09:00	20.9	13.9	7.0
10:00	19.8	15.9	3.9	10:00	23.9	17.5	6.4
11:00	20.0	16.1	3.9	11:00	20.4	17.7	2.7
12:00	20.2	16.4	3.8	12:00	23.4	14.1	9.3
13:00	20.3	16.7	3.6	13:00	25.0	17.9	7.1
14:00	21.4	17.4	4.0	14:00	24.0	18.3	5.7
15:00	22.3	17.5	4.8	15:00	24.9	18.6	6.3
16:00	22.3	17.7	4.6	16:00	23.4	18.9	4.5
17:00	22.0	18.1	3.9	17:00	20.3	15.9	4.4
18:00	20.6	15.3	5.3	18:00	21.4	11.9	9.5
19:00	20.4	15.3	5.1	19:00	18.7	12.8	5.9
20:00	19.8	11.9	7.9	20:00	16.4	12.8	3.6
21:00	19.0	11.8	7.2	21:00	15.7	12.6	3.1
22:00	18.2	11.7	6.5	22:00	14.6	12.5	2.1
23:00	17.5	8.3	9.2	23:00	13.6	8.7	4.9
Selisih Rata-rata			5.3	Selisih Rata-rata			5.2

Lampiran 20. Hasil simulasi model *based-case* eksisting, rumah pak Untung tanpa perapian (UT-TP)

HARMON RESULTS for month **SEP**

job **UT TP W03** location **RANUPANE** elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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	av.
vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour																									
int.gains)	30	30	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	18.7
driving forces																									
10xTout	100	92	85	80	77	76	80	92	109	130	151	168	180	184	183	180	175	168	160	151	141	130	119	109	130
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	19	17	13	07	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
indoor temperatures																									
G.180	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	19	17	13	07	04	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	-	07	15	22	29	33	35	33	28	21	13	06	-	-	-	-	-	-	-	10
10xTin	126	123	119	116	113	111	113	113	114	119	124	131	137	141	144	146	145	145	144	143	142	136	133	130	135

Lampiran 21. Hasil simulasi model *based-case* eksisting, rumah pak Adek tanpa perapian (AD-TP)

HARMON RESULTS for month **SEP**

job **AD TP W21** location **RANUPANE** elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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	av.
vent.rate: constant rate: 0.4 air changes per hour																									
int.gains)	30	30	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	20
driving forces																									
10xTout	100	92	85	80	77	76	80	92	109	130	151	168	180	184	183	180	175	168	160	151	141	130	119	109	130
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	19	17	13	07	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
indoor temperatures																									
G.180	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	19	17	13	07	04	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	-	07	15	22	29	33	35	33	28	21	13	06	-	-	-	-	-	-	-	10
10xTin	126	122	118	114	110	108	109	109	111	115	121	128	136	142	148	150	151	151	150	147	145	138	134	130	135

Lampiran 22. Hasil simulasi model *based-case* eksisting, rumah pak Adek dengan perapian (AD-P)

HARMON RESULTS for month **SEP**

job **AD P W03** location **RANUPANE** elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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	av.
vent.rate:	constant rate: 0 air changes per hour																								
int.gains	constant heat gain rate of 0 watts																								
driving forces																									
10xTout	100	92	85	80	77	76	80	92	109	130	151	168	180	184	183	180	175	168	160	151	141	130	119	109	130
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	19	17	13	07	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
indoor temperatures																									
G.100	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	19	17	13	07	04	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	-	07	15	22	29	33	35	33	28	21	13	06	-	-	-	-	-	-	-	10
10xTin	132	129	127	125	123	121	119	120	121	122	125	128	131	134	136	138	139	140	140	141	140	139	136	134	136

Lampiran 23. Hasil simulasi model *based-case* eksisting, rumah pak Adek dengan perapian (BA-P)

HARMON RESULTS for month **SEP**

job **BA Pp** location **RANUPANE** elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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	av.
vent.rate:	constant rate: 1 air changes per hour																								
int.gains	358	358	358	583	960	7700	76703	5003500	0	0	0	0	03700	7200	77454	245414	339033	903	358	358	358	2798			
driving forces																									
10xTout	100	92	85	80	77	76	80	92	109	130	151	168	180	184	183	180	175	168	160	151	141	130	119	109	130
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.027	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	-	04	10	13	18	20	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
indoor temperatures																									
G.100	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	20	20	19	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
G.027	-	-	-	-	-	-	04	09	13	17	19	19	18	16	13	08	04	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	-	07	15	22	29	33	35	33	28	21	13	06	-	-	-	-	-	-	-	10
10xTin	110	108	105	103	136	135	171	169	126	127	93	95	98	101	104	144	182	190	155	155	153	153	115	113	136

Lampiran 24. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job: A1D1 location: RANUPANE elemental breakdown: swings flows exit

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 73 70 68 66 89 113 115 111 136 139 143 148 153 160 161 161 163 139 137 109 107 105 77 75 122

Form36

ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates
 job: A1D1 location: RANUPANE for the month of AUG 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	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-63	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	-10	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-04	-02	00	02	03	04	04	03	-37	-02
4 w:	01	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	02	02	01	-16	-01
5 w:	03	02	01	00	-01	-01	-02	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	00	02	03	03	03	03	-36	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-20	-22	-22	-19	-13	-05	04	12	19	23	24	22	19	16	12	09	06	02	-02	-06	00	00
7 o:	-03	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	06	04	03	02	01	-01	-02	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-12	-13	-14	-14	-13	-09	-03	02	08	12	15	16	14	13	11	08	06	04	01	-01	-04	02	00
10r:	-44	-59	-72	-83	-91	-96	-98	-91	-72	-44	-10	23	51	70	77	75	70	62	51	38	23	07	-10	-28	-252	-10
vent	57	35	19	08	-94	-192	-182	-124	-154	-89	-28	19	44	32	25	11	-14	55	29	105	76	43	111	82	-05	-05
Q1 :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	45	00	-38	283	528	454	410	804	803	911	1021	1116	1228	1220	1223	1239	880	940	518	567	519	108	150	96	15026	626

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

Lampiran 25. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month **OCT**

job **A1D1** location **RANUPANE** elemental breakdown : **display** **plot** **print** **swings** **flows** **exit**

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains 471 47139717573791574351070107010701070107011410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	106	99	93	89	88	91	101	116	133	153	171	185	195	198	197	193	187	180	171	160	149	137	126	116	143
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
indoor temperatures	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	02	09	17	24	30	34	35	33	28	21	13	05	-	-	-	-	-	-	-	10

10xTin 98 96 93 91 114 139 141 139 165 168 173 178 182 189 189 189 191 166 165 136 134 131 103 101 151

Form36

ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of **OCT** in W/h/10 for the hour **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	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-78	-03
2 w:	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-12	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-07	-07	-06	-05	-03	-01	01	02	03	04	03	03	-46	-02
4 w:	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	00	00	01	01	02	02	01	01	-20	-01
5 w:	02	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-05	-06	-07	-07	-07	-06	-04	-03	-01	01	02	03	03	03	03	03	-44	-02
6 o:	-13	-17	-20	-22	-23	-24	-22	-17	-09	00	08	16	22	23	25	23	20	16	12	08	04	00	-05	-09	00	00
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	08	09	09	08	07	06	04	03	01	00	-02	-03	01	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-14	-15	-15	-14	-11	-06	00	05	10	14	17	17	15	13	10	08	05	03	00	-03	-06	00	00
10r:	-59	-75	-88	-97	-103	-105	-100	-84	-59	-29	03	33	58	74	79	77	71	62	49	33	16	-03	-22	-41	-308	-13
vent	31	12	-02	-08	-103	-185	-156	-89	-121	-62	-10	29	49	37	31	15	-13	52	22	92	59	23	87	57	-06	-06
Q1 :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	-03	-48	-82	245	498	444	431	848	855	959	1059	1142	1243	1232	1234	1249	885	937	508	548	491	73	109	50	14905	621

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

Lampiran 26. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job A1D1 location RANUPANE elemental breakdown: swings flows exit

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 397 175 73 79 15 74 35 10 70 10 70 10 70 10 70 11 14 10 9 2 10 9 2 11 2 5 7 9 7 5 4 1 5 1 4 0 3 1 4 0 3 1 4 71 471 471 6484

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

C.360	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 58 56 54 52 83 116 118 113 146 149 153 158 163 171 171 174 142 141 103 101 99 63 61 122

Form36

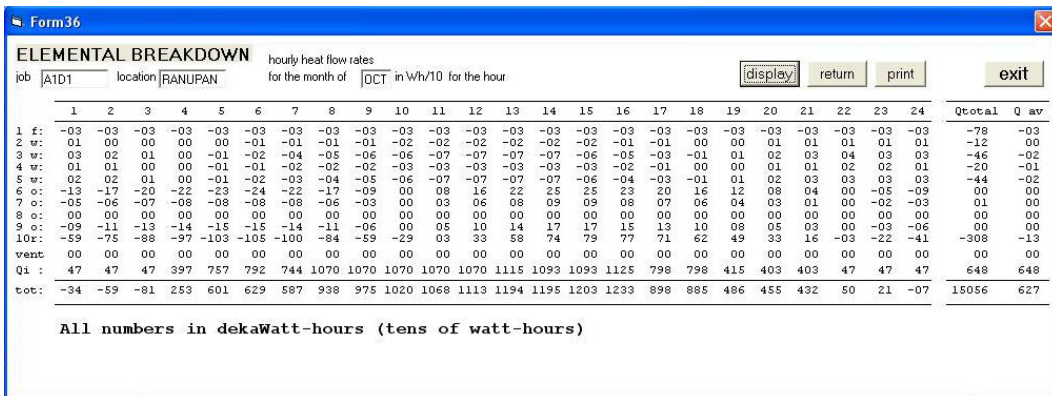
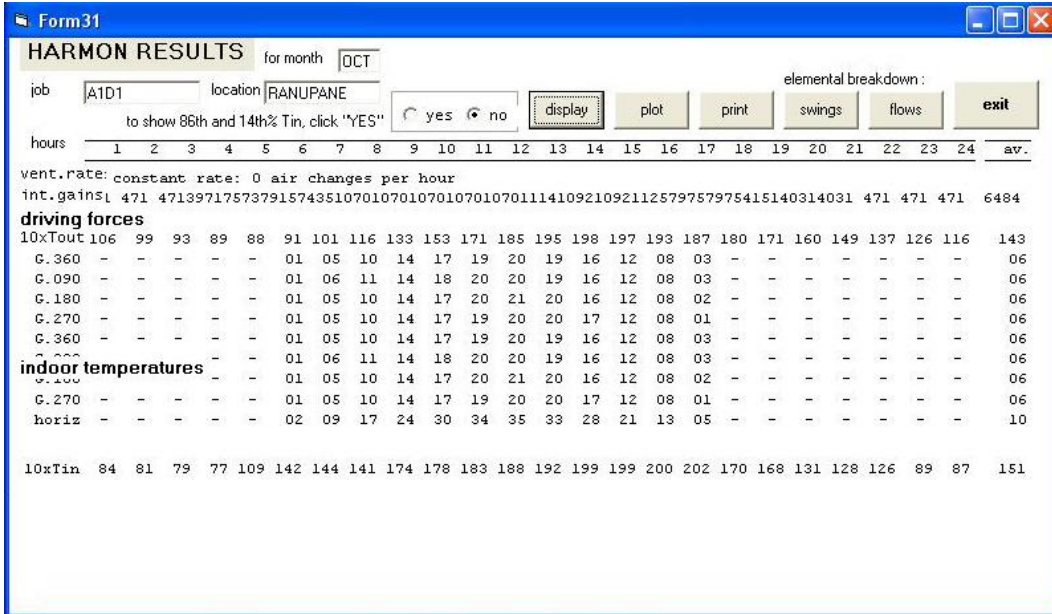
ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of AUG in W/h/10 for the hour

job A1D1 location RANUPANE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-63	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	-10	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-04	-02	00	02	03	04	04	03	-37	-02
4 w:	01	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	02	02	01	-16	-01
5 w:	03	02	01	00	-01	-01	-02	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	00	02	03	03	03	03	-36	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-20	-22	-22	-19	-13	-05	04	12	19	23	24	22	19	16	12	09	06	02	-02	-06	00	00
7 o:	-03	-06	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	06	04	03	02	01	-01	-02	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-12	-13	-14	-14	-13	-09	-03	02	08	12	15	16	14	13	11	08	06	04	01	-01	-04	02	00
10r:	-44	-59	-72	-83	-91	-96	-98	-91	-72	-44	-10	23	51	70	77	75	70	62	51	38	23	07	-10	-28	-252	-10
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	-11	-35	-56	275	621	645	592	929	957	999	1049	1098	1184	1188	1198	1228	894	885	489	462	443	64	39	14	15152	631

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

Lampiran 27. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)



Lampiran 28. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job A1D1 location RANUPANE elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
int.gains: 471 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout 87 79 73 68 65 64 68 79 96 116 136 153 164 168 167 164 159 153 145 136 126 116 106 96 116

G.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05
G.090 - - - - - 04 07 11 14 17 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05
G.180 - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - 05
G.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - 05
G.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05

indoor temperatures

G.360 - - - - - 03 07 11 14 17 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05
G.090 - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - 05
G.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - 05
horiz - - - - - 05 11 18 24 29 30 29 25 19 12 06 - - - - - 09

10xTin 115 113 110 108 107 106 108 104 104 107 111 116 121 128 128 129 131 131 130 127 124 122 120 118 122

Form36

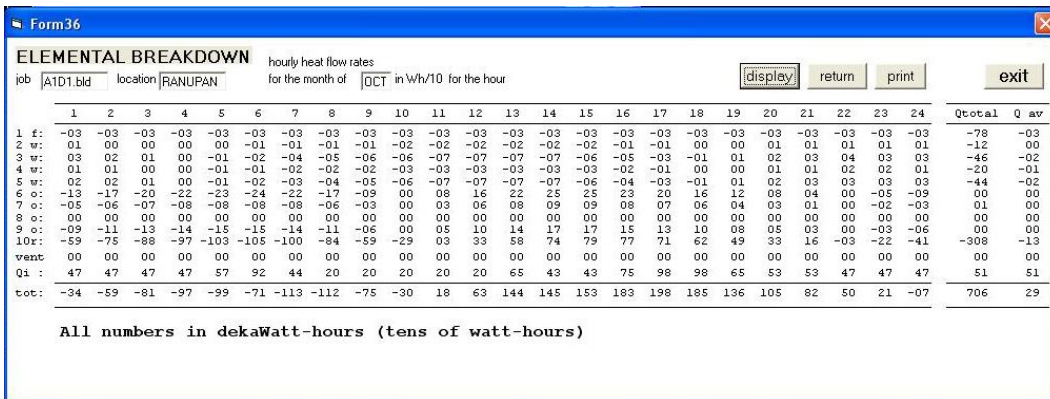
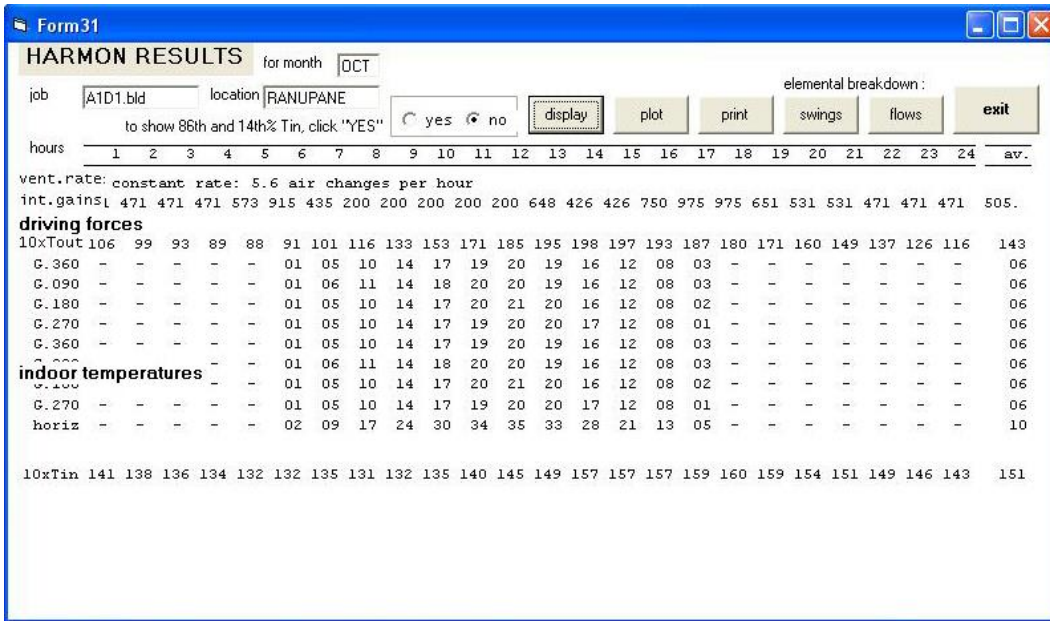
ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of AUG in W/h*10 for the hour

job A1D1 location RANUPAN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-63	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-10	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-04	-02	00	02	03	04	04	03	-37	-02
4 w:	01	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	02	02	01	-16	-01
5 w:	03	02	01	00	-01	-01	-02	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	00	02	03	03	03	03	03	-36	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-20	-22	-22	-19	-13	-05	04	12	19	23	24	22	19	16	12	09	06	02	-02	-06	00	00
7 o:	-03	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	06	04	03	02	01	-01	-02	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-12	-13	-14	-14	-13	-09	-03	02	08	12	15	16	14	13	11	08	06	04	01	-01	-04	02	00
10r:	-44	-59	-72	-83	-91	-96	-98	-91	-72	-44	-10	23	51	70	77	75	70	62	51	38	23	07	-10	-28	-252	-10
vent:	-109	-130	-146	-157	-162	-164	-154	-96	-29	36	97	143	169	157	150	136	111	83	57	36	07	-25	-55	-83	-05	-05
Q1:	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	-120	-165	-203	-232	-241	-218	-262	-218	-122	-14	96	191	303	295	298	314	305	268	196	149	100	39	-15	-69	676	28

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

Lampiran 29. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)



Lampiran 30. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)

Form31 HARMON RESULTS for month **AUG**

job: **A1D1.bld.bld** location: **RANUPANE** elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin: 115 113 110 108 107 106 109 104 103 106 110 115 120 128 128 129 131 132 131 127 124 123 120 117 122

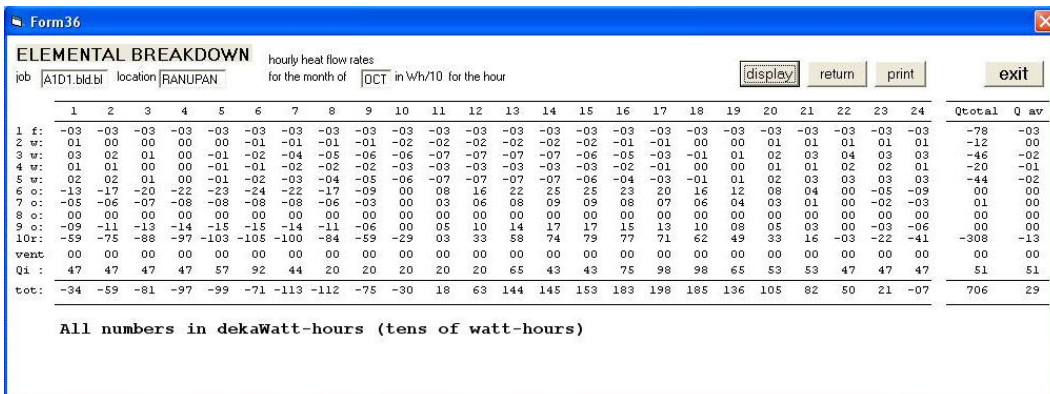
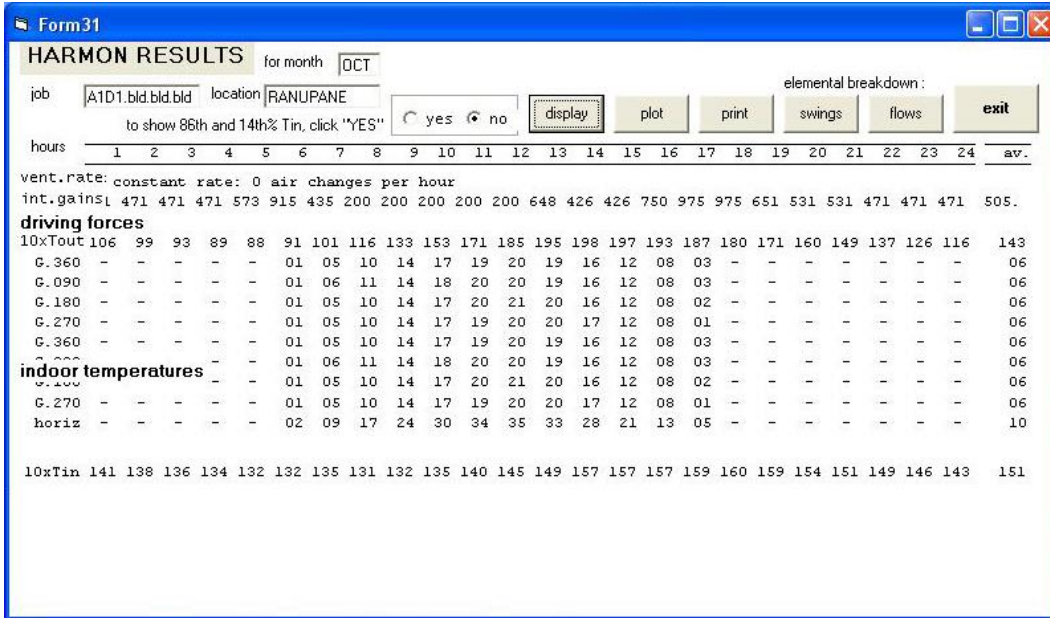
Form36 ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of **AUG** in Wwh/10 for the hour

job: **A1D1.bld.bld** location: **RANUPANE**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-63	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	-10	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-04	-02	00	02	03	04	04	03	-37	-02
4 w:	01	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	02	02	01	01	-16	-01
5 w:	03	02	01	00	-01	-01	-02	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	00	02	03	03	03	03	-36	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-20	-22	-22	-19	-13	-05	04	12	19	23	24	22	19	16	12	09	06	02	-02	-06	00	00
7 o:	-03	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	06	04	03	02	01	-01	-02	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-12	-13	-14	-14	-13	-09	-03	02	08	12	15	16	14	13	11	08	06	04	01	-01	-04	02	00
10r:	-44	-59	-72	-83	-91	-96	-98	-91	-72	-44	-10	23	51	70	77	75	70	62	51	38	23	07	-10	-28	-252	-10
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1 :	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	-11	-35	-56	-75	-79	-55	-108	-121	-93	-51	-01	48	134	138	148	178	194	185	139	112	93	64	39	14	802	33

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

Lampiran 31. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D1 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)



Lampiran 32. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 54 51 48 45 78 112 114 109 144 148 155 161 168 178 179 180 182 147 145 105 101 99 60 57 122

Form36

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:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-64	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-07	00
3 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	00	00	01	01	-26	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	-11	00
5 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	-25	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-20	-22	-22	-19	-13	-05	04	12	19	23	24	22	19	16	12	09	06	02	-02	-06	-01	00
7 o:	-03	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	06	04	03	02	01	-01	-02	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-12	-13	-14	-14	-13	-09	-03	02	08	12	15	16	14	13	11	08	06	04	01	-01	-04	01	00
10r:	-44	-59	-72	-83	-91	-96	-98	-91	-72	-44	-11	23	51	70	77	75	70	62	51	38	23	06	-11	-28	-256	-11
vent	130	111	98	89	-49	-186	-180	-117	-186	-126	-72	-34	-16	-39	-47	-61	-87	21	00	121	97	68	178	152	-06	-06
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	113	73	39	364	573	462	417	818	779	882	986	1074	1178	1159	1159	1172	808	904	482	575	531	123	210	159	15040	627

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

Lampiran 33. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown :

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	106	99	93	89	88	91	101	116	133	153	171	185	195	198	197	193	187	180	171	160	149	137	126	116	143
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06

indoor temperatures

G.100	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	02	09	17	24	30	34	35	33	28	21	13	05	-	-	-	-	-	-	-	10

10xTin 79 75 72 70 102 137 140 137 173 179 186 192 198 207 208 208 210 175 172 132 128 125 86 82 151

Form36

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

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-79	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-08	00
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-04	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	01	01	-32	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-14	-01
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	01	-30	-01
6 o:	-13	-17	-20	-22	-23	-24	-22	-17	-09	00	08	16	22	25	25	23	20	16	12	08	04	00	-05	-09	-01	00
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	08	09	09	08	07	06	04	03	01	00	-02	-03	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-14	-15	-15	-14	-11	-06	00	05	10	14	17	17	15	13	10	08	05	03	00	-03	-06	-01	00
10 r:	-59	-75	-88	-97	-103	-105	-100	-84	-59	-29	03	33	58	74	79	77	71	62	49	33	15	-03	-23	-42	-313	-13
vent	107	91	80	76	-56	-178	-152	-83	-155	-103	-59	-28	-14	-37	-43	-57	-87	19	-08	109	81	49	156	129	-07	-07
Q1 :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	68	28	-02	330	548	456	441	863	829	927	1020	1096	1190	1168	1167	1179	811	899	472	556	504	89	170	116	14923	622

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

Lampiran 34. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th % Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 34 31 28 25 69 116 119 113 158 162 168 175 182 193 194 194 197 152 150 97 93 90 40 37 122

Form36

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	Qtot	Q av	
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-64	-03	
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-07	00
3 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	00	00	01	01	01	01	-26	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-11	00
5 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	01	-25	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-20	-22	-22	-19	-13	-05	04	12	19	23	24	22	19	16	12	09	06	02	-02	-06	00	-01	00
7 o:	-03	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	06	04	03	02	01	-01	-02	00	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-12	-13	-14	-14	-13	-09	-03	02	08	12	15	16	14	13	11	08	06	04	01	-01	-04	01	00	00
10r:	-44	-59	-72	-83	-91	-96	-98	-91	-72	-44	-11	23	51	70	77	75	70	62	51	38	23	06	-11	-28	-256	-11	
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648	
tot:	-17	-39	-59	275	623	649	597	935	964	1008	1058	1108	1194	1198	1206	1233	895	882	483	453	434	55	32	07	15175	632	

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

Lampiran 35. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains 471 471 397 175 73 79 157 43 51 0 7 0 1 0 7 0 1 0 7 0 1 1 1 4 1 0 9 2 1 0 9 2 1 1 2 5 7 9 7 5 7 9 7 5 4 1 5 1 4 0 3 1 4 0 3 1 471 471 471 6484

driving forces

10xTout 106 99 93 89 88 91 101 116 133 153 171 185 195 198 197 193 187 180 171 160 149 137 126 116 143

G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
 G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
 G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 horiz - - - - - 02 09 17 24 30 34 35 33 28 21 13 05 - - - - - 10

10xTin 59 55 52 50 94 141 145 140 187 193 199 206 212 223 222 223 226 180 177 124 120 117 66 62 151

Form36

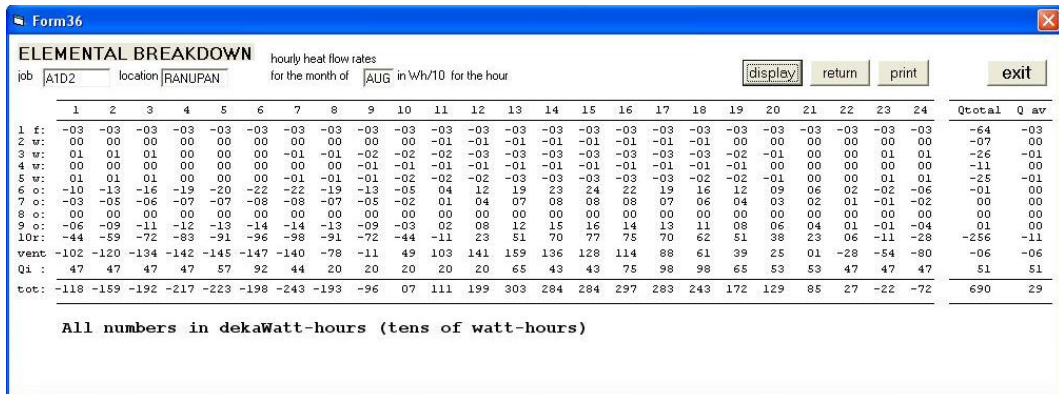
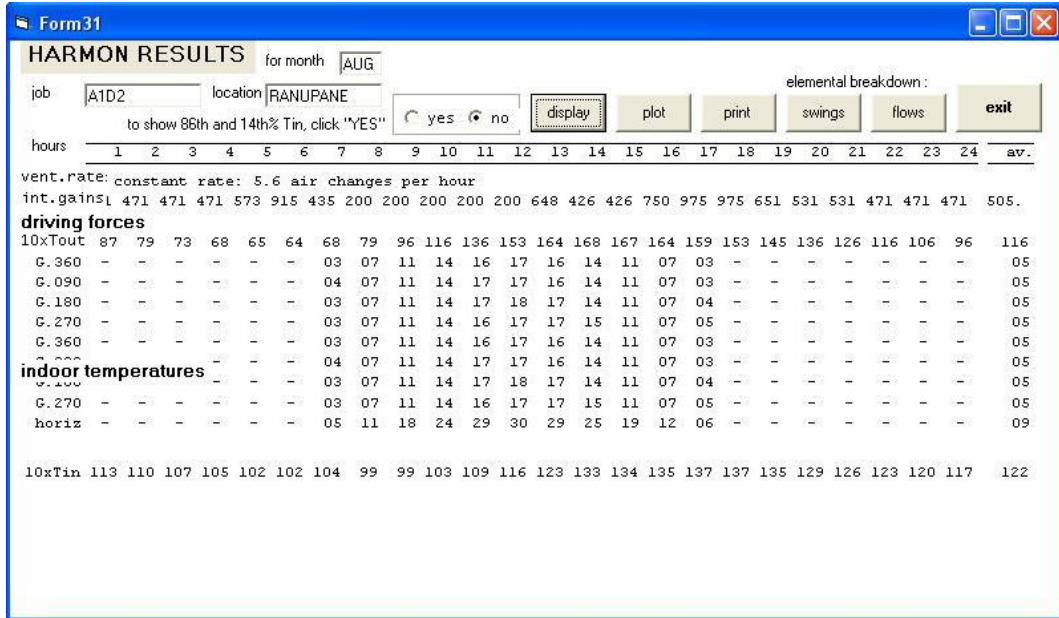
ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates
 for the month of in Wh/10 for the hour

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-79	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-08	00
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-04	-03	-03	-02	-02	-02	-02	-01	00	00	01	01	-32	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-14	-01
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	-30	-01
6 o:	-13	-17	-20	-22	-23	-24	-22	-17	-09	00	08	16	22	25	25	23	20	16	12	08	04	00	-05	-09	-01	00
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	08	09	09	08	07	06	04	03	01	00	-02	-03	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-14	-15	-15	-14	-11	-06	00	05	10	14	17	17	15	13	10	08	05	03	00	-03	-06	-01	00
10 r:	-59	-75	-88	-97	-103	-105	-100	-84	-59	-29	03	33	58	74	79	77	71	62	49	33	15	-03	-23	-42	-313	-13
vent:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	-39	-63	-82	253	604	634	594	946	984	1030	1079	1123	1204	1204	1210	1236	898	880	479	446	423	41	14	-14	15084	629

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

Lampiran 36. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)



Lampiran 37. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xT_{out} 106 99 93 89 88 91 101 116 133 153 171 185 195 198 197 193 187 180 171 160 149 137 126 116 143

G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
 G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
indoor temperatures
 G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 horiz - - - - - 02 09 17 24 30 34 35 33 28 21 13 05 - - - - - 10

10xT_{in} 138 135 132 129 127 127 130 127 128 134 141 147 153 162 163 163 165 165 162 157 153 149 145 142 151

Form36

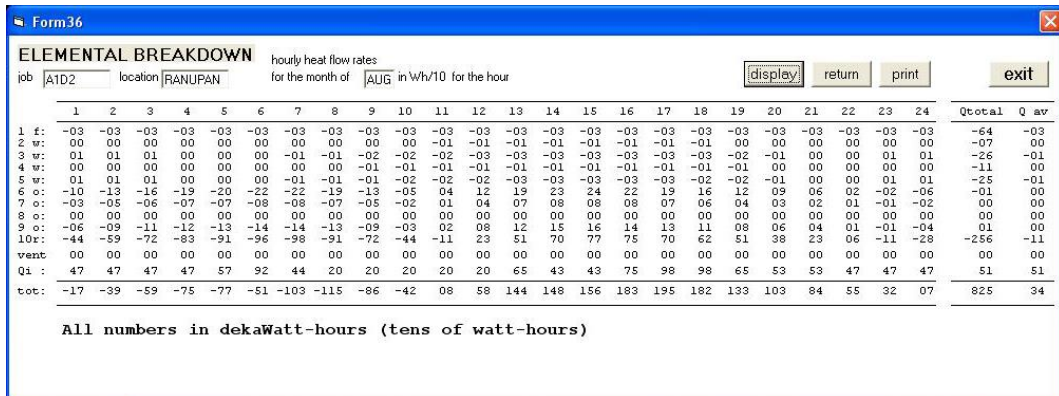
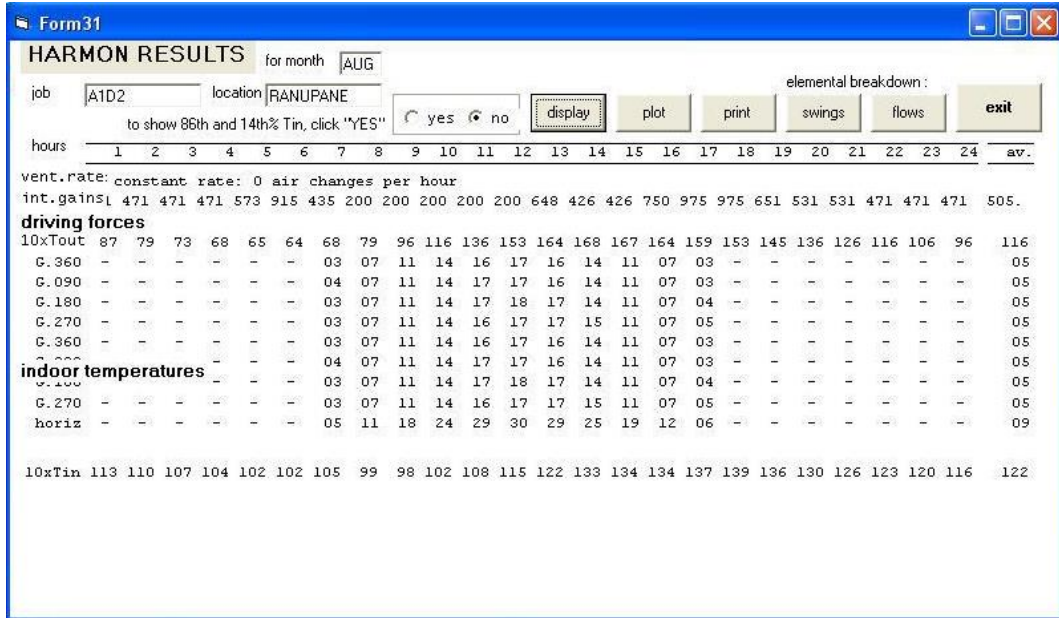
ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of in Wh/10 for the hour

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av	
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-79	-03	
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-08	00	
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-04	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	-32	-01	
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-14	-01	
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	-30	-01	
6 o:	-13	-17	-20	-22	-23	-24	-22	-17	-09	00	08	16	22	25	25	23	20	16	12	08	04	00	-05	-09	-01	00	
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	08	09	09	08	07	06	04	03	01	00	-02	-03	00	00	30	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	
9 o:	-09	-11	-13	-14	-15	-15	-14	-11	-06	00	05	10	14	17	17	15	13	10	08	05	03	00	-03	-06	-01	00	
10r:	-59	-75	-88	-97	-103	-105	-100	-84	-59	-29	03	33	58	74	79	77	71	62	49	33	15	-03	-23	-42	-313	-13	
Q1:	-124	-141	-151	-155	-152	-138	-113	-43	20	72	116	147	161	138	132	118	88	58	32	13	-15	-47	-75	-102	-07	-07	
Q1:	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51	
tot:	-164	-203	-233	-252	-248	-204	-219	-148	-46	52	145	221	315	293	292	304	286	239	161	110	58	-07	-62	-116	573	24	

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

Lampiran 38. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)



Lampiran 39. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A1D2 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout	106	99	93	89	88	91	101	116	133	153	171	185	195	198	197	193	187	180	171	160	149	137	126	116	143
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.000	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.100	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	02	09	17	24	30	34	35	33	28	21	13	05	-	-	-	-	-	-	-	10

10xTin 138 135 132 129 127 127 131 126 127 133 140 146 152 163 162 163 166 166 164 157 153 150 145 142 151

Form36

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

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-79	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-08	00
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-04	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	01	-32	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-14	-01
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	00	01	01	-30	-01
6 o:	-13	-17	-20	-22	-23	-24	-22	-17	-09	00	08	16	22	25	25	23	20	16	12	08	04	00	-05	-09	-01	00
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	08	09	09	08	07	06	04	03	01	00	-02	-03	00	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-14	-15	-15	-14	-11	-06	00	05	10	14	17	17	15	13	10	08	05	03	00	-03	-06	-01	00
10 r:	-59	-75	-88	-97	-103	-105	-100	-84	-59	-29	03	33	58	74	79	77	71	62	49	33	15	-03	-23	-42	-313	-13
vent:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1:	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	-39	-63	-82	-97	-96	-66	-106	-104	-66	-20	29	73	154	154	160	186	198	180	129	96	73	41	14	-14	734	31

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

Lampiran 40. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job A2D1 location RANUPANE elemental breakdown :

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
G.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
G.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
G.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
G.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
G.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

G.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
G.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
G.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 69 68 67 66 93 121 123 120 147 148 150 153 155 160 160 160 162 135 134 103 102 101 72 70 123

Form36

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

job A2D1 location RANUPANE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-73	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-09	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-05	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-03	-01	01	02	04	04	04	03	-36	-02
4 w:	01	01	01	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	02	02	02	01	01	-15	-01
5 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	01	02	03	04	04	03	03	-34	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-21	-22	-22	-20	-14	-06	03	12	19	23	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-06	-09	00
7 o:	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	01	-01	-02	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	-04	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-12	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-02	-05	-57	-02
vent	69	43	23	08	-109	-221	-214	-157	-196	-125	-56	00	35	29	29	17	-10	69	41	127	94	57	133	100	-09	-09
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	94	57	26	353	589	504	462	849	820	908	997	1073	1170	1154	1158	1179	823	901	486	557	519	114	180	135	15107	629

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

Lampiran 41. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 47139717573791574351070107010701070107011410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	106	99	93	89	88	91	101	116	133	153	171	185	195	198	197	193	187	180	171	160	149	137	126	116	143	
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	-	06

indoor temperatures

indoor	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	02	09	17	24	30	34	35	33	28	21	13	05	-	-	-	-	-	-	-	-	10

10xTin 96 95 93 92 119 148 150 147 175 177 179 182 184 189 188 188 190 163 162 131 129 129 99 97 152

Form36

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:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-91	-04
2 w:	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	01	-12	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-03	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-08	-07	-06	-05	-03	-01	01	03	04	04	04	03	03	-45	-02
4 w:	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-01	00	01	01	02	02	02	01	01	01	01	-19	-01
5 w:	02	02	01	00	-01	-02	-04	-05	-05	-06	-07	-07	-07	-06	-04	-03	-01	01	03	03	04	03	03	03	03	-43	-02
6 o:	-13	-17	-20	-22	-24	-24	-22	-17	-09	-01	08	15	21	25	25	23	20	15	11	08	04	-01	-05	-09	-12	-01	
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-03	-04	00	
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-15	-15	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	16	15	13	09	07	05	02	00	-03	-06	-08	00	
10 r:	-09	-11	-13	-14	-16	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-64	-03	
vent	40	15	-03	-12	-122	-219	-191	-122	-160	-94	-34	14	43	35	35	21	-10	66	33	113	75	34	107	71	-11	-11	
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648	
tot:	54	18	-10	321	565	498	481	884	861	946	1026	1092	1182	1163	1167	1186	827	897	478	541	495	85	145	97	14999	625	

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

Lampiran 42. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job A2D1 location RANUPANE elemental breakdown :

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 56 55 54 53 52 51 87 124 127 122 157 158 160 162 164 171 170 171 175 140 139 98 96 96 123

Form36

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

job A2D1 location RANUPANE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtot	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-73	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-09	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-05	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-03	-01	01	02	04	04	04	03	-36	-02
4 w:	01	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	02	02	02	01	-15	-01	
5 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	01	02	03	04	04	03	-34	-01	
6 o:	-06	-10	-13	-16	-19	-21	-22	-22	-20	-14	-06	03	12	19	23	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-09	00
7 o:	-02	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	01	-01	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-04	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-12	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-02	-05	-57	-02
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot :	32	21	10	350	701	728	677	1000	1004	1017	1035	1056	1122	1116	1128	1166	839	838	453	436	431	65	55	44	15322	638

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

Lampiran 43. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 397 175 73 79 157 43 51 0 7 0 1 0 7 0 1 0 7 0 1 1 1 4 1 0 9 2 1 0 9 2 1 1 2 5 7 9 7 5 7 9 7 5 4 1 5 1 4 0 3 1 4 0 3 1 471 471 471 6484

driving forces

10xTout 106 99 93 89 88 91 101 116 133 153 171 185 195 198 197 193 187 180 171 160 149 137 126 116 143

C.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 C.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 C.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
 C.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 C.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 C.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
indoor temperatures
 C.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
 C.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 horiz - - - - - 02 09 17 24 30 34 35 33 28 21 13 05 - - - - - 10

10xTin 84 82 81 80 78 77 113 151 154 149 185 186 189 191 193 200 199 200 203 167 167 125 124 123 152

Form36

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

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-91	-04
2 w:	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	-12	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-03	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-07	-06	-05	-03	-01	01	03	04	04	04	04	03	-45	-02
4 w:	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	00	01	01	02	02	02	01	01	-19	-01
5 w:	02	02	01	00	-01	-02	-04	-05	-05	-06	-07	-07	-07	-06	-04	-03	-01	01	03	03	04	03	03	03	-43	-02
6 o:	-09	-13	-17	-20	-22	-24	-24	-22	-17	-09	-01	08	15	21	25	25	23	20	15	11	08	04	-01	-05	-12	-01
7 o:	-03	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-04	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-13	-15	-15	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	16	15	13	09	07	05	02	00	-03	-08	00
10r:	-09	-11	-13	-14	-16	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-64	-03
vent:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	22	10	-02	338	690	717	668	996	1007	1023	1043	1063	1127	1121	1133	1170	842	840	452	435	428	59	48	35	15266	636

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

Lampiran 44. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month **AUG**

job **A2D1** location **RANUPANE** elemental breakdown : swings flows exit

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout 87 79 73 68 65 64 68 79 96 116 136 153 164 168 167 164 159 153 145 136 126 116 106 96 116

G.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05
 G.090 - - - - - 04 07 11 14 17 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05
 G.180 - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - 05
 G.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - 05
 G.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05

indoor temperatures

horiz - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - 05
 G.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - 05
 horiz - - - - - 05 11 18 24 29 30 29 25 19 12 06 - - - - - 09

10xTin 117 116 115 114 113 113 115 111 110 112 114 117 119 124 123 123 126 127 126 123 122 121 120 118 123

Form36

ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of **AUG** in W/h*10 for the hour

job **A2D1** location **RANUPAN**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-73	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-09	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-05	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-03	-01	01	02	04	04	04	03	-36	-02
4 w:	01	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	02	02	02	01	01	01	-15	-01
5 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	01	02	03	04	04	03	-34	-01
6 o:	-10	-13	-16	-19	-21	-22	-22	-20	-14	-06	03	12	19	23	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-06	-09	00
7 o:	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	01	-01	-02	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	-04	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-12	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-02	-05	-57	-02
vent	-117	-143	-164	-178	-186	-190	-183	-125	-55	16	85	141	176	170	170	158	131	101	73	50	17	-20	-53	-87	-09	-09
Q1 :	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	-92	-129	-160	-189	-189	-164	-206	-169	-89	-01	87	164	261	245	249	270	264	232	168	130	91	37	-06	-51	757	32

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

Lampiran 45. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout 106 99 93 89 88 91 101 116 133 153 171 185 195 198 197 193 187 180 171 160 149 137 126 116 143

C.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 C.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 C.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
 C.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 C.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 C.000 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 C.100 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
indoor temperatures
 C.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 horiz - - - - - 02 09 17 24 30 34 35 33 28 21 13 05 - - - - - 10

10xTin 144 143 141 140 139 139 142 139 139 141 143 145 147 153 152 152 154 155 154 151 149 148 147 145 152

Form36

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

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-91	-04
2 w:	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-12	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-03	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-08	-07	-06	-05	-03	-01	01	03	04	04	04	03	-45	-02
4 w:	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-01	00	01	01	02	02	02	02	01	-19	-01	
5 w:	02	02	01	00	-01	-02	-04	-05	-05	-06	-07	-07	-07	-06	-04	-03	-01	01	03	03	04	03	03	-43	-02	
6 o:	-13	-17	-20	-22	-24	-24	-22	-17	-09	-01	08	15	21	25	25	23	20	15	11	08	04	-01	-05	-09	-12	-01
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-03	-04	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-15	-15	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	16	15	13	09	07	05	02	00	-03	-06	-08	00
10r:	-09	-11	-13	-14	-16	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-64	-03
vent:	-147	-171	-189	-198	-199	-187	-159	-91	-20	46	107	154	183	176	175	162	131	98	65	36	-02	-43	-80	-116	-11	-11
Q1 :	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51	51
tot:	-132	-169	-196	-215	-213	-171	-188	-134	-48	36	117	183	272	254	258	277	267	229	159	113	68	07	-41	-89	649	27

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

Lampiran 46. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job A2D1 location RANUPANE elemental breakdown : swings flows exit

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout 87 79 73 68 65 64 68 79 96 116 136 153 164 168 167 164 159 153 145 136 126 116 106 96 116

G.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - - - - - 05
 G.090 - - - - - 04 07 11 14 17 17 16 14 11 07 03 - - - - - - - - - 05
 G.180 - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - - - - - 05
 G.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - - - - - 05
 G.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - - - - - 05

indoor temperatures

horiz - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - - - - - 05
 G.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - - - - - 05

10xTin 120 119 118 117 116 114 113 113 116 111 109 110 112 114 116 123 122 123 127 129 128 124 123 122 123

Form36

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

job A2D1 location RANUPANE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-73	-03
2 w:	01	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-09	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-04	-05	-05	-06	-06	-07	-07	-06	-05	-03	-01	01	02	04	04	04	03	-36	-02
4 w:	01	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	02	02	02	02	01	01	-15	-01
5 w:	03	02	01	00	-01	-02	-03	-03	-04	-05	-06	-06	-06	-06	-05	-03	-01	01	02	03	04	04	03	03	-34	-01
6 o:	-06	-10	-13	-16	-19	-21	-22	-22	-20	-14	-06	03	12	19	23	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-09	00
7 o:	-02	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	01	-01	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-04	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-12	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-02	-05	-57	-02
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1 :	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	32	21	10	00	01	28	-23	-50	-46	-33	-15	06	72	66	78	116	139	138	103	86	81	65	55	44	972	40

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

Lampiran 47. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D1 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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	av.
vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour																									
int.gains	471	471	471	573	915	435	200	200	200	200	200	648	426	426	750	975	975	651	531	531	471	471	471	505.	
driving forces																									
10xTout	106	99	93	89	88	91	101	116	133	153	171	185	195	198	197	193	187	180	171	160	149	137	126	116	143
C.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
C.090	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
C.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
C.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
C.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	06
indoor temperatures																									
G.100	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	02	09	17	24	30	34	35	33	28	21	13	05	-	-	-	-	-	-	-	10
10xTin	147	146	145	143	142	141	140	140	143	138	137	138	140	143	145	152	151	151	155	156	156	152	150	149	152

Form36

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

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-91	-04
2 w:	01	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-02	-02	-01	-01	00	00	01	01	01	01	01	01	-12	00
3 w:	03	02	01	00	-01	-03	-04	-05	-06	-06	-07	-07	-08	-07	-06	-05	-03	-01	01	03	04	04	04	03	-45	-02
4 w:	01	01	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	00	01	01	02	02	02	01	-19	-01	00
5 w:	02	02	01	00	-01	-02	-04	-05	-05	-06	-07	-07	-07	-06	-04	-03	-01	01	03	03	04	03	03	-43	-02	00
6 o:	-09	-13	-17	-20	-22	-24	-24	-22	-17	-09	-01	08	15	21	25	25	23	20	15	11	08	04	-01	-05	-12	-01
7 o:	-03	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	06	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-04	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-06	-09	-11	-13	-15	-15	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	16	15	13	09	07	05	02	00	-03	-08	00
10 r:	-09	-11	-13	-14	-16	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-64	-03
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1 :	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51	
tot :	22	10	-02	-12	-10	17	-32	-54	-43	-27	-07	13	77	71	83	120	142	140	102	85	78	59	48	35	916	38

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

Lampiran 48. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job A2D2 location RANUPANE elemental breakdown :

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
G.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
G.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
G.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
G.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
G.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

G.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
G.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
G.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 45 44 42 41 81 123 126 121 161 164 167 171 174 182 181 181 183 143 141 95 93 92 48 47 123

Form36

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

job A2D2 location RANUPANE

	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:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-76	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-06	00
3 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-02	-01	00	01	01	01	01	-25	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	01	-11	00
5 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	01	-23	-01
6 o:	-10	-14	-17	-19	-21	-22	-22	-20	-14	-06	03	12	19	22	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-06	-11	00
7 o:	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	00	-01	-02	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	-06	00	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-13	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-03	-05	-58	-02
vent	163	139	119	106	-62	-228	-226	-162	-252	-185	-121	-70	-39	-54	-54	-65	-94	38	13	159	130	94	225	192	-10	-10
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	183	149	121	450	637	501	456	850	772	857	941	1013	1106	1080	1084	1102	741	866	452	579	544	142	264	222	15109	630

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

Lampiran 49. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 dengan perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471 397 175 73 79 157 43 51 07 01 07 01 07 01 07 01 11 14 10 9 2 10 9 2 11 2 5 7 9 7 5 4 1 5 1 4 0 3 1 4 0 3 1 4 7 1 4 7 1 4 7 1 6 4 8 4

driving forces

10xTout	106	99	93	89	88	91	101	116	133	153	171	185	195	198	197	193	187	180	171	160	149	137	126	116	143
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06

indoor temperatures

G.360	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	02	09	17	24	30	34	35	33	28	21	13	05	-	-	-	-	-	-	-	10

10xTin 71 70 68 67 107 149 153 149 190 193 197 200 203 211 209 209 211 171 169 123 120 119 75 73 152

Form36

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

job location

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-94	-04
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-08	00
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-04	-04	-03	-03	-02	-02	-02	-01	00	01	01	01	-31	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-13	-01
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	01	01	-29	-01
6 o:	-14	-17	-20	-22	-24	-24	-22	-17	-10	-01	08	15	21	24	25	22	19	15	11	07	03	-01	-05	-10	-15	-01
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	05	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-03	-05	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-15	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	16	15	13	09	07	05	02	-01	-03	-06	-10	00	
10r:	-09	-11	-13	-14	-16	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-66	-03
vent	135	112	95	87	-74	-224	-202	-129	-219	-158	-102	-59	-34	-51	-49	-61	-93	35	06	145	111	72	199	164	-12	-12
Qi :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	145	112	87	421	615	497	476	886	812	893	969	1031	1116	1086	1090	1107	742	862	443	563	521	113	230	185	15001	625

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

Lampiran 50. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month **AUG**

job **A2D2** location **RANUPANE** yes no

to show 86th and 14th% Tin, click "YES"

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471397175737915743510701070107010701070111410921092112579757975415140314031 471 471 471 6484

driving forces

10xTout 87 79 73 68 65 64 68 79 96 116 136 153 164 168 167 164 159 153 145 136 126 116 106 96 116

C.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05
 C.090 - - - - - 04 07 11 14 17 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05
 C.180 - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - 05
 C.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - 05
 C.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - 05

indoor temperatures

C.270 - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - 05
 C.180 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - 05
 horiz - - - - - 05 11 18 24 29 30 29 25 19 12 06 - - - - - 09

10xTin 23 22 20 19 17 71 127 132 125 177 180 183 187 191 200 198 198 202 149 147 86 83 82 25 123

Form36

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

job **A2D2** location **RANUPANE**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-76	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-06	00
3 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-02	-01	00	01	01	01	-25	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	01	01	-11	00
5 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	-23	-01
6 o:	-10	-14	-17	-19	-21	-22	-20	-14	-06	03	12	19	22	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-06	-11	00	00
7 o:	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	00	-01	-02	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	-06	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-03	-05	-58	-02	00
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1:	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	20	10	02	344	699	729	681	1012	1024	1042	1062	1083	1145	1134	1138	1167	834	828	438	421	414	48	39	30	15344	639

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

Lampiran 51. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 dengan perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 397 175 73 79 15 74 35 10 70 10 70 10 70 11 14 10 9 2 10 9 2 11 2 5 7 9 7 5 4 1 5 1 4 0 3 1 4 0 3 1 4 7 1 4 7 1 4 7 1 6 4 8 4

driving forces

10xTout 106 99 93 89 88 91 101 116 133 153 171 185 195 198 197 193 187 180 171 160 149 137 126 116 143

G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - - - - - - 06
 G.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - - - - - - 06
 G.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - - - - - - 06
 G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - - - - - - 06
 G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - - - - - - 06

indoor temperatures

G.100 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - - - - - - 06
 G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - - - - - - 06
 horiz - - - - - 02 09 17 24 30 34 35 33 28 21 13 05 - - - - - - - - - - 10

10xTin 50 48 46 45 43 97 153 158 152 206 210 213 217 220 229 227 226 230 177 175 113 111 109 51 152

Form36

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

job location

	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:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-94	-04
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-08	00
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-04	-04	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	01	-31	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-13	-01
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	01	01	-29	-01
6 o:	-14	-17	-20	-22	-24	-24	-22	-17	-10	-01	08	15	21	24	25	22	19	15	11	07	03	-01	-05	-10	-15	-01
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	05	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-03	-05	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-15	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	16	15	13	09	07	05	02	-01	-03	-06	-10	00	00
10 r:	-09	-11	-13	-14	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-66	-03	00
vent:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1 :	47	47	47	397	757	792	744	1070	1070	1070	1070	1070	1115	1093	1093	1125	798	798	415	403	403	47	47	47	648	648
tot:	10	00	-09	334	690	721	678	1015	1031	1050	1071	1090	1150	1137	1139	1168	835	827	437	418	410	42	31	20	15294	637

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

Lampiran 52. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month AUG

job A2D2 location RANUPANE yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout 87 79 73 68 65 64 68 79 96 116 136 153 164 168 167 164 159 153 145 136 126 116 106 96 116

C.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - - - - - 05
 C.090 - - - - - 04 07 11 14 17 17 16 14 11 07 03 - - - - - - - - - 05
 C.180 - - - - - 03 07 11 14 17 18 17 14 11 07 04 - - - - - - - - - 05
 C.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - - - - - 05
 C.360 - - - - - 03 07 11 14 16 17 16 14 11 07 03 - - - - - - - - - 05
 C.090 - - - - - 04 07 11 14 17 17 16 14 11 07 03 - - - - - - - - - 05

indoor temperatures

C.270 - - - - - 03 07 11 14 16 17 17 15 11 07 05 - - - - - - - - - 05
 horiz - - - - - 05 11 18 24 29 30 29 25 19 12 06 - - - - - - - - - 09

10xTin 116 114 113 111 110 111 114 109 108 110 114 117 121 129 127 127 130 131 129 124 122 121 119 117 123

Form36

ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of AUG in W/h/10 for the hour

job A2D2 location RANUPANE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-76	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-06	00
3 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	01	-25	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	01	01	-11	00
5 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	01	-23	-01
6 o:	-10	-14	-17	-19	-21	-22	-22	-20	-14	-06	03	12	19	22	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-06	-11	00
7 o:	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	00	-01	-02	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	-06	00	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-03	-05	-08	-02	-02
vent:	-112	-136	-156	-169	-176	-181	-179	-115	-45	23	87	138	169	153	154	143	114	84	60	45	16	-20	-50	-83	-10	-10
Q1:	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	-92	-126	-154	-175	-177	-152	-198	-153	-71	14	99	171	264	237	242	260	248	213	149	116	80	28	-11	-53	759	32

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

Lampiran 53. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 tanpa perapian dan ACH 5.6 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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	av.
vent.rate: constant rate: 5.6 air changes per hour																									
int.gains	471	471	471	573	915	435	200	200	200	200	200	648	426	426	750	975	975	651	531	531	471	471	471	505.	
driving forces																									
10xTout	106	99	93	89	88	91	101	116	133	153	171	185	195	198	197	193	187	180	171	160	149	137	126	116	143
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.090	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.180	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
G.360	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
G.000	-	-	-	-	-	01	06	11	14	18	20	20	19	16	12	08	03	-	-	-	-	-	-	-	06
indoor temperatures																									
G.100	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	20	21	20	16	12	08	02	-	-	-	-	-	-	-	06
G.270	-	-	-	-	-	01	05	10	14	17	19	20	20	17	12	08	01	-	-	-	-	-	-	-	06
horiz	-	-	-	-	-	02	09	17	24	30	34	35	33	28	21	13	05	-	-	-	-	-	-	-	10
10xTin	142	141	139	138	136	137	141	137	136	140	143	147	150	158	156	155	158	159	157	152	149	148	145	144	152

Form36

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	Qtotal	Q av
1 f:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-94	-04
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-08	00
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-04	-04	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	-31	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-13	-01
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	01	01	-29	-01
6 o:	-14	-17	-20	-22	-24	-24	-22	-17	-10	-01	08	15	21	24	25	22	19	15	11	07	03	-01	-05	-10	-15	-01
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	05	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-03	-05	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-15	-16	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	15	13	09	07	05	02	-01	-03	-06	-10	00	
10r:	-09	-11	-13	-14	-16	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-66	-03
vent	-140	-163	-179	-188	-188	-177	-155	-82	-11	50	106	149	173	157	159	147	115	82	53	31	-03	-42	-76	-110	-12	-12
Q1 :	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	47	51	51
tot:	-130	-163	-188	-204	-199	-156	-177	-117	-30	50	126	188	273	244	248	265	250	209	140	99	57	-01	-44	-90	651	27

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

Lampiran 54. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terdingin (agustus)

Form31

HARMON RESULTS for month **AUG**

job **A2D2** location **RANUPANE** elemental breakdown :

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout	87	79	73	68	65	64	68	79	96	116	136	153	164	168	167	164	159	153	145	136	126	116	106	96	116
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.090	-	-	-	-	-	-	04	07	11	14	17	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05
C.180	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
C.360	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	16	14	11	07	03	-	-	-	-	-	-	-	05

indoor temperatures

horiz	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	17	18	17	14	11	07	04	-	-	-	-	-	-	-	05
C.270	-	-	-	-	-	-	03	07	11	14	16	17	17	15	11	07	05	-	-	-	-	-	-	-	05
horiz	-	-	-	-	-	-	05	11	18	24	29	30	29	25	19	12	06	-	-	-	-	-	-	-	09

10xTin 117 116 114 113 111 110 111 116 109 106 109 112 116 119 129 127 127 131 133 131 125 122 121 119 123

Form36

ELEMENTAL BREAKDOWN hourly heat flow rates for the month of **AUG** in W/h/10 for the hour

job **A2D2** location **RANUPANE**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Qtotal	Q av
1 f:	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-76	-03
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-06	00
3 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	01	-25	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	01	01	-11	00
5 w:	01	01	01	00	00	00	-01	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	01	-23	-01
6 o:	-10	-14	-17	-19	-21	-22	-22	-20	-14	-06	03	12	19	22	23	22	19	15	12	09	05	01	-02	-06	-11	00
7 o:	-04	-05	-06	-07	-07	-08	-08	-07	-05	-02	01	04	07	08	08	08	07	05	04	03	02	00	-01	-02	-03	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-07	-09	-11	-12	-14	-14	-15	-13	-09	-04	02	08	12	15	15	14	12	11	08	06	03	01	-02	-04	-06	00
10r:	-07	-09	-11	-12	-14	-15	-13	-12	-09	-05	-01	04	07	10	10	10	09	08	06	04	00	-03	-05	-08	-02	00
vent:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1 :	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	20	10	02	-06	-01	29	-19	-38	-26	-08	12	33	95	84	88	117	134	128	88	71	64	48	39	30	994	41

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

Lampiran 55. Hasil simulasi T(in) dan Elemental breakdown model kombinasi A2D2 tanpa perapian dan ACH 0.0 pada bulan terpanas (oktober)

Form31

HARMON RESULTS for month

job location elemental breakdown:

to show 86th and 14th% Tin, click "YES" yes no

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 av.

vent.rate: constant rate: 0 air changes per hour
 int.gains: 471 471 471 573 915 435 200 200 200 200 200 648 426 426 750 975 975 651 531 531 471 471 471 505.

driving forces

10xTout 106 99 93 89 88 91 101 116 133 153 171 185 195 198 197 193 187 180 171 160 149 137 126 116 143

G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.090 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.180 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06
 G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 G.360 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.000 - - - - - 01 06 11 14 18 20 20 19 16 12 08 03 - - - - - 06
 G.100 - - - - - 01 05 10 14 17 20 21 20 16 12 08 02 - - - - - 06

indoor temperatures

G.270 - - - - - 01 05 10 14 17 19 20 20 17 12 08 01 - - - - - 06
 horiz - - - - - 02 09 17 24 30 34 35 33 28 21 13 05 - - - - - 10

10xTin 144 142 140 139 137 136 137 142 136 135 138 142 146 149 158 156 155 159 161 159 152 150 148 145 152

Form36

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

job location

	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:	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-04	-94	-04
2 w:	00	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	00	-08	00
3 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-04	-04	-03	-03	-02	-02	-01	00	01	01	01	-31	-01
4 w:	00	00	00	00	00	00	00	-01	-01	-01	-01	-01	-01	-02	-02	-01	-01	-01	-01	00	00	00	00	00	-13	-01
5 w:	01	01	00	00	00	-01	-01	-02	-02	-02	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-03	-02	-01	-01	00	01	01	01	-29	-01
6 o:	-14	-17	-20	-22	-24	-22	-17	-10	-01	08	15	21	24	25	22	19	15	11	07	03	-01	-05	-10	-15	-15	-01
7 o:	-05	-06	-07	-08	-08	-08	-06	-03	00	03	05	07	09	09	08	07	05	04	03	01	00	-02	-03	-05	00	00
8 o:	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
9 o:	-09	-11	-13	-15	-16	-15	-11	-06	-01	05	10	14	16	16	15	13	09	07	05	02	-01	-03	-06	-10	-10	00
10r:	-09	-11	-13	-14	-16	-16	-14	-13	-11	-07	-03	01	05	08	10	11	10	09	08	06	04	-01	-04	-06	-66	-03
vent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Q1:	47	47	47	47	57	92	44	20	20	20	20	20	65	43	43	75	98	98	65	53	53	47	47	47	51	51
tot:	10	00	-09	-16	-10	21	-22	-35	-19	00	21	40	100	87	89	118	135	127	87	68	60	42	31	20	944	39

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

