



TESIS-RA142541

**PENGARUH POLA DAN KEPADATAN BANGUNAN
TERHADAP KONDISI TERMAL RUANG LUAR
PERMUKIMAN PERKOTAAN DI SURABAYA**

RONALMANTO
08111350040005

Dosen Pembimbing
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD
Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, MT

Program Pascasarjana
Bidang Keahlian Arsitektur Lingkungan
Departemen Arsitektur
Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019



TESIS-RA142541

**PENGARUH POLA DAN KEPADATAN BANGUNAN
TERHADAP KONDISI TERMAL RUANG LUAR
PERMUKIMAN PERKOTAAN DI SURABAYA**

RONALMANTO
08111350040005

Dosen Pembimbing
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD
Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, MT

Program Pascasarjana
Bidang Keahlian Arsitektur Lingkungan
Departemen Arsitektur
Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019



TESIS-RA142541

**THE EFFECT OF PATTERN AND DENSITY OF
THE TERMAL CONDITION OF URBAN
SETTLEMENT SPACE IN SURABAYA**

RONALMANTO
08111350040005

Supervisor
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD
Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, MT

Magister Program
Environmental Architecture
Departemen Architecture
Faculty Architecture, Design and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Arsitektur (M. Ars)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
Ronalmanto
NRP. 08111350040005

Tanggal Ujian : 1 Februari 2019
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

- 
.....
1. Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD (Pembimbing I)
NIP. 196804251992101001
- 
.....
2. Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N. E. MT (Pembimbing II)
NIP. 196111291986012001
- 
.....
3. Dr. Ir. V. Totok Noerwasito, MT (Penguji I)
NIP. 195512011981031003
- 
.....
4. Dr. Ing. Ir. Bambang Soemardiono, MT (Penguji II)
NIP. 196105201986011001



Disetujui oleh Pembimbing I, Pembimbing II, Penguji I, dan Penguji II
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Purwanita Setijanti, MSc, PhD
NIP. 19590427 198503 2 001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertandatangan di bawah ini

Nama Mahasiswa : Ronalmanto
NRP Mahasiswa : 08111350040005
Program Pendidikan : Magister
Departemen : Arsitektur
Bidang Keahlian : Arsitektur Lingkungan

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

PENGARUH POLA DAN KEPADATAN BANGUNAN TERHADAP KONDISI TERMAL RUANG LUAR PERMUKIMAN PERKOTAAN DI SURABAYA

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, 26 Desember 2018
Yang membuat pernyataan



Ronalmanto
08111350040005

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul: **Pengaruh Pola Dan Kepadatan Bangunan Terhadap Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan Di Surabaya**, sebagai persyaratan studi strata dua (S-2) pada program Magister Pascasarjana Departemen Arsitektur Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dengan selesainya penyusunan tesis ini, perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian tesis ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D, dan Ibu Dr. Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, MT., selaku pembimbing yang selalu memberikan waktu, pikiran, koreksi, arahan dan motivasi selama penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. V. Totok Noerwasito, MT., dan Dr. Ing. Ir. Bambang Soemardiono, MT., selaku tim penguji yang telah memberi masukan, saran, kritik dan koreksi yang sangat berarti dalam penyelesaian tesis ini.
3. Ibu Dr. Dewi Septanti, Spd., S.T., M.T., selaku koordinator Prodi Pascasarjana Arsitektur ITS, Bapak Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D, selaku Ketua Departemen Arsitektur ITS dan Ibu Ir. Purwanita Setijanti, MSc, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan ITS serta segenap dosen dan karyawan Departemen Arsitektur ITS yang telah memberikan bantuan dan kemudahan selama studi.
4. Teman- teman dan alumni program pascasarjana S2 bidang Arsitektur Lingkungan, atas kebersamaan dan dukungan dalam suka dan duka.
5. Keluarga besar jurusan Arsitektur TADULAKO, atas dukungan dan motivasinya dalam penulis menjalani studi.
6. Keluarga besar H. Mahmud dan Hj. Zaenab Fatoni (Almh), sebagai bagian dari keluarga kami di Surabaya, penulis ucapkan terimakasih yang mendalam atas dukungannya selama penulis dalam masa studi.

Buku tesis ini penulis dedikasikan untuk kedua orang tua tercinta, dengan ucapan terima kasih yang tulus dan mendalam kepada Ayahanda, H. Suaib dan Ibunda, Hj. Norma. Juga kepada Kakanda- kakanda (Merianti, A.md., Irawati, SH) dan Adinda- adinda tercinta (Ardiansyah, A.md., Riska Gustiana, S.KM., Faisal Susanto, S.Mat. dan Ilham, S.Kom), terima kasih atas do'a dan dukungannya semua.

Penulis sangat menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sekalian. Harapan terbesar dari penulis, semoga tesis ini memberi manfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Surabaya, Februari 2019

Penulis,

Ronalmanto

PENGARUH POLA DAN KEPADATAN BANGUNAN TERHADAP KONDISI TERMAL RUANG LUAR PERMUKIMAN PERKOTAAN DI SURABAYA

Nama Mahasiswa : RONALMANTO
NRP : 08111350040005
PEMBIMBING : Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD
CO-PEMBIMBING : Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N. E, MT

ABSTRAK

Pembangunan fisik kota secara intensif adalah bagian dari dampak dari pesatnya pertumbuhan penduduk kota. Hal ini diketahui membawa dampak pada kondisi dan kenyamanan termal lingkungan serta penggunaan energi bangunan, terutama pada kawasan permukiman perkotaan. Kondisi geometri perkotaan, sangat menentukan kondisi termal ruang luar yang tercipta. Penelitian ini mengkaji pengaruh pola blok bangunan, kepadatan bangunan dan orientasi blok bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya.

Tiga metode penelitian digunakan dalam penelitian ini, yakni penelitian lapangan, simulasi dan eksperimen dengan teknik simulasi, menggunakan program ENVI-met, versi 3.1. Penelitian lapangan dilakukan untuk mendapatkan gambaran fenomena melalui studi geometri dan kondisi termal pada subyek. Simulasi, sebagai pendekatan untuk mereplikasi fenomena yang terjadi pada subyek. Ekseperimen, sebagai pendekatan akhir untuk mengetahui bentuk dan nilai pengaruh dari masing- masing variabel desain (pola, kepadatan dan orientasi blok bangunan) terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar.

Hasil penelitian ini mengungkap bahwa pola, kepadatan dan orientasi blok bangunan berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, dengan intensitas pengaruh berbeda. Pola blok bangunan sebanding dengan tingkat aliran udara lingkungan, berbanding lurus dengan tingkat pendinginan temperatur udara atau peningkatan kenyamanan termal ruang luar. Kepadatan dan orientasi blok bangunan merupakan dua faktor yang dominan berpengaruh, melalui pengaruh keduanya terhadap penerimaan radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin. Pertambahan kepadatan bangunan (dengan rasio $H/W= 0,3- 2,3$), mengakibatkan dua kecenderungan, terjadi peningkatan dan penurunan kondisi termal ruang luar. Tingkat kepadatan bangunan ($H/W= 0,8$), merupakan rasio dengan rata- rata kondisi termal terpanas.

Kata kunci: Kepadatan bangunan, kondisi termal ruang luar, orientasi blok bangunan, permukiman perkotaan, *PET (Physiologically Equivalent Temperature)*, pola blok bangunan, tropis panas lembab.

THE EFFECT OF PATTERN AND DENSITY OF THE TERMAL CONDITION OF URBAN SETTLEMENT SPACE IN SURABAYA

Name : RONALMANTO
NRP : 08111350040005
Supervisor : Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, PhD
: Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N. E, MT

ABSTRACT

Intensive physical city development is one of the consequences of the city's rapid population growth. It is known that the city's development has an impact on the condition and thermal comfort of the environment, especially in urban settlements. The condition of urban geometry greatly determines urban thermal conditions. Thus, this study examines the relationship of blocks pattern, building density and blocks orientation on both outdoor thermal conditions and comfort in urban settlements in Surabaya.

Three research methods were used in this study, namely field research, simulation, and experiment with simulation techniques using a computer program namely ENVI-met, version 3.1. Field research was carried out to obtain an overview of phenomena through the study of geometry and thermal conditions on the subject. Simulation is used as an approach to replicate the phenomenon that occurs in the subject, while the experiment serves as the final approach to determine the shape and value of the influence of each design variable (blocks pattern, building density, and blocks orientation) on both outdoor thermal conditions and comfort.

The results of this study reveal that the blocks pattern, building density, and blocks orientation influence outdoor thermal conditions and comfort with different intensities. The blocks pattern are proportional to the level of environmental air flow, directly proportional to the level of cooling of the air temperature or the increase in outdoor thermal comfort. The building density and blocks orientation are two dominant influential factors, through their influence on the reception of solar radiation, longwave radiation deposits and wind speed. The increase in building density (with a ratio of $H / W = 0.3$ to 2.3), resulting in two trends, an increase and decrease in outdoor thermal conditions. The building density level ($H / W = 0.8$), is the ratio with the hottest thermal conditions.

Keywords: Building density, outdoor thermal conditions, blocks orientation, urban settlement, PET (Physiologically Equivalent Temperature), blocks pattern, humid hot tropics

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ix
KATA PENGANTAR	xi
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxv
DAFTAR SIMBOL DAN ISTILAH	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	7
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1 Permukiman Perkotaan	9
2.1.1 Karakteristik Tutupan Permukaan Tanah Permukiman Perkotaan.....	9
2.1.2 Pola dan Orientasi Massa Bangunan Permukiman Perkotaan	11
2.1.3 Tingkat kepadatan dan ketinggian bangunan permukiman perkotaan.....	14
2.2 Iklim dan Kondisi Termal Ruang Luar	15
2.2.1 Iklim Tropis Panas Lembab	17
2.2.2 Skala Iklim	18
2.2.3 Iklim Mikro Perkotaan pada Daerah Tropis Panas Lembab	20
2.2.4 Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Daerah Tropis Panas Lembab.....	21
2.3 Pengaruh Geometri lingkungan terhadap Kondisi Termal Ruang Luar	26
2.3.1 Pengaruh Jenis Material Tutupan Permukaan Tanah.....	28
2.3.2 Pengaruh Pola dan Orientasi Massa Bangunan.....	29
2.3.3 Pengaruh Kepadatan dan Ketinggian Bangunan.....	31
2.4 Sintesa Kajian Pustaka	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Paradigma Penelitian.....	37
3.2 Metode Penelitian	37
3.3 Subyek Penelitian.....	43
3.4 Variabel Penelitian.....	45
3.5 Data dan Koleksi Data	47
3.6 Detail Pengukuran Lapangan	48

3.6.1 Waktu Pengukuran.....	48
3.6.2 Titik Pengukuran	49
3.7 Rancangan Eksperimen	52
3.8 Analisis Data	57
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Profil Iklim Surabaya	59
4.2 Kondisi Pola dan Kepadatan Bangunan Permukiman Perkotaan di Surabaya	66
4.2.1 Pola dan Kepadatan Bangunan Permukiman di Tengah Kota.....	67
4.2.2 Pola dan Kepadatan Bangunan Permukiman di Pinggiran Kota	69
4.3 Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan di Surabaya	72
4.3.1 Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman di Tengah Kota.....	74
4.3.2 Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman di Pinggiran Kota	97
4.4 Simulasi Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan di Surabaya	110
4.4.1 Verifikasi Data.....	111
4.4.2 Simulasi Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Tengah Kota, Surabaya	120
4.4.3 Simulasi Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Pinggiran Kota, Surabaya.....	127
4.5 Pengaruh Pola dan Kepadatan Bangunan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Permukiman Perkotaan	130
4.5.1 Pengaruh Pola Blok Bangunan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan	131
4.5.2 Pengaruh Luas Area Terbangun terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan	139
4.5.3 Pengaruh Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan	149
4.5.4 Pengaruh Orientasi Blok Bangunan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan	165
4.5.5 Pengaruh Luas Permukaan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan	169
4.6 Rangkuman Hasil Pembahasan	171
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	174
5.1 Kesimpulan.....	174
5.2 Saran.....	178
DAFTAR PUSTAKA.....	180
LAMPIRAN	184

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tiga Bentuk Orientasi Bangunan yang Berkembang di dalam Sebuah Permukiman: (a) Pola dan Hunian yang Melingkupi Ruang Bersama (Central Space), (b) Orientasi Rumah di Sepanjang Jalan (Along Streets), (c) Rumah Berorientasi ke dalam Berupa Taman/ courtyard (inside-out)	11
Gambar 2.2	Sistem Pola Jalan Tidak Teratur (Irregular System)	12
Gambar 2.3	Sistem Pola Radial Konsentris (Radial Concentric System)	13
Gambar 2.4	Sistem Pola Jalan Bersudut Siku atau Grid (Rectangular or Grid System).....	14
Gambar 2.5	Hubungan Antara Penggunaan Lahan dengan Ketinggian Bangunan	15
Gambar 2.6	Garis Lintang dan Zona Iklim di Bumi	16
Gambar 2.7	Kategori Fisik Lingkungan berdasarkan Perbedaan Altitude: 1) Dataran Tinggi, 2) Dataran Rendah dan 3) Pesisir	18
Gambar 2.8	Skala Iklim pada Area Perkotaan: a) Meso-scale; b) Local-scale; c) Mikro-scale	19
Gambar 2.9	Klasifikasi Zona Iklim Lokal Perkotaan Berdasarkan Tingkatan Respon Termal Permukaan	20
Gambar 2.10	Pertukaran Panas pada Pukul 12.00, dalam Musim Panas	22
Gambar 2.11	Sudut Altitude Menentukan Jumlah Radiasi Matahari yang Diserap oleh Atmosfer.....	23
Gambar 2.12	Kurva Kelembaban Udara	25
Gambar 2.13	Keseimbangan Energi Canyon	27
Gambar 2.14	Grafik Keseimbangan Energi Canyon	28
Gambar 2.15	Bentuk Geometri dan Orientasi Blok Bangunan dan Kondisi Temperatur Udara yang	30
Gambar 2.16	Variasi Penurunan Temperatur (T), Radiasi Gelombang Panjang (L^*) dan Rasio dari Keduanya	32
Gambar 2.17	Ilustrasi Ratio Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dan Sky View Factor ($SVF, = \cos\beta$) pada Urban Canyon	32
Gambar 3.1	Pemukiman Informal (Kampung) di Surabaya	44
Gambar 3.2	Ilustrasi: (i) Site/ Lokasi Penelitian ('A'); (ii) Wilayah Iklim Mikro ('B'); dan (iii) Plot Area/ Titik-titik Pengukuran ('C')	50
Gambar 3.3	Gambaran Kondisi Titik Pengukuran (60x60m) pada Dua Subyek Penelitian, (i) Permukiman di Tengah Kota (Kampung Peneleh) dan (ii) Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek)	51
Gambar 3.4	Model berdasarkan Kondisi Eksisting Subyek (Model Eksisting), (a) Peneleh TU-1 (Permukiman di Tengah	

	Kota) dan (b) Kedung Cowek TU-3 (Permukiman di Pinggiran Kota)	54
Gambar 3.5	Model Pola Eksperimen: (a) Model 2D, Pola dan Posisi Titik-titik Ukur dan (b) Model 3D, (c) Model pada Program ENVI-met 3.1	55
Gambar 4. 1	Diagram Jalur Matahari Surabaya (Latitude: 7.2 LS)	61
Gambar 4. 2	Profil Iklim Surabaya dalam Kurun Waktu Lima Tahun Terakhir.....	65
Gambar 4.3	Gambaran Kondisi Geometri Lingkungan dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	68
Gambar 4.4	Gambaran Kondisi Geometri Lingkungan dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.	71
Gambar 4.5	Grafik Intensitas Radiasi Matahari pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	75
Gambar 4.6	Kondisi Kecepatan Angin dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya Menurut: (a) Waktu (Jam) dan (b) Arah Mata Angin	76
Gambar 4.7	Kondisi Geometri Lingkungan dan Kecepatan Angin dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	78
Gambar 4.8	Kecenderungan antara Kondisi Kecepatan Angin dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	79
Gambar 4.9	Grafik Temperatur Udara dari Enam Titik Ukur dan Intensitas Radiasi Matahari pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	83
Gambar 4.10	Kondisi Geometri Lingkungan dan Temperatur Udara dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	85
Gambar 4.11	Kecenderungan antara Kondisi Temperatur Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.	87
Gambar 4.12	Kecenderungan antara Kondisi Kecepatan Angin dan Temperatur Udara pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	93
Gambar 4.13	Grafik Kelembaban Udara pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	94

Gambar 4.14	Kondisi Geometri Lingkungan dan Kelembaban Udara dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya	95
Gambar 4.15	Kecenderungan antara Kondisi Kelembaban Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.	96
Gambar 4.16	Grafik Intensitas Radiasi Matahari pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.	97
Gambar 4.17	Kondisi Kecepatan Angin dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, Menurut: (a) Waktu dan (b) Arah Mata Angin.....	98
Gambar 4.18	Kondisi Geometri Lingkungan dan Arah dan Kecepatan Angin dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya	101
Gambar 4.19	Kecenderungan antara Kondisi Kecepatan Angin dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.	102
Gambar 4.20	Grafik Temperatur Udara pada Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek).....	104
Gambar 4.21	Kondisi Geometri Lingkungan dan Temperatur Udara dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.....	104
Gambar 4.22	Kecenderungan antara Kondisi Temperatur Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.	107
Gambar 4.23	Grafik Kelembaban Udara pada Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek).....	108
Gambar 4.24	Kondisi Geometri Lingkungan dan Kelembaban Udara dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya	108
Gambar 4.25	Kecenderungan antara Kondisi Kelembaban Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.	109
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan Temperatur Udara Hasil Pengukuran Lapangan dan Hasil Simulasi dari Dua Titik Pengukuran:	

	(a) Temperatur Udara pada Peneleh TU-1 (10 Nopember), (b) Temperatur Udara pada Kedung Cowek TU-3 (19 Nopember), dan (c) Hubungan antara Temperatur Udara Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi dari Kedua Titik Ukur	114
Gambar 4.27	(a, b) Grafik Temperatur Udara Hasil Simulasi pada Kondisi Terpanas (22 Oktober) dan Kondisi Pengukuran (10 dan 19 Nopember) dan (c) Hubungan antara Temperatur Udara pada Kondisi Pengukuran dan Kondisi Terpanas dari Dua Titik Ukur, Peneleh TU-1 (pada Permukiman Tengah Kota) dan K Cowek TU-3 (pada Permukiman Pinggiran Kota), Surabaya.....	118
Gambar 4.28	Gambaran Kondisi Temperatur Udara (Pukul 14:00) dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota, Surabaya: (a) Denah (b) Potongan	121
Gambar 4.29	Gambaran Kondisi dan Kenyamanan Termal dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.....	123
Gambar 4.30	Hubungan antara Beban Panas Blok dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.	125
Gambar 4.31	Gambaran Kondisi Temperatur Udara (Pukul 14:00) dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota, Surabaya: (a) Denah (b) Potongan	128
Gambar 4.32	Gambaran Kondisi Temperatur Udara (Pukul 14:00) dari Model Eksperimen, a) Hasil Simulasi, X-Y, b) Pot, X-Z dan c) Model	130
Gambar 4.33	Pola Blok Bangunan (BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6) dan Temperatur Udara dan Beban Panas yang Dimiliki: a) Blok Utara- Selatan, b) Blok Timur- Barat dan c) Blok Utara- Selatan dan Timur- Barat.....	132
Gambar 4.34	Pola Blok Bangunan (BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Bangunan Utara- Selatan.	133
Gambar 4.35	Pola Blok Bangunan (BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Bangunan Timur- Barat.	134
Gambar 4.36	Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3); 64,7% (0,4) dan 78,0% (0,8)) dan Perubahan Kondisi Temperatur Udara dan Beban Panas Blok pada: a) Blok Utara- Selatan, b) Blok Timur- Barat dan c) Blok Utara- Selatan dan Timur- Barat.....	140
Gambar 4.37	Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3); 64,7% (0,4) dan 78,0% (0,8)) dan Perubahan	

	Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Blok Utara- Selatan.	141
Gambar 4.38	Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3); 64,7% (0,4) dan 78,0% (0,8)) dan Perubahan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Blok Timur- Barat.	142
Gambar 4.39	Pengaruh Pertambahan Luas Area Terbangun BA (H/W) = 52,7% (0,3)- 64,7% (0,4)- 78,0% (0,8) terhadap Kondisi Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan.	146
Gambar 4.40	Grafik Hubungan antara Beban Panas dan Temperatur Udara dari Tiga Blok dengan Luas Area Terbangun yang Berbeda, BA (H/W) = 52,7% (0,3) - 64,7% (0,4) - 78,0% (0,8), pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat.....	147
Gambar 4.41	Peningkatan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan (H/W (BA) = 0,8 (93,3); 1,5 (93,3) dan 2,3 (93,3)) dan Perubahan Kondisi Temperatur Udara dan Beban Panas Blok pada: a) Blok Utara- Selatan, b) Blok Timur- Barat dan c) Blok Utara- Selatan dan Timur- Barat.....	150
Gambar 4.42	Peningkatan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan (H/W = 0,8 – 1,5 – 2,3) dan Perubahan pada Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan.	152
Gambar 4.43	Peningkatan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan (H/W = 0,8 – 1,5 – 2,3) dan Perubahan pada Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Timur- Barat.	153
Gambar 4.44	Pengaruh Peningkatan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan: a) (H/W) = 0,8- 1,5 dan b) (H/W) = 1,5- 2,3 terhadap Kondisi Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat.....	156
Gambar 4.45	Grafik Hubungan antara Beban Panas dan Temperatur Udara dari Tiga Blok dengan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda, (H/W) = 0,8 - 1,5 - 2,3, pada: a) Blok Utara- Selatan dan b) Blok Timur- Barat.	158
Gambar 4.46	Temperatur Udara dan Beban Panas dari Tiga Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Sama, namun dengan Tinggi Sisi- sisi, Berbeda (H/W (H1,H2/W) = 1,5 (6,6/4); 1,5' (3,9/4) dan 1,5'' (9,3/4)): a) Blok Utara- Selatan dan b) Blok Timur- Barat	159
Gambar 4.47	Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Sama namun dengan Tinggi Sisi- sisi Berbeda (H/W (H1,H2/W)= 1,5 (6,6/4)- 1,5' (3,9/4)- 1,5'' (9,3/4)) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar yang Dimiliki, pada Blok Utara- Selatan.	161
Gambar 4.48	Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Sama namun dengan Tinggi Sisi- sisi Berbeda (H/W (H1,H2/W)= 1,5 (6,6/4)- 1,5' (3,9/4)- 1,5'' (9,3/4)) dan Kondisi dan	

	Kenyamanan Termal Ruang Luar yang Dimiliki, pada Blok Timur- Barat.....	162
Gambar 4.49	Durasi Penyinaran dari Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat pada Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).....	166
Gambar 4.50	Rata- rata Kecepatan Angin dari Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat pada Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).....	167
Gambar 4.51	Rata- rata Temperatur Udara dan PET dari Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat pada Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).....	168
Gambar 4.52	Luas Tutupan Permukaan, Temperatur Udara dan PET dari Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).....	170

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Iklim di Bumi (Klasifikasi Koppen)	16
Tabel 2.2	Skala Iklim	18
Tabel 3.1	Perbandingan Penelitian Kinerja Termal Lingkungan Ruang Luar	40
Tabel 3.2	Pemukiman Informal (Kampung) di Surabaya	44
Tabel 3.3	Definisi Operasional Variabel.....	46
Tabel 3.4	Data dan Koleksi Data.....	48
Tabel 3.5	Tahapan Pemodelan dan Simulasi.....	53
Tabel 3.6	Tahap Analisis Data	57
Tabel 4.1	Kondisi Iklim Surabaya dalam Lima Tahun Terakhir	60
Tabel 4.2	Deskripsi Kondisi Geometri Lingkungan dari Enam Titik Ukur Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.	69
Tabel 4.3	Deskripsi Kondisi Geometri Lingkungan dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.	70
Tabel 4.4	Kondisi Hubungan antara Kecepatan Angin dan Elemen Geometri Lingkungan pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya dan Perbandingan terhadap Hasil Penelitian Terdahulu	100
Tabel 4.5	Kondisi Hubungan antara Temperatur Udara dan Elemen Geometri Lingkungan pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya dan Perbandingan terhadap Hasil Penelitian Terdahulu	106
Tabel 4.6	Input Data ENVI-met untuk Kebutuhan Verifikasi Data.....	113
Tabel 4.7	Input Data ENVI-met untuk Kondisi Terpanas.....	116
Tabel 4.8	Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi pada Kondisi Pengukuran dan Kondisi Terpanas pada Peneleh TU-1 (Titik Ukur Permukiman Tengah Kota) dan K. Cowek TU-3 (Titik ukur Permukiman Pinggiran Kota), Surabaya.....	116
Tabel 4.9	Geometri, Rata- rata Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Siang Hari (06:00-16:00) dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota, Surabaya	124
Tabel 4.10	Hubungan antara Geometri Lingkungan dengan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dan antar Variabel Lingkungan, pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.	125
Tabel 4.11	Geometri, Rata- rata Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Siang Hari (06:00-16:00) dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota, Surabaya	129
Tabel 4.12	Hubungan antara Geometri Lingkungan dengan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dan antar Variabel	

	Lingkungan, pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.	129
Tabel 4.13	Pola Blok Bangunan (BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar yang Dimiliki, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat	137
Tabel 4.14	Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3) - 64,7% (0,4) - 78,0% (0,8)) dan Perubahan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat	143
Tabel 4.15	Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dari Tiga Blok dengan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda (H/W = 0,8 – 1,5 – 2,3) pada Blok Bangunan Utara- Selatan dan Timur- Barat.....	154
Tabel 4.16	Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dari Tiga Blok dengan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan yang Sama, namun dengan H1, H2 Berbeda H/W (H1,H2/ W) = 1,5 (6,6/ 4) – 1,5' (3,9/ 4) – 1,5'' (9,3/ 4)) pada Blok Bangunan Utara- Selatan dan Timur- Barat	163
Tabel 4.17	Rangkuman Pengaruh Geometri Lingkungan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar	173

DAFTAR SIMBOL DAN ISTILAH

<i>Ave</i>	Rata-rata (<i>average</i>)
<i>BA</i>	Luas area terbangun (<i>built-up area</i>)
<i>BO</i>	Orientasi blok bangunan (<i>blocks orientation</i>)
<i>BP</i>	Pola blok bangunan (<i>blocks pattern</i>)
<i>H/W</i>	Rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (<i>height-to-width ratio</i>)
Ha	Hektoare
K^*	Total radiasi gelombang pendek
$K_{.dif}$	Radiasi difus
$K_{.ref}$	Radiasi pantul
(K^*+L^*)	Jumlah beban panas
Km	Kilometer
L^*	Timbunan radiasi gelombang panjang
LU	Lintang Utara
LS	Lintang Selatan
m	Meter
Min	Minimum
Max	Maksimum
mm	Milimeter
m^2	Meter persegi
m/d	Meter per detik
N/m^2	Newton per meter persegi
v	Kecepatan angin
<i>PET</i>	<i>Physiologically Equivalent Temperature</i>
<i>RH</i>	Kelembaban udara (<i>relatif humidity</i>)
t	Durasi waktu (jam)
T_a	Temperatur udara (<i>air temperature</i>)
T_{mrt}	Temperatur radian (<i>mean radiant temperature</i>)
ΔT_a	Perbedaan temperatur udara
<i>UHI</i>	<i>Urban Heat Island</i>
$Watt/m^2$	Watt per meter persegi
$^{\circ}C$	Derajat Celsius
%	Persen
<	Kurang dari
>	Lebih dari
=	Sama dengan
\pm	Lebih- kurang

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kecenderungan urbanisasi yang terus terjadi (UN, 2012) membawa sejumlah dampak, diantaranya adalah pembangunan fisik kota secara intensif (Gunalp dkk, 2013). Hal ini mengindikasikan adanya perubahan karakter fisik dari suatu kota, yakni perubahan bentuk dan proporsi material alami (*softscape/natural landscape*), berupa: vegetasi, tanah, pasir dan air, menjadi material perkerasan (*hardscape*), berupa: beton, paving, dan aspal (Alberti, 2005). Selain itu, pembangunan fisik ditambah aktivitas manusia di perkotaan juga akan berdampak lanjut pada peningkatan temperatur lingkungan kota (Oke, 1987; Arnfield, 2003), menurunkan tingkat kenyamanan dan meningkatkan konsumsi energi (Rose, 2011), serta memicu terjadinya *urban heat island (UHI)* (Oke, 1987; Littlefair dkk, 2000; Akbari dkk, 2001).

Sejumlah penelitian tentang pengaruh desain fisik suatu lingkungan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Diantaranya, penelitian tentang pengaruh geometri perkotaan atau bentuk perkotaan (*urban form*) terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar (*outdoor thermal environment and thermal comfort*) (Kruger dkk, 2011; Taleghani dkk, 2015; Rose dkk, 2011; dan Xi dkk, 2012). Penelitian lainnya tentang perilaku lansekap (tiga lansekap dalam studi), dengan *land use and land cover (LULC)* yang berbeda terhadap kenyamanan termal ruang luar (Hedquist dan Brazel, 2014). Dari sejumlah penelitian tersebut, menunjukkan bahwa karakter tutupan permukaan atau desain fisik lingkungan sangat berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal yang tercipta.

Menurut Oke (1981), Oke (1987), Arnfield (2003), ada dua variabel desain yang sangat berpengaruh pada iklim perkotaan (*urban climate*) yaitu jenis material tutupan permukaan tanah yang digunakan pada area perkotaan (*urban surface*) dan geometri perkotaan (*urban geometry*). Pengaruh jenis material bergantung pada kapasitas panas material (Szokolay, 2004; McMullan,

2007; Rose dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Hedquist dan Brazel, 2014) dan albedo material (Littlefair dkk, 2000), yang berpengaruh terhadap penyerapan dan pemantulan radiasi matahari, dan pelepasan panas pada malam hari (Rose dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Hedquist dan Brazel, 2014). Sementara geometri perkotaan dipengaruhi oleh kepadatan dan ketinggian bangunan atau rasio bangunan (fungsi H/W, geometri jalan dan *sky view factor*, SVF) (Oke, 1981), pola dan orientasi massa bangunan (Taleghani dkk, 2015, dan Aini dkk, 2013). Geometri perkotaan (H/W dan SVF) berpengaruh pada penerimaan panas/ radiasi matahari selama siang hari dan pelepasan panas pada malam hari (Rose dkk, 2011; Taleghani dkk, 2015), sirkulasi udara (Kruger dkk, 2011; Aini dkk, 2013).

Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang terus-menerus mengalami pembangunan dengan cukup pesat. Pembangunan terus-menerus dilakukan pada hampir semua wilayah Surabaya, termasuk pada kawasan-kawasan permukiman. Hal ini terjadi sebagai tuntutan kebutuhan dan jumlah penduduk yang terus bertambah. Sebagai konsekuensinya, terjadi perubahan struktur tutupan permukaan, yang semula merupakan area terbuka berubah menjadi area terbangun ataupun terjadi peningkatan tingkat kepadatan bangunan. Dari penelitian yang dilakukan oleh Antaryama dkk, (2010), diungkap bahwa tingkat kepadatan bangunan pada permukiman perkotaan di Surabaya mencapai 61,08% di tengah kota dan 58,70% di pinggiran kota. Selain itu, juga diungkap tentang pola bangunan yang umum diterapkan, yakni pola grid (82,29%), sehingga potensi area terbangun lebih besar. Sementara, pola bangunan lainnya, diterapkan dalam persentase yang relatif kecil, yakni: pola *cluster* (2,29%), pola *cul-de-sac* (5,14%) dan pola kombinasi (10,29%).

Pembangunan fisik lingkungan yang terus terjadi ini berdampak pada peningkatan kondisi termal lingkungan di Surabaya. Hal ini tergambar pada peta temperatur permukaan kota Surabaya, Tahun 2003-2006, menunjukkan telah terjadi peningkatan temperatur udara permukaan di kota Surabaya, yakni sekitar 2°C (30-32°C menjadi 33-34°C) dalam kurun waktu tiga tahun (Antaryama dkk, 2010). Lebih lanjut digambarkan bahwa intensitas termal di tengah kota lebih tinggi daripada di pinggiran kota.

Peningkatan temperatur udara yang terjadi di Surabaya tersebut, diantaranya dapat disebabkan peningkatan kepadatan bangunan (geometri perkotaan). Hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Oke (1987) dan Arnfield (2003), bahwa perubahan yang terjadi pada geometri perkotaan juga akan berdampak pada kondisi termal lingkungan. Hal ini juga telah diungkap dalam studi yang dilakukan Rose dkk (2011), tentang pengaruh bentukan perkotaan (*urban built form*) terhadap kenyamanan termal ruang luar pada ruang perkotaan, di India. Dari studi yang dilakukan menunjukkan bahwa peningkatan aspek rasion bangunan (H/W) atau geometri jalan dan persentase area terbangun dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal di siang hari. Dalam hal ini, peningkatan aspek rasion bangunan (H/W) dan persentase area terbangun mengakibatkan berkurangnya penerimaan panas radiasi matahari oleh permukaan tanah, sehingga temperatur udara di permukaan relatif nyaman. Hal serupa juga diungkap dalam studi yang dilakukan oleh Xi dkk (2012), tentang pengaruh bentuk elemen desain terhadap kondisi dan kenyamanan termal lingkungan, di daerah Subtropis. Diantara hasil penelitian mereka adalah bahwa bentuk elemen desain (sky view factor, SVF) berpengaruh terhadap penerimaan radiasi matahari langsung (*short-wave*), pemantulan gelombang panjang (*long-wave reflection*) dan radiasi gelombang panjang (*long-wave radiation*). Bentuk elemen desain dengan SVF yang lebih besar (penghalang langit kecil) memiliki kondisi termal lingkungan ruang luar yang panas dibanding dengan bentuk elemen desain dengan SVF yang lebih kecil. Hasil studi juga menunjukkan bahwa elemen desain yang ternaungi (titik penelitian yang ternaungi) memiliki temperatur udara yang relatif lebih dingin (2-3°C lebih dingin) atau mengalami penurunan SET di siang hari (sekitar 6-10°C), pada musim panas. Demikian pula ditunjukkan pada studi yang dilakukan oleh Kruger dkk (2011), yang meneliti tentang pengaruh geometri perkotaan terhadap kenyamanan termal ruang luar (*outdoor thermal comfort*), termasuk kualitas udara dan sirkulasi udara, pada koridor perkotaan, di Brazil. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa pada hari dengan temperatur yang lebih tinggi, lokasi dengan nilai SVF paling tinggi (dengan penghalang langit kurang), memiliki nilai MRT paling tinggi yang cenderung tidak nyaman. Melalui studi yang dilakukan juga disimpulkan bahwa koridor perkotaan adalah sebagai

solusi yang dapat menjaga kualitas udara (melalui sirkulasi udara untuk penyebaran polusi udara) dan menyediakan kenyamanan bagi pejalan kaki.

Studi lainnya yang dilakukan oleh Taleghani dkk (2015), tentang pengaruh orientasi blok bangunan ataupun bentuk perkotaan (*urban form*) terhadap kondisi termal ruang luar. Studi yang dilakukan menguji lima model (dengan pola dan orientasi yang berbeda), yakni *Singular Blocks E-W*, *Singular Blocks N-S*, *Linear Blocks E-W*, *Linear Blocks N-S*, dan *Courtyard*. Dari studi mereka mengungkap bahwa orientasi blok dan pola bangunan mempengaruhi jumlah penerimaan radiasi matahari, memainkan peranan yang sangat penting terhadap kenyamanan termal. Sementara itu, dari studi Aini dkk (2013), yakni studi aliran udara pada perumahan berpola grid di lahan berbukit dengan perbedaan orientasi kelompok massa. Diantara hasil studi mereka menunjukkan bahwa pola dan orientasi kelompok bangunan berpengaruh terhadap aliran angin yang tercipta.

Dari sejumlah penelitian tentang pengaruh geometri perkotaan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar yang telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, Rose dkk (2011) telah meneliti pengaruh bentukan perkotaan (*built form*, H/W) terhadap kenyamanan termal ruang luar, melalui pengaruh bentukan perkotaan terhadap penerimaan panas/ radiasi matahari, pada lingkungan permukiman, di India. Kruger dkk (2011) meneliti pengaruh geometri perkotaan (SVF) terhadap kenyamanan termal ruang luar (*outdoor thermal comfort*), termasuk kualitas dan sirkulasi udara pada koridor perkotaan di pusat kota. Xi dkk (2012) meneliti tentang pengaruh bentuk elemen desain (SVF) terhadap kondisi dan kenyamanan termal lingkungan, di daerah Subtropis, melalui pengaruh bentukan elemen desain terhadap penerimaan panas/ radiasi matahari dan pembayangan. Taleghani dkk (2015) meneliti pengaruh orientasi blok bangunan ataupun bentuk perkotaan (*urban form*) terhadap kondisi termal ruang luar, melalui pengaruh orientasi blok bangunan terhadap penerimaan (lama durasi) radiasi matahari. Dan Aini dkk (2013) meneliti aliran udara pada perumahan berpola grid di lahan berbukit dengan perbedaan orientasi kelompok massa. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar permukiman perkotaan di Surabaya. Pengaruh pola dan

kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar akan dilihat melalui pengaruh geometri (pola dan kepadatan bangunan) terhadap penerimaan radiasi matahari, pelepasan panas, dan sirkulasi udara. Penelitian akan dilakukan pada dua lokasi permukiman, yakni di tengah dan pinggiran kota, di Surabaya. Kedua lokasi merupakan permukiman tumbuh (*informal*) yang memiliki karakter fisik lingkungan yang berbeda dari keduanya, dalam hal pola massa dan tingkat kepadatan bangunan.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diketahui bahwa desain fisik suatu lingkungan akan mempengaruhi kondisi termal yang akan tercipta pada lingkungan tersebut (Oke, 1987; Arnfield, 2003; Rose dkk, 2011; Kruger dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Hedquist dan Brazel, 2014, dan Taleghani dkk, 2015). Desain fisik lingkungan mempengaruhi kondisi termal pada suatu lingkungan melalui dua variabel desain, yakni jenis material tutupan permukaan tanah yang digunakan (*urban surface*) (Rose dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Hedquist dan Brazel, 2014) dan geometri perkotaan (*urban geometry*) (Oke, 1981; Rose dkk, 2011; Kruger dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Taleghani, 2015)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Antaryama dkk, (2010), mengungkap bahwa telah terjadi peningkatan temperatur udara permukaan di kota Surabaya, yakni sekitar 2°C (30-32°C menjadi 33-34°C) dalam kurun waktu tiga tahun. Selain itu, juga diungkap bahwa intensitas termal di tengah kota lebih tinggi daripada di pinggiran kota.

Khususnya melalui pengaruh geometri perkotaan, peningkatan temperatur udara permukaan di suatu kota dapat dipengaruhi oleh peningkatan proporsi area bangunan dan atau ketinggian bangunan (Oke 1987). Geometri perkotaan (H/W) berpengaruh pada penerimaan panas/ radiasi matahari selama siang hari dan pelepasan panas pada malam hari (Oke, 1981, Oke, 1987, Rose dkk, 2011; Taleghani dkk, 2015), sirkulasi udara (Kruger dkk, 2011; Aini dkk, 2013).

Penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut tentang pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar permukiman perkotaan di Surabaya. Kajian akan dilakukan pada dua lokasi permukiman, yakni permukiman

di tengah dan di pinggiran kota, di Surabaya. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka pertanyaan yang perlu ditindaklanjuti dalam penelitian ini, yaitu:

- 1) Bagaimana pengaruh pola blok bangunan terhadap kondisi termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya?
- 2) Bagaimana pengaruh kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya?
- 3) Bagaimana pengaruh orientasi blok bangunan terhadap kondisi termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan pertanyaan yang muncul pada kedua lokasi studi penelitian, permukiman di tengah dan pinggiran kota Surabaya, maka tujuan dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh pemahaman dan konsep penataan pola, kepadatan dan orientasi bangunan dengan pertimbangan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya.

Adapun sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah

- 1) Analisa dan konsep penataan pola bangunan dengan pertimbangan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya.
- 2) Analisa dan konsep penataan kepadatan bangunan dengan pertimbangan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya.
- 3) Analisa dan konsep penataan orientasi bangunan dengan pertimbangan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang, penelitian ini mengindikasikan permasalahan kondisi termal ruang luar yang dipengaruhi oleh pola dan kepadatan bangunan pada permukiman perkotaan di Surabaya. Hal ini terkait dampaknya terhadap kenyamanan termal ruang luar dan penggunaan energi yang dapat memicu peningkatan temperatur perkotaan bahkan global. Oleh karena itu melalui

penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi sebagai berikut.

Manfaat dari segi teoritis yakni memberi tambahan ilmu atau pemahaman dan konsep tentang penataan massa bangunan dengan kondisi dan kenyamanan termal lingkungan/ ruang luar sebagai dasar pertimbangan, khususnya pada permukiman perkotaan (lingkungan padat, dengan bangunan berlantai rendah). Hasil dari penelitian ini dapat digunakan oleh peneliti selanjutnya yang berfokus pada penelitian kondisi termal ruang luar yang dipengaruhi oleh aspek fisik lingkungan dan variabel iklim mikro.

Manfaat dari segi praktis, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pihak pemerintah dan para perancang kota ataupun developer khususnya bidang perumahan dan permukiman di kawasan tropis lembab dalam menata massa bangunan dengan pertimbangan kondisi dan kenyamanan termal lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam mencapai tujuan penelitian, perlu adanya pembatasan untuk mengarahkan fokus pengamatan. Dalam hal ini, penelitian dibatasi dalam hal:

- Konteks penelitian ini merepresentasikan kondisi iklim tropis panas lembab, khususnya pada daerah dataran rendah, yakni permukiman perkotaan *informal* (kampung), di Surabaya.
- Penelitian ini terkait kondisi iklim yang berlangsung pada saat penelitian dilakukan, yakni pada bulan- bulan terpanas, di musim panas.
- Pemodelan pada program ENVI-met (model eksisting dan model eksperimen) sebagai upaya mereplikasi geometri pada kondisi nyata, adalah bagian dari tahapan penelitian ini, dibuat dengan dilakukan penyederhaan dikarenakan keterbatasan/ spesifikasi program.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Bab ini akan menguraikan beberapa kajian pustaka yang terkait dengan penelitian ini. Kajian pustaka akan menjadi dasar teori untuk menganalisis hubungan antar variabel dalam penelitian ini, yakni pola dan kepadatan bangunan (aspek desain, sebagai variabel bebas penelitian) dan kondisi termal ruang luar (aspek lingkungan, sebagai variabel terikat penelitian), pada permukiman perkotaan di daerah tropis panas lembab (Surabaya, konteks penelitian ini). Pada bagian awal, akan diuraikan mengenai karakteristik fisik permukiman perkotaan. Selanjutnya akan diuraikan mengenai iklim dan kondisi termal ruang luar pada daerah tropis panas lembab. Pada bagian akhir akan diuraikan pengaruh desain fisik lingkungan terhadap kondisi termal ruang luar.

2.1 Permukiman Perkotaan

Menurut Undang-Undang NO. 4 Tahun 1992, permukiman adalah bagian dari lingkungan hidup di luar kawasan lindung, baik yang berupa kawasan perkotaan maupun perdesaan yang berfungsi sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat kegiatan yang mendukung perikehidupan dan penghidupan.

Berdasarkan proses terbentuknya, permukiman terdiri dari dua, yaitu permukiman formal dan informal (tumbuh). Permukiman formal adalah permukiman yang dibangun oleh pengembang (developer). Dalam hal ini, dijelaskan oleh Silas dkk (2013), secara karakter lingkungan, permukiman formal memiliki penataan massa bangunan yang relatif teratur, dengan kelengkapan sarana-prasarananya relatif tersedia. Sementara itu, permukiman informal (permukiman tumbuh/ kampung kota) merupakan permukiman swadaya yang dibangun oleh para penghuninya tanpa mengikuti ketentuan- ketentuan pembangunan bangunan formal dari pemerintah. Disebutkan oleh Nugroho (2009), bahwa permukiman informal (kampung kota) merupakan kawasan permukiman di dalam kota yang terbentuk tanpa perencanaan atau tumbuh sebelum perencanaan

diterapkan. Kampung merupakan sebuah kesatuan integral kota, merupakan salah satu komponen dalam pembentukan struktur kota. Umumnya, kampung memiliki tatanan yang tidak teratur, dengan kepadatan dan ketinggian yang bervariasi. Kampung dianggap sebagai daerah kantong (*pocket areas*) karena lokasi kampung terletak di belakang bangunan-bangunan yang berada di pinggir jalan utama.

Penelitian ini akan mengkaji pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar. Penelitian akan dilakukan pada permukiman informal, dilakukan di dua lokasi, permukiman di tengah dan di pinggiran kota, di Surabaya, yang memiliki perbedaan pola dan kepadatan bangunan dari keduanya.

2.1.1 Karakteristik Tutupan Permukaan Tanah Permukiman Perkotaan

Karakteristik fisik lingkungan di suatu kota, sangat dipengaruhi oleh jumlah populasi (penduduk) di kota itu. Dinyatakan oleh Guneralp dkk (2013), pembangunan fisik kota yang terjadi secara intensif, adalah diantara bentuk dampak penambahan pesat jumlah penduduk. Lebih lanjut dijelaskan oleh Alberti (2005), bahwa pembangunan fisik yang terus berlangsung ini akan terus merubah karakter fisik dan proporsi material tutupan permukaan di kota. Tutupan permukaan tanah yang sebelumnya berupa material alami (*softscape/ natural landscape*), seperti: vegetasi, tanah, pasir dan air, berubah menjadi material perkerasan (*hardscape*), berupa beton, paving, dan aspal, yang jadi relatif dominan pada suatu kota.

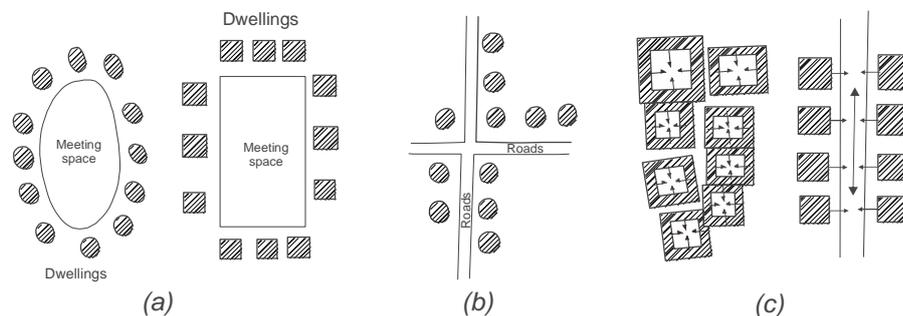
Dominasi proporsi dari material perkerasan di kota, telah diungkap dalam beberapa penelitian. Diantara, dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Rose dkk (2011). Mereka telah melakukan penelitian pada blok hunian (permukiman) perkotaan, di India. Dari penelitian mereka, diungkap bahwa pada permukiman perkotaan di India, proporsi material tutupan permukaan berupa material perkerasan lebih dominan, yakni sekitar 59%, terdiri dari area tutupan bangunan (45,3%) dan jalan atau paving (13,9%). Sementara, proporsi material alami berupa vegetasi (*green cover*) sekitar 41%. Demikian pula dalam penelitian yang dilakukan oleh Antaryama dkk (2010), yang telah melakukan penelitian pada perumahan perkotaan, di Surabaya. Dari penelitian yang dilakukan, mengungkap bahwa karakteristik tutupan permukaan tanah pada perumahan perkotaan di Surabaya, yakni tutupan permukaan tanah berupa material perkerasan sekitar

75,9%, terdiri dari area bangunan (46,7%) dan jalan/ paving/ beton (29,2%). Sementara, material alami berupa: tanaman/ pepohonan, rumput, tanah, dan air, sekitar 23,4%, dari seluruh area permukaan tanah.

Dari uraian di atas menunjukkan bahwa karakter tutupan permukaan tanah di perkotaan cenderung didominasi oleh material perkerasan (*hardscape*), berupa: bangunan, aspal, paving atau beton, sementara material alami (*softscape/ natural landscape*), berupa: tanaman/ pepohonan, rumput, tanah, dan air, dengan proporsi yang relatif lebih kecil. Karakteristik fisik lingkungan ini akan berpengaruh pada kondisi termal lingkungan di wilayah perkotaan.

2.1.2 Pola dan Orientasi Massa Bangunan Permukiman Perkotaan

Secara umum karakter permukiman dapat terlihat dari bentuk tatanan massanya yang juga berkaitan dengan orientasi massanya (Rapoport, 1977). Dalam hal ini, ada tiga bentuk orientasi bangunan yang berkembang di dalam sebuah permukiman, yaitu orientasi permukiman yang melingkupi sebuah *central space*, orientasi rumah di sepanjang jalan (*along streets*) dan orientasi rumah ke dalam berupa taman/ *courtyard* (*inside-out*), seperti ditunjukkan pada [Gambar 2.1](#), berikut.



Gambar 2.1 Tiga Bentuk Orientasi Bangunan yang Berkembang di dalam Sebuah Permukiman: (a) Pola dan Hunian yang Melingkupi Ruang Bersama (*Central Space*), (b) Orientasi Rumah di Sepanjang Jalan (*Along Streets*), (c) Rumah Berorientasi ke dalam Berupa Taman/ *courtyard* (*inside-out*) (Rapoport, 1977)

(a) Orientasi permukiman yang melingkupi sebuah *central space*. Orientasi seperti ini menjadikan *central space* sebagai *meeting space*. Bentuk dan material dari sebuah rumah dan bentuk dasar sebuah *central space* bisa jadi berubah tanpa

mengubah pengaturannya. Kondisi permukiman seperti ini akan membentuk pola massa yang sifatnya mengelompok.

(b) Pengaturan rumah berada di sepanjang jalan (*along streets*). Pengaturan bangunan dengan pola ini, jalan dijadikan sebagai orientasi, sehingga membentuk pola permukiman memanjang atau linear disepanjang jalur jalan. Jika ditempatkan pada suatu area, tipe orientasi ini akan membentuk pola geometris (grid) dan akan lebih mudah diatur pada lahan yang datar atau landai dibanding pada lahan berkontur.

(c) Orientasi ke arah dalam berupa *courtyard* atau *compounds* atau *inside-out*. Orientasi seperti ini mempertimbangkan pembagian zona yang jelas antara daerah privat dan publik dengan sebuah pengendalian “*lock*” yang beragam. Model orientasi ini dapat berulang digunakan, sehingga membentuk suatu kontinuitas ruang, baik secara mengelompok maupun linier.

Sementara itu, Northam (1975) dalam Yunus, (2000), menyatakan bahwa pola jalan (yang membentuk tatanan massa bangunan) di dalam kota merupakan salah satu unsur daripada morfologi kota. Dalam hal ini, ada tiga sistem pola jalan yang dikenal, yaitu:

(a) Sistem pola jalan tidak teratur (*irregular system*)

Pada sistem ini terlihat adanya ketidakberaturan sistem jalan baik ditinjau dari segi lebar maupun arah jalannya. Begitu pula perletakan rumah satu sama lain tidak menunjukkan keteraturan. Pada umumnya kota-kota pada awal pertumbuhannya, selalu ditandai oleh sistem ini. Ketidakteraturan ini terlihat pada pola jalannya yang melingkar-lingkar, lebarnya bervariasi dengan cabang-cabang “*culdesacs*” yang banyak, seperti ditunjukkan pada [Gambar 2.2](#).



[Gambar 2.2](#) Sistem Pola Jalan Tidak Teratur (*Irregular System*) (Northam, 1975) dalam Yunus, 2000)

(b) Sistem pola jalan radial konsentris (*radial concentric system*)

Dalam sistem ini ada beberapa sifat khusus, yaitu: mempunyai pola jalan konsentris, mempunyai jalan radial, bagian pusatnya merupakan daerah kegiatan utama dan sekaligus tempat pertahanan terakhir dari suatu kekuasaan, secara keseluruhan membentuk jaringan sarang laba-laba, punya keteraturan geometris, dan jalan besar menjari dari titik pusat dan membentuk “*asterisk shaped pattern*”. (Gambar 2.3).

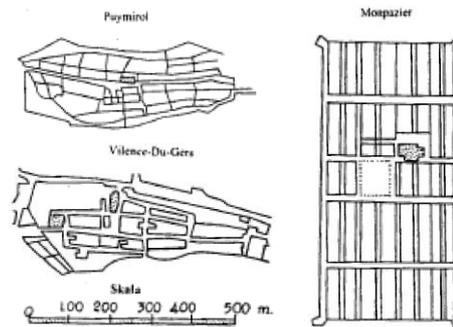


Gambar 2.3 Sistem Pola Radial Konsentris (*Radial Concentric System*) (Northam, 1975 dalam Yunus, 2000)

(c) Sistem pola jalan bersudut siku atau grid (*rectangular or grid system*)

Sistem ini merupakan bentuk yang sangat cocok untuk pembagian lahan ataupun pengembangan daerah luar kota yang masih kosong. Pembangunan kota jadi nampak teratur dengan mengikuti pola yang telah terbentuk. Keunggulan lain dari sistem ini, antara lain: (1) *Shortest on the street side*; (2) *Growing more lost sheet frontage*; dan (3) *Easier to assemble individual lost into larger unit* (seperti blok)

Dari uraian di atas diungkap bahwa pola/ tatanan massa bangunan berkaitan dengan orientasinya. Pembentukan tatanan massa bangunan berorientasi pada jalan, *central space* atau taman ataupun ruang terbuka. Pola/ tatanan massa bangunan yang terbentuk dari sejumlah orientasi tersebut berupa pola linier, pola geometris (grid), pola mengelompok (*cluster*), dan *culdesacs*.



Gambar 2.4 Sistem Pola Jalan Bersudut Siku atau Grid (*Rectangular or Grid System*) (Northam, 1975 dalam Yunus, 2000)

Pada permukiman perkotaan di Surabaya, dari penelitian yang dilakukan oleh Antaryama dkk (2010), disebutkan bahwa perumahan di Surabaya menerapkan sejumlah pola tata masa bangunan, yaitu: pola *grid*, *cul-de-sac*, *cluster* dengan ruang hijau, dan kombinasi. Dari sejumlah pola tersebut, pola grid adalah sebagai pola yang dominan yang diterapkan (sekitar 82,29%).

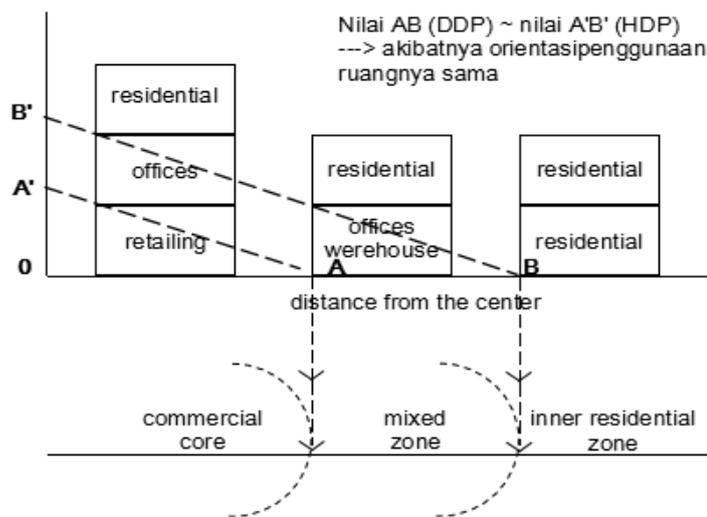
2.1.3 Tingkat kepadatan dan ketinggian bangunan permukiman perkotaan

Ketinggian bangunan adalah salah variabel fisik, pembentuk wujud tiga dimensi suatu lingkungan/ kota (Bergel, 1955 dalam Yunus, 2000). Ketinggian bangunan dipengaruhi oleh penggunaan lahan atau aksesibilitas tempat. Ketinggian bangunan di pusat kota atau daerah pusat komersial relatif lebih tinggi dibanding bangunan di daerah pinggiran kota atau wilayah permukiman. Demikian pula terkait kepadatan bangunannya yang dipengaruhi tingkat kompleksitas fungsi ruang (**Gambar 2.5**).

Dari studi yang dilakukan oleh Rose dkk (2011), diungkap bahwa tingkat kepadatan dan ketinggian bangunan pada permukiman di pusat kota relatif lebih tinggi dibanding di daerah sub-perkotaan. Tingkat kepadatan bangunan (luas area tutupan bangunan) di pusat kota sekitar (84,9-90,4%) sedangkan di sub-perkotaan sekitar (26,7%). Sementara itu, rata-rata ketinggian bangunan di pusat kota adalah 2-4 lantai (dengan nilai H/W: 1,1-1,8) sedangkan di sub-perkotaan umumnya adalah 2 lantai (dengan nilai H/W: 0,5).

Dari uraian di atas, digambarkan bahwa tingkat kepadatan dan ketinggian bangunan dipengaruhi oleh penggunaan lahan. Kompleksitas penggunaan lahan di

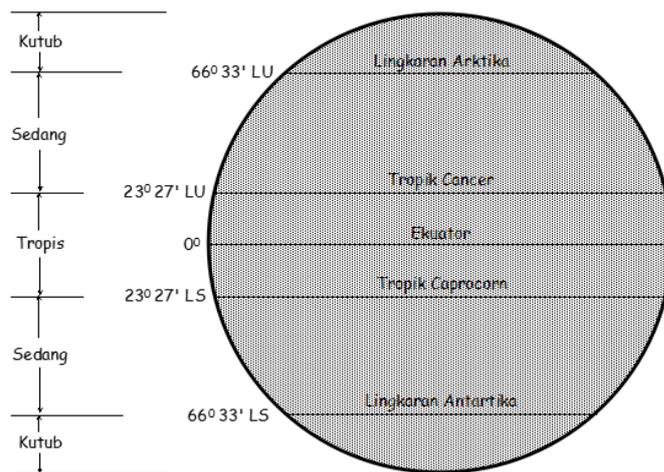
pusat kota lebih tinggi dibanding dengan daerah pinggiran kota, sehingga tingkat kepadatan dan ketinggian bangunan di tengah/ pusat kota relatif lebih tinggi daripada di pinggiran kota. Demikian halnya terlihat pada permukiman perkotaan di Surabaya. Diungkap dalam studi yang dilakukan oleh Antaryama dkk (2010), khususnya terkait tingkat kepadatan bangunan, bahwa tingkat kepadatan bangunan pada permukiman di tengah kota relatif lebih tinggi (mencapai 61,08%) dibanding permukiman di pinggiran kota (mencapai 58,70%).



Gambar 2.5 Hubungan Antara Penggunaan Lahan dengan Ketinggian Bangunan (Bergel, 1955 dalam Yunus, 2000)

2.2 Iklim dan Kondisi Termal Ruang Luar

Iklim adalah kondisi atmosfer di suatu tempat dalam kurun waktu tertentu (Koenigsberger dkk, 1973). Iklim dipengaruhi oleh kemiringan bumi yang respek terhadap matahari, merupakan fungsi garis lintang matahari. Oleh karena itu, karakter iklim suatu tempat akan sangat ditentukan oleh posisinya terhadap sumbu ekuator atau garis khatulistiwa. Hal senada juga diungkap oleh Koppen dalam Lakitan (1994), dalam Sangkertadi (2013), bahwa perbedaan jarak terhadap sumbu ekuator (garis khatulistiwa) menyebabkan perbedaan karakter iklim dari suatu tempat dengan tempat lainnya. Dalam hal ini, dia mengklasifikasikan iklim (dikenal sebagai klasifikasi Koppen) menjadi lima tipe iklim, seperti dijelaskan pada [Gambar 2.6](#) dan [Tabel 2.1](#), berikut.



Gambar 2.6 Garis Lintang dan Zona Iklim di Bumi (Lakitan, 1994 dalam Sangkertadi, 2013)

Tabel 2.1 Klasifikasi Iklim di Bumi (Klasifikasi Koppen)

Tipe Iklim	Posisi Garis Lintang	Jenis dan Karakter iklim
Tipe Iklim A	0-20°	Iklim hujan tropis: - Iklim tropik basah - Iklim tropik basah dan tropik kering
Tipe Iklim B	20-30°	Iklim kering: - Iklim gurun (<i>arid</i>) - Iklim semi <i>arid</i> (<i>stepa</i> / padang rumput)
Tipe Iklim C	30-40°	Iklim sedang yang dipengaruhi lautan (pengaruh hangat): - Iklim mesotermal/ iklim lintang/ iklim hujan sedang hangat
Tipe Iklim D	40-70°	Iklim sedang yang dipengaruhi daratan (pengaruh dingin) - Iklim mikrotermal/ iklim hujan bersalju dingin/ iklim lintang sedang
Tipe Iklim E		Iklim kutub

Sumber: Sangkertadi (2013)

Berdasarkan **Gambar 2.6**, khususnya zona tropis, merupakan zona yang berada pada garis lintang 23°27'LU-23°27'LS. Zona “tropis” (garis balik) merupakan zona garis balik matahari, sehingga matahari dapat tegak lurus dengan permukaan bumi, di suatu titik (dalam zona ini) pada suatu waktu tertentu. Hal ini menyebabkan nilai intensitas radiasi matahari pada zona ini sangat tinggi, yakni dapat mencapai 1395 W/m² (Koenigsberger dkk, 1973).

2.2.1 Iklim Tropis Panas Lembab

Iklim tropis panas lembab merupakan iklim yang berada dalam zona iklim tropis. Koenigsberger dkk (1973) menyebutkan bahwa iklim tropis panas lembab dijumpai pada daerah equator, yakni antara 15°LU dan 15°LS.

Ciri-ciri iklim tropis panas lembab adalah kondisi langit berawan dan berkabut sepanjang tahun, dengan variasi 60-90%, variasi musim yang relatif kecil, dengan kisaran temperatur 21-32°C, kelembaban dan presipitasi tinggi serta umumnya kecepatan angin rendah di sepanjang tahun (Koenigsberger dkk, 1973). Ciri-ciri atau karakter iklim yang demikian sekaligus merupakan tantangan/permasalahan bagi pengguna di dalam dan di luar bangunan, pada daerah ini. Hal ini sebagaimana diungkap oleh Lippsmeier (1980) dan Heerwagen (2004) bahwa tantangan dan permasalahan pada daerah iklim panas lembab adalah temperatur udara yang relatif panas, kelembaban udara yang tinggi, dan pergerakan udara yang relatif lambat, yang sangat mempengaruhi kenyamanan termal pengguna bangunan. Hal senada juga diungkap oleh Frick dkk (2008) bahwa pada iklim panas lembab, angin sedikit, radiasi matahari sedang sampai kuat dan pertukaran panas kecil akibat tingginya kelembaban, sehingga menyebabkan kurangnya penguapan.

Dalam wilayah tropis panas lembab, karakter iklim pada tempat-tempat tertentu, dapat berbeda dengan karakter iklim tropis panas lembab pada umumnya. Hal ini diungkap oleh Evans (1980), bahwa dalam suatu wilayah iklim yang sama, perbedaan *altitude* dan jarak dari permukaan laut dapat mempengaruhi variasi iklim, diantaranya temperatur dan radiasi. Peningkatan 100 meter ketinggian tanah dari permukaan laut (*altitude*) dapat menurunkan temperatur udara 1°C. Demikian pula dengan peningkatan jarak daratan (10km) dari permukaan laut akan menurunkan 10-30% kecepatan angin. Akan tetapi, hal ini juga bergantung pada bentuk tofografi tanah. Terkait hal ini, Samodra dan Santosa (2006) membagi fisik lingkungan berdasarkan ketinggian daratan terhadap permukaan air laut (*altitude*), dalam tiga kategori yaitu dataran tinggi (>400m), dataran rendah (100-400m), dan pesisir (<100m) ([Gambar 2.7](#)).



Gambar 2.7 Kategori Fisik Lingkungan berdasarkan Perbedaan *Altitude*: 1) Dataran Tinggi, 2) Dataran Rendah dan 3) Pesisir (Samodra dan Santosa, 2006)

Surabaya adalah kota dimana penelitian ini dilakukan, merupakan salah satu kota besar di Indonesia. Secara geografi, kota Surabaya berada pada 07°09'00"- 07°21'00"LS dan 112°36'-112°54' BT. Terletak di tepi Pantai Utara provinsi Jawa Timur. Berada pada dataran rendah, ketinggian antara 3-6m di atas permukaan laut kecuali di bagian Selatan terdapat 2 bukit landai dengan ketinggiannya antara 25-50m di atas permukaan laut dan di bagian barat sedikit bergelombang (http://id.wikipedia.org/wiki/Kota_Surabaya). Hal ini menunjukkan bahwa kota Surabaya dipengaruhi oleh iklim tropis panas lembab, khususnya iklim di dataran rendah dan iklim di daerah pesisir.

2.2.2 Skala Iklim

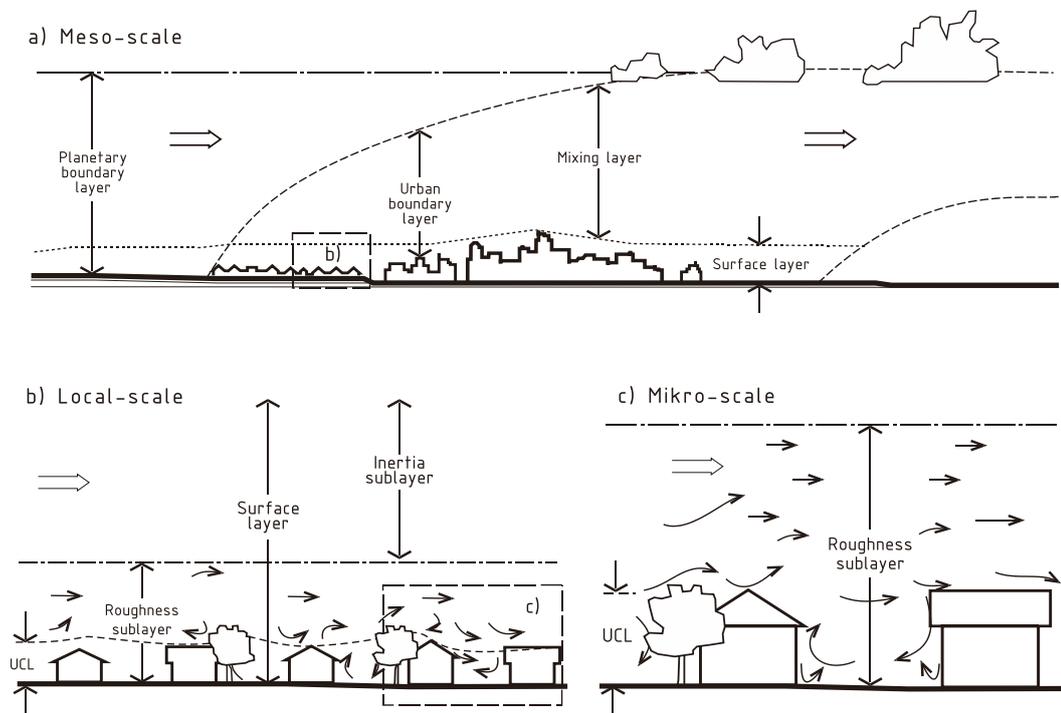
Dalam kurun waktu tertentu yang sama, kondisi iklim di suatu daerah/ tempat dapat berbeda dengan daerah/ tempat yang lainnya. Hal ini dikarenakan kedua daerah/ tempat tersebut berada pada zona iklim yang berbeda. Dalam hal ini, Boutet (1987) dan Allard (1998) mengklasifikasikan zona iklim berdasarkan tingkatan skala atau cakupan area (skala horizontal), seperti pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Skala Iklim

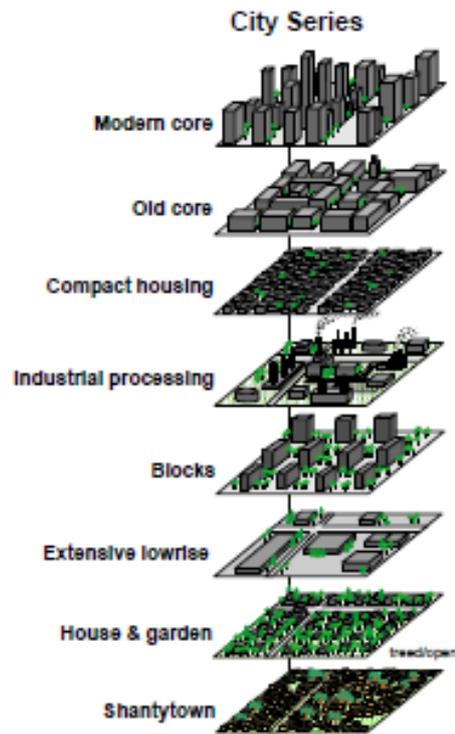
Iklim	Skala (Boutet, 1987)	Radius (Allard, 1998)	Karakteristik Lokal
Macro-climate	Sangat besar	± 1000 km	Benua, Negara
Meso-climate	Moderat	± 100 km	Negara bagian, Kota
Microclimate/ Topoclimatic	Kecil	± 10 km	Blok perkotaan (Ha), taman, daerah lembah, perbukitan, pesisir (pinggir laut)
Micro-climate	Sangat kecil	± 100 m	Pedestrian, lansekap di sekitar bangunan

Sumber: Boutet (1987); Allard (1998)

Berdasarkan pembagian skala iklim pada [Tabel 2.2](#), iklim perkotaan (skala kota) dikategorikan sebagai iklim-meso (*meso-climate*) atau iklim berskala sedang/ moderat, dengan radius iklim ± 100 km. Selain itu, [Tabel 2.2](#) juga menunjukkan bahwa dalam wilayah perkotaan terdapat tiga zona iklim, yakni iklim skala sangat kecil (*micro-climate*, dengan radius ± 100 m), iklim skala kecil (*topoclimatic*, dengan radius ± 10 km) dan iklim skala sedang (*meso-climate*). Senada dengan klasifikasi iklim di atas, Oke (2004) juga mendefinisikan zona iklim, khususnya iklim dalam skala perkotaan, yakni iklim skala sedang (*meso-scale*), iklim skala lokal (*local-scale*) dan iklim skala mikro (*mikro-scale*). Namun, dalam hal ini, Oke (2004) menambahkan definisi berdasarkan cakupan ketinggian (secara vertikal) ([Gambar 2.8](#)). Sementara itu, Stewart dan Oke (2009), mengklasifikasikan zona iklim lokal perkotaan berdasarkan respon termal permukaan, seperti ditunjukkan pada [Gambar 2.9](#).



Gambar 2.8 Skala Iklim pada Area Perkotaan: a) *Meso-scale*; b) *Local-scale*; c) *Mikro-scale* (Hasil Olah Kembali dari Oke, 2004)



Gambar 2.9 Klasifikasi Zona Iklim Lokal Perkotaan Berdasarkan Tingkatan Respon Termal Permukaan (Stewart dan Oke, 2009).

Studi ini akan mengkaji kondisi termal lingkungan ruang luar yang dipengaruhi oleh desain fisik lingkungan (pola dan kepadatan massa bangunan) pada lingkungan perumahan perkotaan. Hal ini menunjukkan bahwa kajian ini merupakan kajian iklim dalam skala mikro (Boutet, 1987; Allard, 1998; Oke, 2004), pada zona *compact housing* (Stewart dan Oke, 2009).

2.2.3 Iklim Mikro Perkotaan pada Daerah Tropis Panas Lembab

Berdasarkan klasifikasi iklim (Tabel 2.2), iklim mikro (iklim site) merupakan iklim yang memiliki lingkup skala yang sangat kecil (radius 100 m). Frick dkk (2008) mendefinisikan iklim mikro adalah iklim di lapisan udara dekat dengan permukaan bumi (tinggi $\pm 2,0$ m). Sementara itu, Koenigsberger dkk (1973) menjelaskan bahwa iklim mikro dipengaruhi oleh kondisi fisik lingkungan di sekitarnya, yaitu bentuk tofografi (bentuk, orientasi, daerah terekspos, elevasi, bukit atau lembah, di atau dekat lokasi), jenis material permukaan tanah (alami

atau buatan) dan bentuk tiga dimensi obyek (pohon, pagar, dan bangunan, yang dapat berpengaruh pada pergerakan angin, penerimaan radiasi matahari oleh permukaan tanah dan membentuk pembayangan).

Pada lingkungan perkotaan, pembangunan yang dilakukan secara terus-menerus, berdampak pada berkurangnya proporsi lahan terbuka (permukaan alami dan vegetasi) dan semakin dominannya proporsi area terbangun (perkerasan dan bangunan). Akibatnya, temperatur di kota cenderung lebih tinggi dibanding lingkungan di sekitarnya (dikenal dengan Urban Heat Island/ UHI). Demikian halnya terjadi di Surabaya, sebagai kota yang terus mengalami pembangunan, mengakibatkan terjadinya peningkatan kondisi termal lingkungan di Surabaya. Hal ini tergambar pada peta temperatur permukaan kota Surabaya 2003 dan 2006 (Antaryama dkk, 2010), menunjukkan telah terjadinya peningkatan temperatur udara permukaan di kota Surabaya, yakni sekitar 2°C ($30\text{-}32^{\circ}\text{C}$ menjadi $33\text{-}34^{\circ}\text{C}$) dalam periode waktu tiga tahun.

2.2.4 Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Daerah Tropis Panas Lembab

ASHRAE (55-2004), mendefinisikan kenyamanan sebagai suatu kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termalnya. Szokolay (2004), menyatakan bahwa kenyamanan termal merupakan kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal yang memerlukan evaluasi subyektif karena mencakup faktor- faktor luar fisik/ fisiologis.

1) Faktor- faktor kenyamanan termal

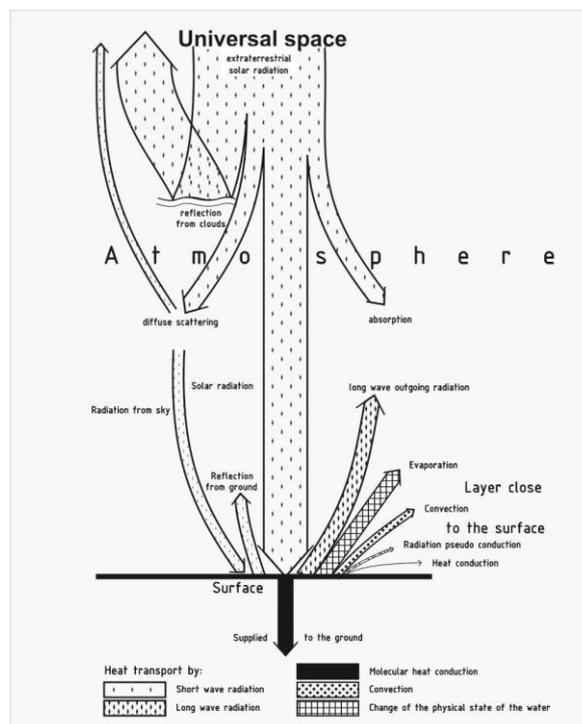
Lechner (2007), menyatakan kombinasi dari temperatur udara, kelembaban relatif (*relatif humidity/ RH*), gerakan udara dan *mean radiant temperature* (T_{mrt}) menghasilkan kenyamanan termal. Sementara Szokolay (2004) menyebutkan bahwa ada enam faktor kenyamanan termal, empat faktor merupakan faktor lingkungan, yakni: temperatur udara, pergerakan udara, kelembaban relatif dan radiasi matahari; dan dua lainnya merupakan faktor personal, yakni tingkat aktivitas dan tingkat insulasi pakaian.

Penelitian ini akan mengkaji kondisi termal ruang luar yang mencakup empat faktor lingkungan, yaitu radiasi matahari, pergerakan udara, temperatur udara, dan kelembaban udara.

(a) Radiasi matahari

Radiasi matahari adalah salah satu variabel iklim yang mempengaruhi kondisi udara. Efek yang ditimbulkan akibat radiasi matahari yang berlebih adalah rasa panas (*heat*) dan berpengaruh pada kondisi fisik maupun psikologis manusia. Panas yang berlebih akan meningkatkan temperatur yang menyebabkan ketidaknyamanan terhadap psikologis manusia.

Radiasi matahari dalam unit MJ/m²day, W/m²). Pengukuran radiasi terdiri dari rata-rata radiasi harian dan jumlah paparan matahari tiap jam. Pada iklim hangat lembab, radiasi matahari sebagian akan terpantul dan sebagian menyebar akibat tutupan awan dan kadar uap di atmosfer, radiasi akan menyebar hingga mencapai permukaan tanah, kuat dan menyilaukan (Koenigsberger, dkk, 1973).



Gambar 2.10 Pertukaran Panas pada Pukul 12.00, dalam Musim Panas (Olgay, 1992)

Dari skema, radiasi terdiri dari dua, radiasi gelombang gelombang pendek dan radiasi gelombang panjang. Kuantifikasi radiasi matahari (Oke, 1987)

$$Q^* = K^* + L^* \quad (2.1)$$

Siang, $Q = K + L$. Malam $Q = L$

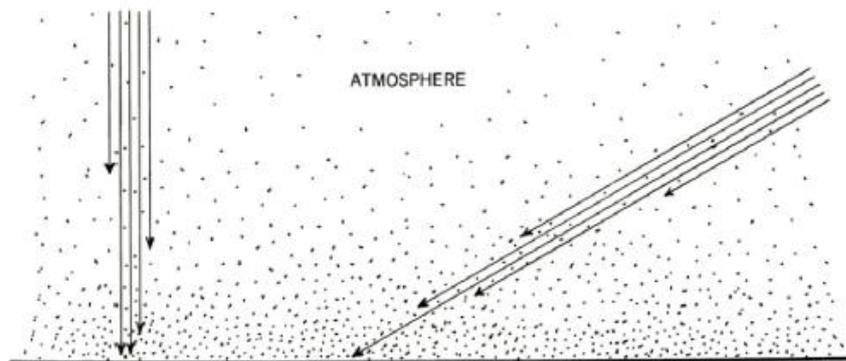
Radiasi gelombang gelombang pendek

$$K^* = K \downarrow + K \uparrow \quad (2.2)$$

$$K^* = K \downarrow + K \uparrow = (S + D) - \alpha(S + D) = (1 - \alpha)(S + D) \quad (2.3)$$

S dan D, dipengaruhi oleh kondisi langit/ atmosfer,

S pada permukaan juga dipengaruhi oleh sudut kemiringan (fungsi waktu)



Gambar 2.11 Sudut Altitude Menentukan Jumlah Radiasi Matahari yang Diserap oleh Atmosfer (Lechner, 2007)

Radiasi gelombang panjang (Oke, 1987)

$$L^* = L \downarrow + L \uparrow \quad (2.4)$$

$$L \uparrow = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (2.5)$$

(b) Pergerakan udara

Pergerakan udara adalah gerak udara atau angin yang disebabkan perbedaan tekanan pada suatu tempat. Udara bergerak dari tempat yang bertekanan lebih tinggi ke tempat yang bertekanan lebih rendah. Perbedaan tekanan dari dua tempat sekaligus akan menentukan arah pergerakan udara. Pergerakan udara adalah aspek yang sangat penting untuk kenyamanan termal, terutama di daerah panas seperti halnya di daerah tropis (Frick dkk, 2008). Pergerakan udara dapat meningkatkan proses evaporasi dari kulit, menciptakan efek pendinginan (Szokolay, 2004).

Udara bergerak atau angin diukur dalam unit km/jam, m/sec, mph, atau knots. Terdiri dari kecepatan angin rata-rata, frekuensi angin tidak kencang (%), frekuensi angin dan arahnya (%), kecepatan rata-rata pada tiap arah angin, dan frekuensi kecepatan dan arah angin (%). Pada iklim tropis lembab, kecepatan angin cenderung rendah. Angin kencang biasanya terjadi pada musim-musim hujan mencapai 30 m/s dengan dua arah dominan (Koenigsberger, dkk, 1973).

(c) Temperatur udara

Temperatur udara adalah derajat temperatur udara. Temperatur udara merupakan faktor lingkungan yang dominan menentukan kecepatan panas yang akan hilang dari suatu permukaan atau ruang, yang sebagian besar dengan cara konveksi (pengembunan) (Szokolay, 2004). Temperatur udara diukur dalam unit derajat celsius ($^{\circ}\text{C}$), diukur dengan termometer merkuri. Temperatur udara terdiri dari temperatur udara minimum, temperatur udara maksimum, dan temperatur udara rata-rata. Temperatur udara maksimum dicapai kira-kira 2 jam (1-2 jam) setelah tengah hari, karena pada saat itu radiasi matahari langsung bergabung dengan temperatur udara yang sudah tinggi. Sementara itu, temperatur terendah sekitar 1-2 jam sebelum matahari terbit. Temperatur udara sudah mulai naik lagi sebelum matahari terbit disebabkan oleh penyebaran radiasi pada langit. (Lippsmeier, 1980).

Temperatur udara ada dua macam, yakni temperatur udara biasa (*air temperature, T_a*) dan temperatur radiasi rata-rata (*mean radiant temperature, T_{mrt}*). T_{mrt} sangat penting artinya karena dapat menimbulkan rasa panas bagi seseorang

hingga 66%. Kenyamanan termal sulit tercapai bila temperatur udara dan T_{mrt} berbeda hingga 5°C atau lebih (Frick dkk, 2008).

Thorsson dkk (2007)

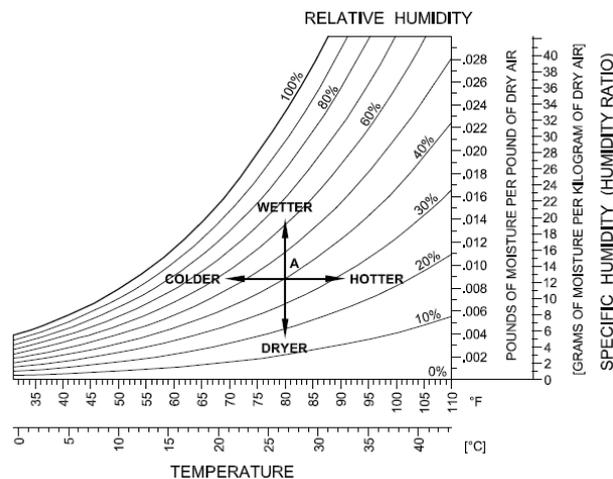
$$T_{mrt} = \sqrt[4]{(S_{str}/(\epsilon_p \sigma))} - 273.15 \quad (2.6)$$

$$S_{str} = \alpha_k \sum_{i=1}^6 K_i F_i + \epsilon_p \sum_{i=1}^6 L_i F_i \quad (2.7)$$

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273.15)^4 + \frac{1.335 \times 10^8 V_a^{0.71}}{\epsilon D^{0.4}} (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273.15 \quad (2.8)$$

(d) Kelembaban udara

Kelembaban udara adalah kandungan uap air dalam udara. Kemampuan udara memuat uap air secara terbatas, berarti sampai titik jenuh. Udara yang lebih sejuk mampu menampung lebih sedikit uap air dibanding udara yang lebih hangat (Gambar 2.12). Batas tertinggi (titik jenuh) kadar uap air di udara disebut kelembaban udara absolut (g/m³). Sementara itu, bila udara tidak mencapai titik jenuh, disebut kelembaban relatif atau kelembaban nisbi, yaitu perbandingan antara kelembaban yang ada terhadap kelembaban maksimal (dalam %) (Frick dkk, 2008).



Gambar 2.12 Kurva Kelembaban Udara (Lechner, 2007)

Sebagian besar penguapan uap air pada kulit merupakan fungsi kelembaban udara. Udara kering dapat secara cepat menyerap uap air dari kulit, sehingga mempercepat penguapan dan efektif untuk menyejukkan badan. Sebaliknya, saat kelembaban udara tinggi, akan mengakibatkan sulit terjadinya penguapan di permukaan kulit sehingga mekanisme pelepasan panas bisa terganggu. Dalam keadaan seperti itu pergerakan udara akan sangat membantu proses penguapan (Frick dkk, 2008). Pada iklim tropis lembab kelembaban dapat mencapai 100%, dengan tekanan uap air cenderung tetap antara 2500 N/m² hingga 3000 N/m² (Koenigsberger, dkk, 1973).

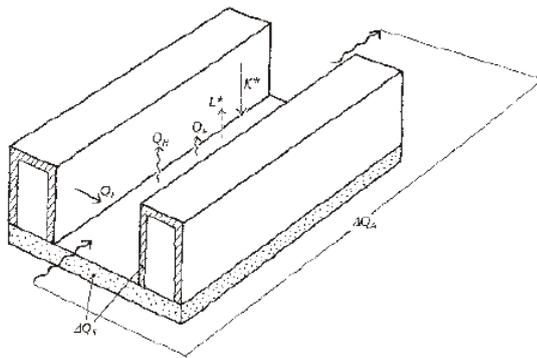
2) Indeks kenyamanan termal

Beberapa indeks kenyamanan yang diterapkan untuk menilai kenyamanan termal ruang luar, diantaranya: *predicted mean vote (PMV)*, *Effective temperature (ET)*, *Standard effective temperature (SET)* dan *physiologically equivalent temperature (PET)*. Saat ini, indeks yang banyak digunakan dalam studi kenyamanan ruang luar SET (Xi, 2012; Taleghani dkk, 2015), PMV, dan PET (Rose, 2011).

Dalam penelitian ini menggunakan indeks PET, merupakan indeks kenyamanan yang dikembangkan berdasarkan model dinamis dua simpul (2 NM) dari temperatur manusia.

2.3 Pengaruh Geometri lingkungan terhadap Kondisi Termal Ruang Luar

Kondisi fisik lingkungan sangat berpengaruh terhadap kondisi termal yang tercipta pada lingkungan tersebut (Koenigsberger dkk, 1973; Oke, 1987; Arnfield, 2003; Kruger dkk, 2011; Rose dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Aini dkk, 2013; Hedquist dan Brazel, 2014; dan Taleghani dkk, 2015). Pengaruh fisik lingkungan terhadap kondisi termal lingkungan melalui dua variabel desain yakni jenis material yang digunakan (Koenigsberger dkk, 1973; Oke, 1987; Arnfield, 2003; dan Hedquist and Brazel, 2014) dan geometri perkotaan (Koenigsberger dkk, 1973; Oke, 1987; Arnfield, 2003; Kruger dkk, 2011; Rose dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Aini dkk, 2013, dan Taleghani dkk, 2015).



Gambar 2.13 Keseimbangan Energi Canyon (Johansson dkk, 2006)

Energy balance canyon:

(Oke, 1987; Arnfield, 2003)

$$(K^* + L^*) + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (2.9)$$

Dimana:

(K^*+L^*) = Total radiasi radiasi gelombang pendek dan gelombang panjang

Q_F = Antropogenik heat

Q_H = Sensible heat

Q_E = Laten heat

ΔQ_S = Panas struktur

ΔQ_A = Adveksi

Energy balance untuk dinding:

$$Q^* = Q_H + \Delta Q_S \quad (2.10)$$

Energy balance untuk lantai:

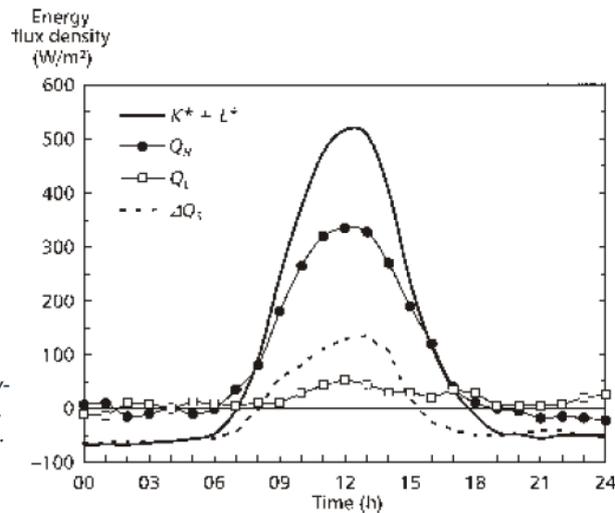
$$Q^* = Q_H + Q_E + \Delta Q_S \quad (2.11)$$

Penjelasan tambahan bahwa energi lantai cenderung lebih besar dibanding energi dinding

$$Q_H = h (T_s - T_a) \quad (2.12)$$

(Arnfield dan Grimmond, 1998)

Fig. 3.6
The energy balance according to equation 3.5 for an urban canyon in Vancouver, Canada. K^*+L^* = net short and long-wave radiation, Q_H = sensible heat, Q_E = latent heat and ΔQ_S = heat storage. The anthropogenic heat Q_F and advection ΔQ_A were not measured and are included in the other heat fluxes. They are, however, assumed to be small. (Modified after Oke 1987).



Gambar 2.14 Grafik Keseimbangan Energi Canyon (Johansson dkk, 2006, Hasil Modifikasi Kembali dari Oke, 1987)

2.3.1 Pengaruh Jenis Material Tutupan Permukaan Tanah

Jenis material tutupan permukaan tanah menentukan kondisi termal yang tercipta terkait kapasitas panas (Szocolay, 2004) dan atau albedo yang dimiliki suatu material (Littlefair dkk, 2000; McMullan, 2007). Kapasitas panas suatu material berpengaruh pada jumlah panas yang dapat diserap oleh suatu material serta waktu pelepasan panas (*time-lag*) (Szocolay, 2004). Material dengan kapasitas panas yang lebih tinggi (material padat/ density besar) akan menyerap panas lebih banyak dan menyimpan panas lebih lama dibanding dengan material dengan material kapasitas panas yang lebih kecil (density ringan) (McMullan, 2007).

Albedo dari satu permukaan didefinisikan sebagai radiasi matahari dicerminkan dibagi dengan radiasi matahari yang diterima oleh suatu material (Littlefair dkk, 2000). Hal tersebut berarti bahwa semakin besar nilai albedo suatu material, maka semakin besar radiasi yang dicerminkan atau semakin kecil radiasi yang diserap. Jenis material tutupan permukaan tanah yang banyak digunakan pada area perkotaan dan nilai albedo yang dimiliki, ditunjukkan pada Lampiran A.

Pada suatu kota, material buatan (*hardscape*) dengan kapasitas panas besar, seperti aspal, beton dan paving, yang cenderung memantulkan dan menyimpan panas, dominan digunakan, sedangkan material alami (*softscape*)

berupa tanah, air, pasir, rumput dan pepohonan cenderung menyerap panas, relatif lebih sedikit (Alberti, 2005). Hal tersebut menjadi faktor penyebab meningkatnya temperatur lingkungan di kota (Oke, 1987; Arnfield, 2003), serta pemicu terjadinya *urban heat island (UHI)* (Littlefair dkk, 2000).

Hedquist dan Brazel, (2014), telah melakukan penelitian tentang bagaimana perilaku landscape (tiga *landscape* dalam studi), dengan *land use and land cover (LULC)* yang berbeda terhadap kenyamanan termal ruang luar, di pusat kota Phoenix, Arizona, USA. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa pada musim panas; pada pagi hari hingga siang hari (*cool island*), area pusat kota cenderung lebih nyaman dibanding area sekitarnya, sedangkan pada sore hingga malam (*heat island*) hari cenderung lebih tidak nyaman. Hal berbeda terjadi pada area di luar pusat kota (area terbuka/ ladang pertanian), pada pagi hingga sore hari cenderung tidak nyaman dan pada malam hari relatif lebih nyaman. Sementara itu, pada musim dingin; kenyamanan ruang luar cenderung meningkat pada area di pusat kota, yakni hingga sore atau permulaan malam hari. Hal ini dikarenakan terjadinya pelepasan panas ke area-area terbuka. Hasil lainnya dari studi mereka mengkonfirmasi bahwa meningkatkan jumlah pohon rindang (pembayangan struktur), serta meningkatkan jumlah vegetasi dan permukaan permeable dapat secara dramatis mengurangi panas dan meningkatkan kenyamanan manusia luar ruangan.

2.3.2 Pengaruh Pola dan Orientasi Massa Bangunan

Orientasi bangunan akan menentukan jumlah beban panas yang diterima massa bangunan ataupun bidang permukaan tanah dan efek pendinginan oleh angin yang melalui koridor. Lippsmeier (1997), menyatakan bahwa dengan penempatan bangunan yang tepat terhadap matahari dan angin, maka temperatur ruangan dapat diturunkan beberapa derajat tanpa bantuan peralatan mekanis. Olgyay (1992), mengungkapkan bahwa orientasi yang dianjurkan untuk iklim panas lembab adalah sumbu pendek bangunan membentuk sudut 5° terhadap sumbu Utara-Selatan.

Studi tentang pengaruh orientasi blok bangunan ataupun bentuk perkotaan (*urban form*) terhadap kondisi termal ruang luar telah dilakukan oleh

Taleghani dkk (2015). Studi yang dilakukan menguji lima model (dengan pola dan orientasi yang berbeda), yakni *Singular Blocks E-W*, *Singular Blocks N-S*, *Linear Blocks E-W*, *Linear Blocks N-S*, dan *Courtyard*. Dari studi mereka mengungkap bahwa orientasi blok dan pola bangunan mempengaruhi jumlah penerimaan radiasi matahari, memainkan peranan yang sangat penting terhadap kenyamanan termal. Pada kasus *Linear Blocks E-W*, *Singular Blocks E-W*, *Singular Blocks N-S*, masing-masing terpapar radiasi langsung selama kurang lebih 12 jam per hari, sedangkan *Linear Blocks N-S* hanya kurang lebih 4 jam per hari.

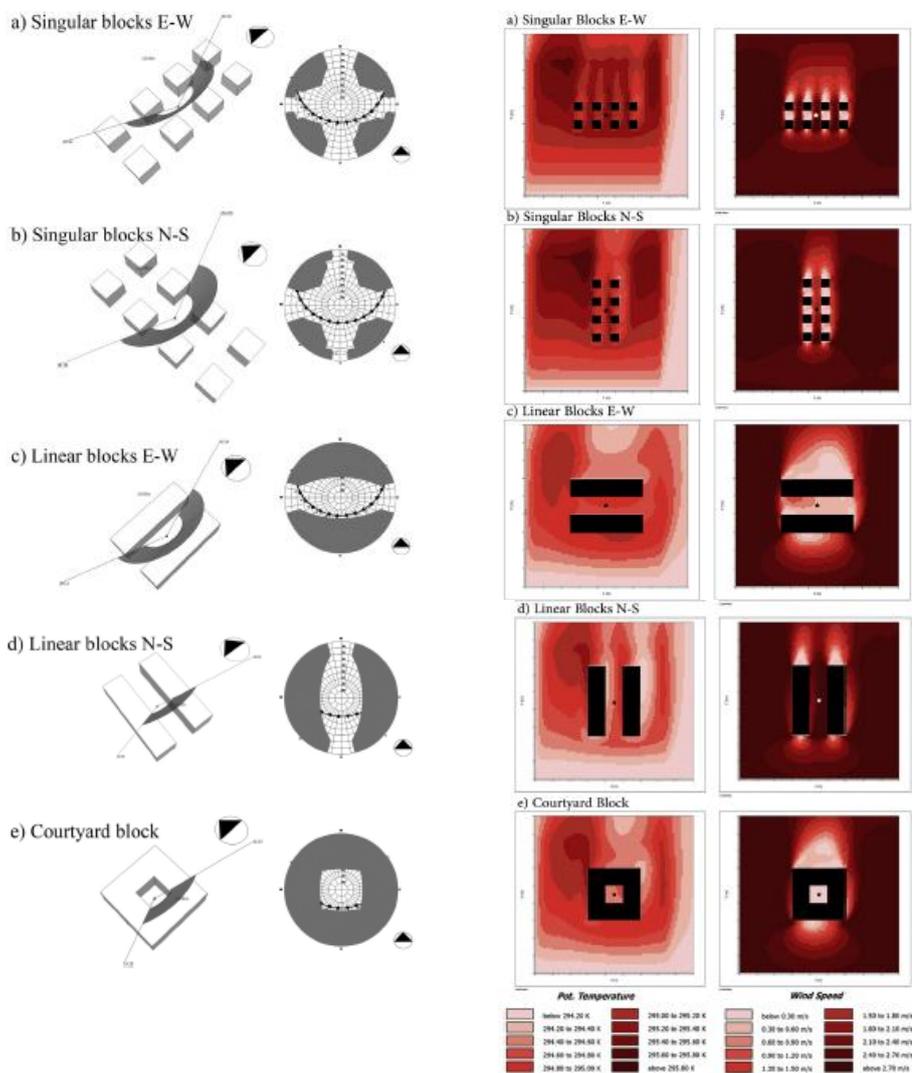


Fig. 10. Air temperatures (left) and local air velocities (right) at 16:00 h on the 19th of June.

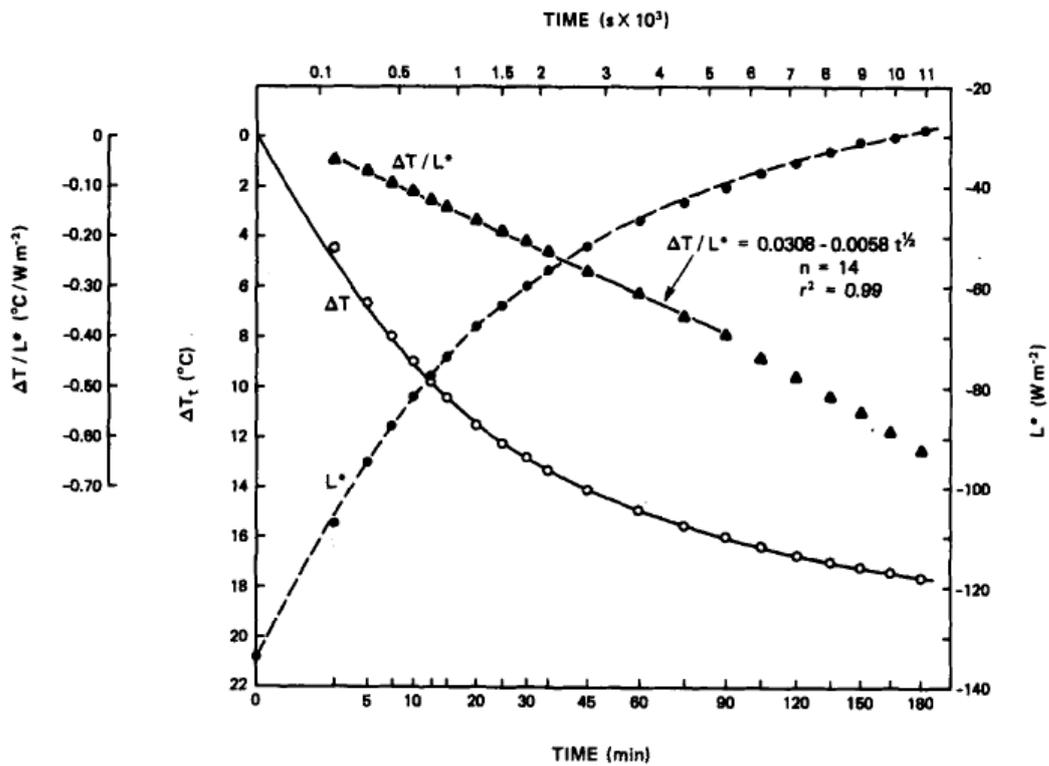
Gambar 2.15 Bentuk Geometri dan Orientasi Blok Bangunan dan Kondisi Temperatur Udara yang (Taleghani dkk, 2015)

Penelitian lainnya telah dilakukan Aini dkk (2013), yakni studi aliran udara pada perumahan berpola grid di lahan berbukit dengan perbedaan orientasi kelompok massa. Hasil studi mereka menunjukkan bahwa ada kecenderungan yang sama antara distribusi aliran udara di lahan berkontur dan lahan datar, dimana orientasi kelompok massa yang tegak lurus terhadap arah angin menciptakan aliran udara yang tidak merata di sekitar bangunan, dibandingkan orientasi yang menyudut terhadap arah angin. Selain itu juga mengungkap bahwa kondisi topografi yang badan bukitnya menghadap arah angin, mampu memperbaiki aliran udara yang lebih baik daripada lahan datar. Juga ditemukan bahwa pengaturan massa yang tegak lurus di lahan datar untuk memaksimalkan aliran udara dapat diterapkan dengan jarak antar bangunan dua kali lebar bangunan, namun memerlukan lahan yang cukup besar. Pengaruh topografi dapat mengurangi kebutuhan lahan yang besar dan aliran udara dapat lebih baik dibandingkan lahan datar.

Dari kedua studi tersebut di atas, menunjukkan bahwa bentuk pola ataupun orientasi massa bangunan sangat berpengaruh terhadap kondisi termal yang terbentuk. Pola dan ataupun orientasi blok bangunan mempengaruhi jumlah (durasi) penerimaan radiasi matahari (jumlah beban panas yang diterima permukaan) yang selanjutnya akan berdampak pada peningkatan termal lingkungan. Selain itu, pola dan ataupun orientasi blok bangunan juga berpengaruh terhadap aliran udara pada objek yang dapat berpengaruh pada pendinginan termal lingkungan.

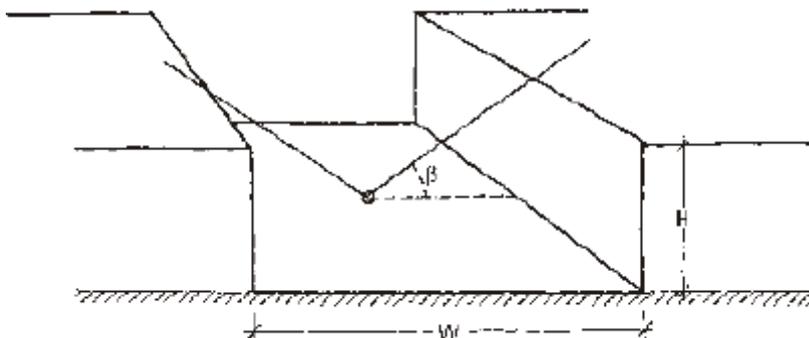
2.3.3 Pengaruh Kepadatan dan Ketinggian Bangunan

Oke (1981) menyatakan bahwa pengaruh geometri perkotaan terhadap tingkat pendinginan area perkotaan, pada lingkup mikro, bergantung dua parameter struktur perkotaan, yaitu rasio antara ketinggian bangunan dan lebar jalan (H/W , *canyon*), dan *sky view factor* (SVF), persentase komponen langit yang dapat terlihat dari satu lokasi (pada tingkat jalan) yang menunjukkan kedalaman *canyon* jalan perkotaan ([Gambar 2.12](#)).



Gambar 2.16 Variasi Penurunan Temperatur (ΔT), Radiasi Gelombang Panjang (L^*) dan Rasio dari Keduanya ($\Delta T/L^*$) (Oke, 1981).

Senada juga diungkapkan oleh Taleghani dkk (2015), bahwa bentuk geometri perkotaan yang dipengaruhi oleh kerapatan dan ketinggian bangunan memainkan peranan yang sangat penting, terhadap kondisi dan kenyamanan termal.



Gambar 2.17 Ilustrasi Ratio Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dan Sky View Factor ($SVF, = \cos\beta$) pada Urban Canyon (Oke, 1981).

Penelitian mengenai pengaruh geometri perkotaan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar telah dilakukan oleh sejumlah peneliti. Diantaranya adalah Kruger dkk (2011), yang meneliti tentang pengaruh geometri perkotaan terhadap kenyamanan termal ruang luar (*outdoor thermal comfort*), termasuk kualitas udara dan sirkulasi udara, pada koridor perkotaan, di Brazil. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa pada hari dengan temperatur yang lebih tinggi, lokasi dengan nilai SVF paling tinggi (dengan penghalang langit kurang), memiliki nilai T_{mrt} paling tinggi yang cenderung tidak nyaman. Melalui studi yang dilakukan juga disimpulkan bahwa koridor perkotaan adalah sebagai solusi yang dapat menjaga kualitas udara (melalui sirkulasi udara untuk penyebaran polusi udara) dan menyediakan kenyamanan bagi pejalan kaki. Penelitian lainnya, yakni dilakukan oleh Rose dkk, (2011), tentang pengaruh bentukan perkotaan (*urban built form*) terhadap kenyamanan termal ruang luar pada ruang perkotaan, di India. Penelitian dilakukan pada enam blok perkotaan dengan ketinggian dan kepadatan yang berbeda, yakni mulai bangunan bertingkat rendah (*low-rise*) tersebar (*low-density*) di daerah suburban hingga bangunan bertingkat sedang (*medium-rise*) berkepadatan tinggi (*high-density*) di pusat kota. Hasil penelitian mereka mengungkap bahwa peningkatan aspek rasio bangunan (H/W) atau geometri jalan dan persentase area terbangun dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal di siang hari. Sebaliknya, dapat memperburuk kenyamanan termal dan meningkatkan penggunaan energi untuk pendinginan sepanjang malam hari. Juga ditambahkan bahwa peningkatan nilai kondisi kenyamanan yang dipengaruhi oleh persentase *built-up area* dan H/W rasio selama siang hari lebih kecil (masing-masing, $R^2=0,22$ dan $R^2=0,76$), dibandingkan dengan dampak penurunan kenyamanan pada malam hari (masing-masing $R^2=0,89$ dan $R^2=0,98$). Selain itu, juga diungkap bahwa aspek rasio bangunan (H/W) lebih signifikan mempengaruhi kenyamanan termal dibandingkan dengan aspek area terbangun. Dibutuhkan rasio bangunan (H/W) dan persentase area terbangun (dalam kasus studi), untuk meningkatkan kenyamanan termal. Penelitian yang serupa juga dilakukan oleh Xi dkk (2012), tentang pengaruh bentuk elemen desain terhadap kondisi dan kenyamanan termal lingkungan. Penelitian dilakukan di lingkungan kampus, pada enam titik

penelitian dengan bentuk elemen dan material tutupan permukaan tanah yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SVF dan jenis material permukaan tanah berpengaruh terhadap distribusi temperatur. Khususnya dalam analisa SVF, menunjukkan bahwa dengan SVF yang sangat tinggi, maka penerimaan radiasi matahari langsung (*short-wave*), pemantulan gelombang panjang (*long-wave reflection*) dan radiasi gelombang panjang (*long-wave radiation*) akan lebih besar, sehingga kondisi termal lingkungan ruang luar di lingkungan kampus jadi sangat panas selama musim panas. Hasil studi juga menunjukkan bahwa “Tipe Pilotis” (titik penelitian yang ternaungi/ di bawah bangunan pilotis) dapat mereduksi temperatur udara sebanyak 2-3°C pada musim panas. Nilai T_{mrt} antara tipe *Pilotis/ Teaching building blocks* dan *Squares* masing-masing adalah 15-25°C dan 30-40°C, atau dengan penurunan SET siang hari, sekitar 6-10°C.

Dari sejumlah penelitian tersebut di atas menunjukkan bahwa geometri perkotaan sangat berpengaruh terhadap kondisi termal luar (lingkungannya). Pengaruh geometri perkotaan terhadap kondisi termal ruang luar melalui dua variabel desain yakni geometri jalan (H/W) dan *sky view factor* (SVF). H/W berpengaruh pada penerimaan dan pelepasan panas. Semakin besar nilai H/W atau semakin kecil nilai SVF, maka penerimaan panas radiasi relatif lebih kecil pada permukaan tanah sehingga dapat meningkatkan kenyamanan pada siang hari. Sementara pada malam hari (dengan H/W yang besar atau SVF kecil), maka akan memperlambat pelepasan panas, sehingga dapat menurunkan kenyamanan dan dapat memicu peningkatan energi pendinginan. Sebaliknya, dengan H/W yang lebih kecil atau SVF lebih besar maka penerimaan panas radiasi relatif besar oleh permukaan tanah sehingga dapat menurunkan kenyamanan pada siang hari. Namun (dengan H/W yang lebih kecil atau SVF lebih besar), dapat meningkatkan pelepasan panas pada malam hari sehingga dapat meningkatkan kenyamanan.

Untuk geometri yang lebih sederhana (bangunan berlantai rendah, geometri fasade sederhana) penggunaan H/W cukup baik untuk menilai pengaruh desain fisik terhadap kondisi termal ruang luar. Sementara untuk geometri yang lebih kompleks tau bangunan berlantai banyak, penerapan SVF lebih akurat untuk menilai pengaruh desain fisik terhadap kondisi termal yang terbentuk. (Oke, 1987)

Dalam penelitian ini, akan mengkaji pengaruh pola dan kepadatan bangunan pada permukiman perkotaan di Surabaya. bangunan yang akan dikaji merupakan bangunan dengan kepadatan sedang-tinggi, dengan ketinggian bangunan 1-3 lantai. Untuk itu dalam kajian ini akan menggunakan H/W.

2.4 Sintesa Kajian Pustaka

Dari uraian kajian pustaka diketahui bahwa desain fisik suatu lingkungan akan mempengaruhi kondisi termal yang akan tercipta pada lingkungan tersebut (Oke, 1981; Oke, 1987; Arnfield, 2003; Rose dkk, 2011; Kruger dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Hedquist dan Brazel, 2014, dan Taleghani dkk, 2015). Desain fisik lingkungan mempengaruhi kondisi termal pada suatu lingkungan melalui dua variabel desain, yakni jenis material tutupan permukaan tanah yang digunakan (*urban surface*) (Rose dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Hedquist dan Brazel, 2014) dan geometri perkotaan (*urban geometry*) (Oke, 1981; Rose dkk, 2011; Kruger dkk, 2011; Xi dkk, 2012; Taleghani, 2015).

Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang terus-menerus mengalami pembangunan dengan cukup pesat. Di Surabaya telah terjadi peningkatan kondisi termal lingkungan sekitar 2°C (30-32°C menjadi 33-34°C) dalam kurun waktu tiga tahun (Antaryama dkk, 2010). Peningkatan temperatur udara permukaan kota dapat dipengaruhi oleh peningkatan proporsi area bangunan (Antaryama dkk, 2010; Rose dkk, 2011).

Penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar. Penelitian akan dilakukan pada permukiman informal di dua lokasi, yakni permukiman di tengah dan di pinggiran kota, di Surabaya, yang memiliki perbedaan pola dan kepadatan dari keduanya.

Pengaruh pola dan kepadatan bangunan melalui fungsi H/W, sebagai parameter geometri perkotaan (Oke, 1987). Pola (meliputi orientasi) blok bangunan akan mempengaruhi durasi penerimaan radiasi matahari oleh permukaan (Taleghani, 2015) dan sirkulasi udara (Kruger dkk, 2011; Aini dkk, 2013). Kepadatan bangunan (termasuk ketinggian) bangunan akan berpengaruh terhadap sirkulasi udara (Oke, 1987) penerimaan radiasi matahari (Kruger dkk, 2011; Taleghani dkk, 2015), dan pelepasan panas (Rose dkk, 2011). Semakin

kecil nilai H/W, maka penerimaan radiasi matahari langsung (*short-wave*) dan pemantulan gelombang panjang akan lebih besar, menciptakan kondisi termal ruang luar jadi lebih panas selama siang hari (Rose dkk, 2011; Taleghani dkk, 2015; Kruger dkk, 2011). Sebaliknya, semakin besar nilai H/W, maka penerimaan radiasi matahari langsung lebih kecil, sehingga kondisi termal ruang luar jadi lebih dingin selama siang hari. Akan tetapi, semakin besar nilai H/W, maka pelepasan panas akan lebih lambat, sehingga cenderung tidak nyaman pada malam hari (Xi dkk, 2012; Rose dkk, 2011).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menguraikan tentang paradigma dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan, subyek dan variabel penelitian. Selain itu, juga akan diuraikan data- data, koleksi data, detail metode, rancangan eksperimen serta teknik analisa data.

3.1 Paradigma Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh pemahaman tentang pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar permukiman perkotaan, di Surabaya. Pengaruh dari pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar yang tercipta, diwujudkan secara kuantitatif dan dinilai secara obyektif. Berdasarkan tujuan tersebut, maka paradigma yang sesuai adalah paradigma pospositivistik.

Paradigma pospositivistik merupakan paradigma yang mengutamakan obyektivitas (penilaian berdasarkan kondisi obyek), tidak memihak pada salah satu kondisi/ obyek dalam penyelesaian permasalahan penelitian (Groat dan Wang, 2002). Penelitian ini terkait ilmu alam yang mengamati aliran panas dalam suatu sistem termal pada kondisi nyata, yakni pada kawasan permukiman informal di Surabaya. Dalam pengamatan ini, pengaruh dari pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar yang tercipta diwujudkan berupa detail-detail elemen iklim sebagai parameter kondisi termal untuk mengetahui kinerja termal. Hasil penelitian ini nantinya dapat digeneralisir untuk kondisi lingkungan lainnya, namun bisa saja menghasilkan kemungkinan hasil yang berbeda akibat perbedaan kondisi lingkungan, seperti perbedaan tingkat ketinggian dataran (*altitude*) dan letak geografis (*latitude*).

3.2 Metode Penelitian

Tiga metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, yakni penelitian lapangan, simulasi dan eksperimen. Penentuan metode penelitian

tersebut didasarkan atas mempertimbangkan tujuan penelitian ini, yakni untuk memperoleh pemahaman dan konsep penataan pola, kepadatan dan orientasi bangunan dengan pertimbangan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya. Dalam hal ini, pengaruh pola, kepadatan dan orientasi bangunan (aspek desain) terhadap kondisi termal ruang luar (aspek lingkungan) akan dinyatakan dalam hubungan sebab-akibat. Dalam penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya, metode ataupun pendekatan studi lapangan dan simulasi telah umum digunakan untuk melihat hubungan antar variabel penelitian berupa kondisi fisik lingkungan dan kondisi iklim yang terbentuk, diantaranya ialah oleh Kruger dkk (2011), Rose dkk (2011), Xi dkk (2012), dan Taleghani dkk (2015). Perbandingan penelitian kinerja termal, penelitian ini dan beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, ditunjukkan pada [Tabel 3.1](#).

1) Penelitian lapangan

Penelitian lapangan dalam penelitian ini adalah sebagai pendekatan tahap awal, dilakukan untuk mendapatkan gambaran kondisi sesungguhnya di lapangan, berupa kondisi geometri lingkungan dan kondisi termal ruang luar subyek penelitian. Selanjutnya, dari kedua data lapangan tersebut, akan dilihat hubungan dari keduanya berdasarkan kecenderungan- kecenderungan yang terjadi, kondisi geometri lingkungan (variabel desain) terhadap kondisi termal yang tercipta (variabel lingkungan). Selain itu, data lapangan khususnya data kondisi termal ruang luar hasil pengukuran lapangan, juga dibutuhkan sebagai data verifikasi terhadap hasil simulasi yang akan dilakukan kemudian.

Sementara itu, untuk mengetahui hubungan kedua variabel (kondisi geometri lingkungan dan kondisi termal ruang luar) secara lebih detail berupa hubungan sebab- akibat, maka dibutuhkan penelusuran lebih lanjut, yakni dengan melakukan eksperimen. Langkah eksperimen dilakukan dengan melakukan perlakuan terhadap sub variabel desain tertentu, sementara sub variabel lainnya dibuat tanpa perlakuan (dalam kondisi konstan). Selanjutnya, hubungan antara kedua variabel (geometri lingkungan dan kondisi termal ruang luar) akan dilihat berdasarkan nilai- nilai yang tercipta, yang dapat menggambarkan hubungan antar

keduanya dan dinyatakan dalam hubungan sebab- akibat. Hubungan antara kedua variabel diwujudkan dalam bentuk kuantifikasi detail- detail komponen fisik lingkungan dan elemen iklim sebagai parameter kondisi termal lingkungan yang tercipta. Hal tersebut merupakan penelusuran yang sangat rumit dan kompleks, sehingga dibutuhkan upaya pendekatan yang dapat menggambarkan fenomena yang terjadi pada alam nyata, yakni dengan metode simulasi.

2) Simulasi

Metode simulasi digunakan untuk menjawab penelitian yang terkait skala dan kompleksitas, diwujudkan dalam bentuk replikasi fenomena yang terjadi pada alam nyata (Groat dan Wang, 2002). Metode simulasi dalam penelitian ini adalah sebagai pendekatan tahap lanjut, dilakukan dalam dua tahap simulasi, simulasi dengan model eksisting subyek dan simulasi dengan perlakuan (eksperimen). Simulasi dengan model eksisting sebagai replikasi kondisi sebenarnya pada subyek. Sementara, simulasi dengan perlakuan atau model eksperimen dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing- masing variabel desain (pola, kepadatan dan orientasi massa bangunan) terhadap masing- masing variabel lingkungan (kondisi dan kenyamanan termal ruang luar). Metode simulasi dalam penelitian ini akan menggunakan program komputer yakni ENVI-met 3.1.

Program ENVI-met adalah program untuk memprediksi kondisi iklim secara baik dengan tampilan tiga dimensi (*Bruse, 2006*). ENVI-met merupakan program yang paling lengkap dalam hal perhitungan kenyamanan manusia. Output ENVI-met berupa empat parameter kenyamanan termal utama, yakni temperatur udara (T_a), mean radian temperatur (T_{mrt}), kecepatan angin (v) dan kelembaban relatif (RH). Sementara model dari ENVI-met terdiri dari empat sistem utama, yakni tanah, vegetasi, atmosfer dan bangunan. ENVI-met terdiri dari beberapa persamaan dasar dari fisik model, terkait dengan: a) rata-rata aliran udara, b) temperatur dan kelembaban, c) turbulensi dan proses pertukaran, dan d) fluks radiasi. ENVI-met juga telah digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian kinerja termal ruang luar, sejenis dengan penelitian ini, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Kruger dkk (2011), Taleghani dkk (2015) dan Hedquist and Brazel (2014) ([Tabel 3.1](#)).

Tabel 3.1 Perbandingan Penelitian Kinerja Termal Lingkungan Ruang Luar

Item	Kruger dkk, (2011)	Rose dkk, (2011)	Xi dkk, (2012)	Taleghani dkk, (2015)	Hedquist and Brazel, (2014)	Ronalmento (Pengusulan)
Judul	<i>Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort and Air Quality From Field Measurements in Curitiba, Brazil</i>	<i>Influence of Built Form on the Thermal Comfort of Outdoor Urban Spaces</i>	<i>Study on the Outdoor Thermal Environment and Thermal Comfort Around Campus Clusters in Subtropical Urban Area</i>	<i>Outdoor Thermal Comfort within Five Different Urban Forms in the Netherlands</i>	<i>Seasonal Variability of Temperatures and Outdoor Human Comfort in Phoenix, Arizona, U.S.A.</i>	Pengaruh Pola dan Kepadatan Bangunan terhadap Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan di Surabaya
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui pengaruh geometri perkotaan terhadap kenyamanan termal ruang luar (<i>outdoor thermal comfort</i>), termasuk kualitas dan sirkulasi udara pada koridor perkotaan di pusat kota.	Untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang luar melalui analisis bentuk bangunan (<i>built form</i>) dan parameter iklim, pada ruang perkotaan.	Untuk menyelidiki kondisi dan kenyamanan termal lingkungan ruang luar di sekitar kawasan kampus, di perkotaan Subtropis.	Untuk menyelidiki serta menunjukkan bentuk perkotaan yang dapat memberikan kenyamanan iklim mikro yang lebih baik pada hari terpanas.	Untuk menyelidiki kenyamanan termal ruang luar dari tiga lansekap dengan <i>land use and land cover (LULC)</i> yang berbeda, di pusat Phoenix, Arizona, dalam musim yang berbeda.	Untuk memperoleh pemahaman dan konsep penataan pola, kepadatan dan orientasi bangunan dengan pertimbangan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya
Metoda	Pengukuran lapangan dan Simulasi	Pengukuran lapangan dan Simulasi	Pengukuran lapangan dan Survei kuisioner	Studi lapangan dan Simulasi	Simulasi	Penelitian lapangan, simulasi dan eksperimen
Populasi dan Sampel	Geometri perkotaan (jalan dan bangunan) di pusat kota Curitiba, Brazil	Enam bentuk bangunan perkotaan (<i>urban built form</i>) dengan ketinggian dan kepadatan yang berbeda: bangunan bertingkat rendah (<i>low-rise</i>) tersebar (<i>low-density</i>) di daerah suburban hingga bangunan bertingkat sedang (<i>medium-rise</i>) berkepadatan tinggi (<i>high-density</i>) di pusat kota.	Elemen desain di kawasan kampus (<i>pilotis, Teaching building blocks</i> dan <i>Squares</i>) di perkotaan Subtropis.	Lima “ <i>Urban forms</i> ” di <i>Netherland</i> . <ul style="list-style-type: none"> • <i>Singular: East-West</i> dan <i>North-South</i> • <i>Linear: East-West</i> dan <i>North-South</i> • <i>Courtyard form</i> 	Tiga lansekap di pusat Phoenix.	Permukiman (informal) perkotaan: di tengah kota dan di wilayah pesisir, di Surabaya.

Tabel 3.1 Lanjutan Perbandingan Penelitian Kinerja Termal Lingkungan Ruang Luar

Item	Kruger dkk, (2011)	Rose dkk, (2011)	Xi dkk, (2012)	Taleghani dkk, (2015)	Hedquist and Brazel, (2014)	Ronalmento (Pengusulan)
Variabel	<p>I: Geometri perkotaan (SVF)</p> <p>D: Kenyamanan termal ruang luar (MRT) dan kualitas udara</p>	<p>I: Material tutupan permukaan tanah (bangunan, jalan/ paving, vegetasi), <i>canyon geometry</i>(<i>H/W ratio</i>), dan <i>sky view factor (SVF)</i></p> <p>D: Kenyamanan termal ruang luar (MRT dan <i>Physiologically Equivalent Temperature, PET</i>)</p>	<p>I: Desain fisik lingkungan; Jenis material tutupan permukaan tanah dan bentuk elemen desain (<i>SVF</i>)</p> <p>D: Kondisi termal ruang luar (MRT, T, H, V) dan kenyamanan termal (<i>SET</i>)</p>	<p>I: Bentuk perkotaan (<i>urban forms</i>) dan orientasinya</p> <p>D: Kenyamanan termal ruang luar (PET)</p>	<p>I: Konfigurasi elemen tutupan permukaan (vegetasi, rumput/ tanah dan bangunan). Efek pembayangan vegetasi dan bangunan.</p> <p>D: MRT, PMV</p>	<p>I: Pola blok bangunan, kepadatan bangunan dan orientasi blok bangunan</p> <p>D: Kondisi termal ruang luar (K^*, L^*, v, T_a, RH, T_{mrt}), dan kenyamanan termal ruang luar (<i>PET</i>)</p>
Data	<ul style="list-style-type: none"> o Data sekunder: data iklim tahunan (dalam 30 thn) o Data primer: data kondisi iklim pada site (MRT) dan data geometri perkotaan (SVF dan H/W) 	<ul style="list-style-type: none"> o Data kondisi iklim pada site (MRT) o Termal properties material tutupan permukaan tanah (bangunan, jalan/ paving, vegetasi), <i>canyon geometry (H/W ratio)</i>, dan <i>sky view factor (SVF)</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> o Data fisik lingkungan (bentuk elemen dan jenis material tutupan permukaan tanah) o Data kondisi termal ruang luar (MRT, T, H, V) o Data kenyamanan termal/ sensasi termal (<i>SET</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> o Data sekunder: data iklim Netherlands o Data Primer: data iklim pada site (di lima titik obyek penelitian); T, MRT, V, RH. 	<ul style="list-style-type: none"> o Data iklim tahunan Phoenix (Tahun 2008) o Data fisik lansekap/ konfigurasi tutupan permukaan obyek (bangunan, vegetasi, tanah, dll) 	<ul style="list-style-type: none"> o Data sekunder: data iklim tahunan Surabaya, lima tahun terakhir (Tahun 2010-2014) o Data Primer: data iklim pada subyek penelitian: K_{dir}, v, T_a, RH; dan data geometri lingkungan (pola dan orientasi blok bangunan, kepadatan dan ketinggian bangunan)

Tabel 3.1 Lanjutan Perbandingan Penelitian Kinerja Termal Lingkungan Ruang Luar

Item	Kruger dkk, (2011)	Rose dkk, (2011)	Xi dkk, (2012)	Taleghani dkk, (2015)	Hedquist and Brazel, (2014)	Ronalmanto (Pengusulan)
Koleksi Data	<ul style="list-style-type: none"> o Data sekunder: dari badan Klimatologi o Data primer: Observasi dan pengukuran lapangan 	<ul style="list-style-type: none"> o Observasi dan pengukuran lapangan (menggunakan <i>HOBO dataloggers (HOBO U10 Temp/RH)</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> o Pengukuran lapangan dan Survei kuisisioner 	<ul style="list-style-type: none"> o Data sekunder: data dari badan Klimatologi Netherlands o Data Primer: Observasi dan pengukuran lapangan (fokus pengukuran pada kondisi hari terpanas) 	<ul style="list-style-type: none"> o Data sekunder: dari badan Klimatologi setempat o Data Primer: studi lapangan 	<ul style="list-style-type: none"> o Data sekunder: data dari badan klimatologi Surabaya o Data Primer: Observasi dan pengukuran lapangan pada kondisi hari terpanas; dan pengamatan citra satelit
Analisis Data	<ul style="list-style-type: none"> o Simulasi, dengan program ENVI-met 	<ul style="list-style-type: none"> o Simulasi, dengan program RayMan 	<ul style="list-style-type: none"> o Analisis angka dan regresi sederhana 	<ul style="list-style-type: none"> o Simulasi, dengan ENVI-met dan Rayman (untuk mengkonversi data iklim menjadi <i>Physiological Equivalent Temperature</i>, PET). o Komparasi data; hasil pengukuran dan hasil simulasi (sebagai validasi hasil) 	<ul style="list-style-type: none"> o Simulasi, dengan ENVI-met 	<ul style="list-style-type: none"> o Simulasi, dengan program ENVI-met

Ket:

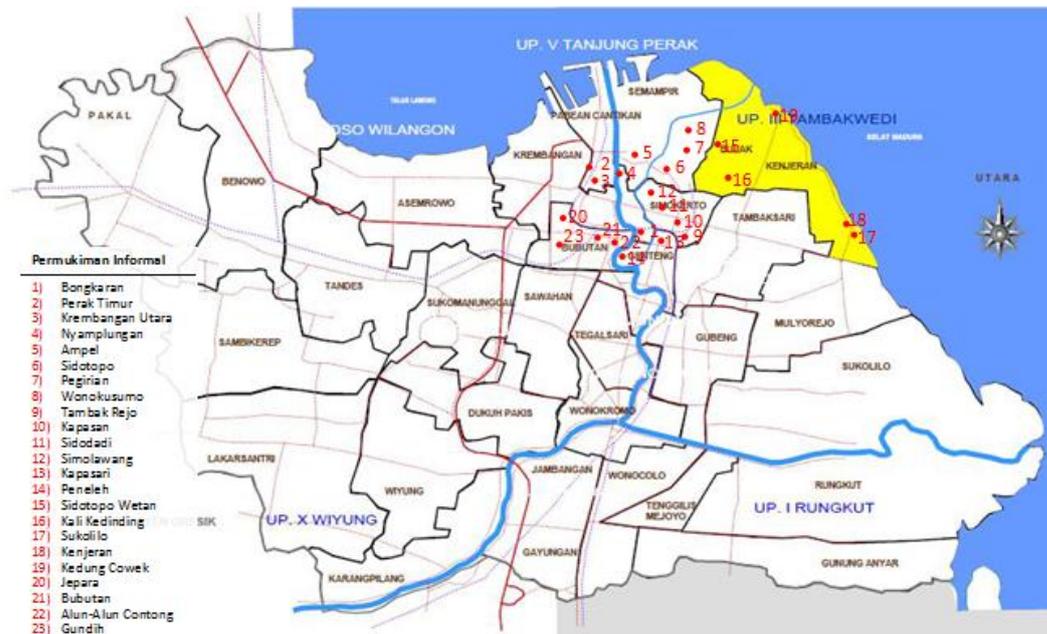
I : Variabel Independen (tidak terikat)

D : Variabel Dependen (terikat)

3.3 Subyek Penelitian

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Antaryama dkk (2010), yaitu studi tentang kondisi termal ruang luar pada permukiman perkotaan di Surabaya. Dari penelitian mereka, menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan temperatur udara permukaan di Surabaya (sekitar 2°C) dalam kurun waktu tiga tahun (2003-2006). Selain itu, juga digambarkan bahwa intensitas termal lingkungan di tengah kota lebih tinggi daripada di pinggiran kota. Peningkatan temperatur udara permukaan tersebut dapat disebabkan oleh semakin bertambahnya proporsi area tutupan bangunan ataupun tingkat kepadatan bangunan (Oke, 1987; Arnfield, 2003). Sementara perbedaan tingkat intensitas termal lingkungan yang tercipta antara lingkungan di tengah kota lebih tinggi daripada di pinggiran kota, dapat dikarenakan oleh adanya perbedaan tingkat kepadatan bangunan antara kedua lingkungan tersebut (Rose dkk, 2011). Di sisi lain, terjadinya peningkatan temperatur udara permukaan di kota akan menyebabkan penurunan tingkat kenyamanan termal (di luar dan di dalam bangunan) dan dapat memicu peningkatan konsumsi energi pendinginan untuk mendapatkan kenyamanan, terutama di malam hari (Rose dkk, 2011). Oleh karena itu, dalam penelitian ini, akan dikaji lebih lanjut kondisi termal ruang luar permukiman perkotaan di Surabaya yang dikaitkan dengan kondisi geometri lingkungannya, khususnya pola dan kepadatan bangunan.

Subyek dalam penelitian ini adalah kawasan permukiman informal (kampung) (Silas dkk, 2013) yang berada di Surabaya ([Gambar 3.1](#) dan [Tabel 3.2](#)). Subyek terdiri dari dua kawasan permukiman yakni di tengah kota dan di pinggiran kota, dengan karakter geometri lingkungan (pola dan tingkat kepadatan) yang berbeda. Subyek merupakan kawasan yang termasuk dalam zona iklim lokal *compact housing* (Stewart dan Oke, 2009). Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka subyek yang dipilih dan akan dikaji lebih lanjut dalam penelitian ini adalah Kampung Peneleh (di tengah kota) dan Kampung Kedung Cowek (di pinggiran kota/ wilayah pesisir), di Surabaya. Kedua kawasan (Kampung Peneleh dan Kampung Kedung Cowek), merupakan kawasan dengan prioritas pengembangan yang ditekankan pada peningkatan kualitas lingkungan (Executive Summary RTRW Surabaya 2015).



Gambar 3.1 Permukiman Informal (Kampung) di Surabaya (Hasil Olah Kembali dari Executive Summary RTRW Surabaya 2015)

Tabel 3.2 Permukiman Informal (Kampung) di Surabaya

Kecamatan/ Permukiman Informal		Kecamatan/ Permukiman Informal	
1	Pabean Cantikan	1) Bongkaran 2) Perak Timur 3) Krembangan Utara 4) Nyamplungan	4 Genteng 5 Kenjeran 15) Sidotopo Wetan 16) Kali Kedinding
2	Semampir	7) Ampel 8) Sidotopo 9) Pegirian 10) Wonokusumo	6 Bulak 17) Sukolilo 18) Kenjeran 19) Kedung Cowek
3	Simokerto	11) Tambak Rejo 12) Kapasan 13) Sidodadi 14) Simolawang	7 Bubutan 20) Jepara 21) Bubutan 22) Alun-Alun Contong 23) Gundih

Sumber: Executive Summary RTRW Surabaya 2015

a. Kampung Peneleh

Kampung Peneleh adalah salah satu kampung tua di Surabaya. Kawasan kampung Peneleh merupakan salah satu bagian sejarah kota Surabaya. Kondisi hunian pada kampung Peneleh umumnya adalah bangunan tua bergaya klasik Eropa (kolonial) yang hingga saat ini masih terjaga.

Kampung Peneleh terletak di Kec. Genteng, di tengah kota Surabaya. Kampung Peneleh tumbuh di dekat Sungai Kalimas (di sebelah Timur Sungai). Kampung Peneleh terdiri massa bangunan yang besar (gemuk) dan memiliki kepadatan bangunan yang relatif tinggi, yakni mencapai 80,6% (hasil identifikasi awal melalui peta citra). Pola bangunan yang diterapkan adalah pola grid.

b. Kampung Kedung Cowek

Kampung Kedung Cowek adalah kampung di pinggiran kota Surabaya, /tepi pantai yang langsung berbatasan dengan laut. Terletak di Pesisir Timur Surabaya, Kecamatan Bulak. Merupakan permukiman organik dengan perkembangan tidak teratur. Dan secara umum blok bangunannya tersusun secara linier terhadap laut, memanjang dari Timur-Barat. Pada kampung Kedung Cowek juga telah dilakukan penelitian tentang “kinerja penghawaan alami di sekitar bangunan permukiman nelayan” oleh Handayani (2011).

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan obyek yang diamati dalam sebuah penelitian. Pengamatan yang dilakukan terkait indikator penelitian yang ditinjau untuk melihat fenomena yang menjadi fokus penelitian. Variabel dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas, yakni kondisi geometri lingkungan, berupa pola blok bangunan, kepadatan bangunan dan orientasi blok bangunan pada kedua subyek penelitian, Kampung Peneleh (permukiman di tengah kota) dan Kampung Kedung Cowek (permukiman di pinggiran kota), di Surabaya. Sementara variabel terikat, yakni kondisi termal ruang luar pada kedua subyek penelitian, berupa: intensitas radiasi, kecepatan angin, temperatur udara, temperatur radian (T_{mrt}) dan kelembaban udara. Selanjutnya, kondisi termal ruang luar akan dinyatakan dalam indeks kenyamanan termal, yakni *Physiologically Equivalent Temperature (PET)*. Untuk komponen fisik lingkungan lainnya, yakni material tutupan permukaan tanah pada subyek penelitian, merupakan bagian dari elemen yang juga berpengaruh terhadap kondisi termal ruang luar yang tercipta. Namun, material tutupan permukaan tanah tidak

termasuk variabel yang diperhitungkan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, dalam proses analisa yang akan dilakukan kemudian, keberadaan material tutupan permukaan tanah akan dianggap konstan atau dalam hal ini berfungsi sebagai variabel kontrol.

Untuk menyamakan persepsi dalam memahami variabel dalam penelitian ini, maka perlu diuraikan definisi operasional variabel, seperti pada [Tabel 3.3](#) berikut.

Tabel 3.3 Definisi Operasional Variabel

1 Variabel Bebas (aspek desain pada subyek penelitian);			
Adalah kondisi geometri lingkungan (pola, kepadatan dan orientasi blok bangunan) pada subyek penelitian (Kampung Peneleh dan Kampung Kedung Cowek).			
Parameter	Pola		Tingkat keterhubungan blok terhadap ruang terbuka (taman/ sungai/ laut).
	Kepadatan dan atau ketinggian bangunan		(i) Perbandingan antara luas area tutupan bangunan dan luas area seluruhnya (luas area terbangun; dan (ii) Rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W)
	Orientasi blok bangunan		Orientasi blok bangunan atau jalan
Variabel Terikat: (aspek lingkungan pada subyek penelitian);			
Adalah kondisi termal ruang luar pada kedua subyek penelitian yang dipengaruhi oleh pola dan kepadatan bangunan, terjadi sebagai bentuk fenomena alam.			
Parameter	Intensitas Radiasi	Intensitas radiasi matahari yang dinyatakan dalam Watt/ m ²	
	Kecepatan angin (v)	Kondisi tingkat kecepatan udara yang dinyatakan dalam meter per detik (m/det)	
	Temperatur udara (Ta)	Kondisi temperatur lingkungan, dinyatakan dalam derajat selsius (°C)	
	Kelembaban udara (RH)	Kadar uap air dalam udara, dinyatakan dalam persen (%)	
	Temperatur radian (Tmrt)	Kondisi temperatur radian yang dinyatakan dalam derajat selsius (°C)	
	<i>Physiologically Equivalent Temperature (PET)</i>	Indeks kenyamanan untuk mengukur kenyamanan ruang luar	

3.5 Data dan Koleksi Data

Data-data dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi dua, yakni data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari: i) data fisik lingkungan subyek penelitian (jenis dan persentase material tutupan permukaan tanah, pola dan orientasi massa bangunan, dan kepadatan dan ketinggian bangunan); ii) data kondisi termal ruang luar subyek penelitian (temperatur udara, kelembaban udara, intensitas radiasi, arah dan kecepatan angin); dan iii) data-data hasil simulasi. Data primer dikumpulkan melalui studi pada subyek penelitian (observasi dan pengukuran lapangan), pengamatan citra satelit dan simulasi ataupun perhitungan tertentu yang dilakukan sendiri.

Data fisik lingkungan subyek penelitian, khususnya data material tutupan permukaan tanah, merupakan komponen fisik lingkungan subyek penelitian yang perlu diketahui, walaupun tidak termasuk variabel yang diperhitungkan dalam penelitian ini (sebagaimana telah diungkap sebelumnya). Hal ini dikarenakan material tutupan permukaan tanah merupakan salah satu komponen fisik lingkungan yang berpengaruh terhadap kondisi termal ruang luar yang terbentuk. Selain itu, data material tutupan permukaan tanah serta data fisik lingkungan lainnya (pola dan orientasi massa bangunan dan kepadatan dan ketinggian bangunan), dibutuhkan sebagai data input untuk keperluan pemodelan. Sementara data primer lainnya, yakni data kondisi termal ruang luar subyek penelitian (hasil pengukuran lapangan) dan data-data hasil perhitungan manual kondisi iklim, dibutuhkan sebagai kontrol terhadap data hasil simulasi.

Sementara itu, data sekunder dalam penelitian ini yaitu data iklim tahunan lokasi penelitian, yakni data iklim Surabaya, dalam lima tahun terakhir. Data sekunder atau data iklim tahunan Surabaya dikumpulkan dari badan klimatologi (BMKG) setempat, dalam hal ini adalah BMKG Perak 1, Surabaya. Komponen data iklim lokasi penelitian (Surabaya), berupa: temperatur udara, kelembaban, intensitas radiasi, arah dan kecepatan angin, dan curah hujan. Kelengkapan data iklim lokasi penelitian dibutuhkan sebagai data input pada program ENVI-met, untuk selanjutnya dapat dilakukan proses simulasi. Data dan koleksi data selengkapnya ditunjukkan pada [Tabel 3.4](#).

Tabel 3.4 Data dan Koleksi Data

Kelompok Data	Koleksi Data	Kegunaan	Pengumpulan Data	Alat	Sumber
Primer	Data fisik lingkungan: jenis dan persentase material tutupan permukaan tanah, pola dan orientasi massa bangunan dan kepadatan dan ketinggian bangunan.	Sebagai data input untuk keperluan pemodelan dan simulasi	- Studi lapangan: pendataan, pengukuran langsung, dokumentasi; - Pengamatan citra satelit	Tabel isian data fisik lingkungan, meter, alat dokumentasi, komputer	Observasi lapangan Pengamatan citra satelit
	Data kondisi termal ruang luar hasil pengukuran, data per jam selama 3 hari (3x24 jam): temperatur udara, kelembaban udara, intensitas radiasi, arah dan kecepatan angin.	Data kontrol hasil simulasi (data verifikasi)	Pengukuran lapangan. Pengukuran dilakukan pada bulan-bulan terpanas (September-Oktober)	Digital termometer/ data logger (HOBO), solar power meter, digital anemometer	Pengukuran lapangan
	Data kondisi termal ruang luar hasil simulasi: MRT, temperatur udara, kecepatan angin dan kelembaban udara, intensitas radiasi	Sebagai data prediksi kondisi termal lingkungan	Simulasi	ENVI-met 3.1	Analisa peneliti
Sekunder	Data 5 tahun terakhir Surabaya (suhu, kelembaban, radiasi, arah dan kecepatan angin dan curah hujan)	Sebagai data input untuk keperluan simulasi	Penelusuran ke BMKG	Surat izin survei	BMKG

3.6 Detail Pengukuran Lapangan

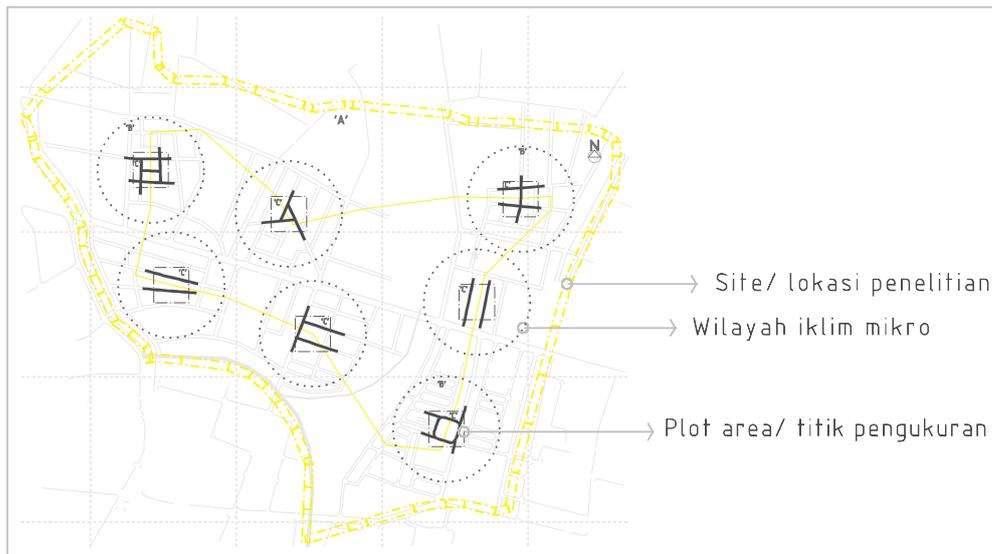
3.6.1 Waktu Pengukuran

Pada kondisi iklim tropis lembab, permasalahan iklim yang terjadi adalah temperatur maksimum, kelembaban tinggi, tetapi kecepatan angin relatif rendah (Koenigsberger dkk, 1973; Lippsmeier, 1980; Heerwagen, 2004; Frick dkk, 2008). Khususnya pada daerah perkotaan (di daerah tropis panas lembab), permasalahan iklim ini akan dirasakan sepanjang hari (siang dan malam) dikarenakan fenomena *urban heat island (UHI)* (Oke, 1987). Demikian halnya permasalahan iklim yang terjadi di Surabaya (lokasi penelitian ini), yang merupakan salah satu kota besar di Indonesia.

Dalam penelitian ini, akan melihat sejauh mana pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar, pada subyek penelitian, khususnya pada hari-hari terpanas, yang cenderung tidak nyaman dan dapat menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan energi pendinginan (untuk mendapatkan kenyamanan). Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan pada bulan-bulan terpanas (untuk wilayah Surabaya) yakni bulan September-Oktober (data iklim BMKG Perak 1, Surabaya, 2010-2014). Pengukuran lapangan atau pengamatan kondisi termal ruang luar pada subyek penelitian akan dilakukan secara temporer, selama tiga hari penuh (3x24 jam). Pengamatan cara temporer seperti ini telah dilakukan dalam beberapa penelitian sejenis sebelumnya, diantaranya dalam penelitian yang dilakukan oleh Kruger dkk, (2011), Taleghani dkk, (2015) dan Hedquist and Brazel, (2014).

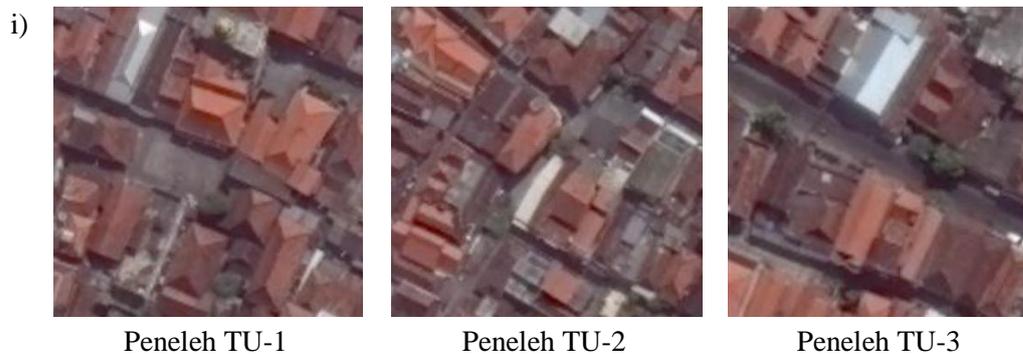
3.6.2 Titik Pengukuran

Titik pengukuran dalam penelitian ini adalah plot area (dengan luasan 60x60m) dimana pengukuran akan dilakukan. Penentuan titik pengukuran, didasarkan pada pembagian skala iklim mikro (Boutet, 1987; Allard, 1998; Oke, 2004) dan keragaman karakter fisik subek (pola dan kepadatan bangunan pada subyek penelitian). Dengan pertimbangan tersebut, maka sejumlah titik pengukuran yang dipilih, akan dapat menggambarkan karakter lokasi/ subyek secara keseluruhan, serta dapat memenuhi kebutuhan untuk mencapai tujuan penelitian ini. Sementara untuk penentuan plot area atau luasan titik pengukuran, didasari oleh Taleghani dkk (2015), yang mengungkapkan bahwa terhadap dua fisik lingkungan dengan luas area yang berbeda namun memiliki karakter fisik lingkungan yang sama serta keduanya berada dalam satu lingkup area, maka akan cenderung memiliki karakter iklim yang relatif sama. Dengan demikian, maka kondisi termal (iklim mikro) setiap plot area (titik pengukuran) akan relatif sama dengan kondisi iklim mikro (dalam radius 100m) dari masing-masing titik pengukuran. Berdasarkan hal tersebut, maka juga berarti bahwa rata-rata kondisi termal dari sejumlah titik pengukuran merupakan gambaran kondisi termal dari lokasi atau subyek dalam penelitian ini. Ilustrasi lokasi penelitian, iklim mikro dan plot area/ titik pengukuran ditunjukkan pada [Gambar 3.2](#) berikut ini.

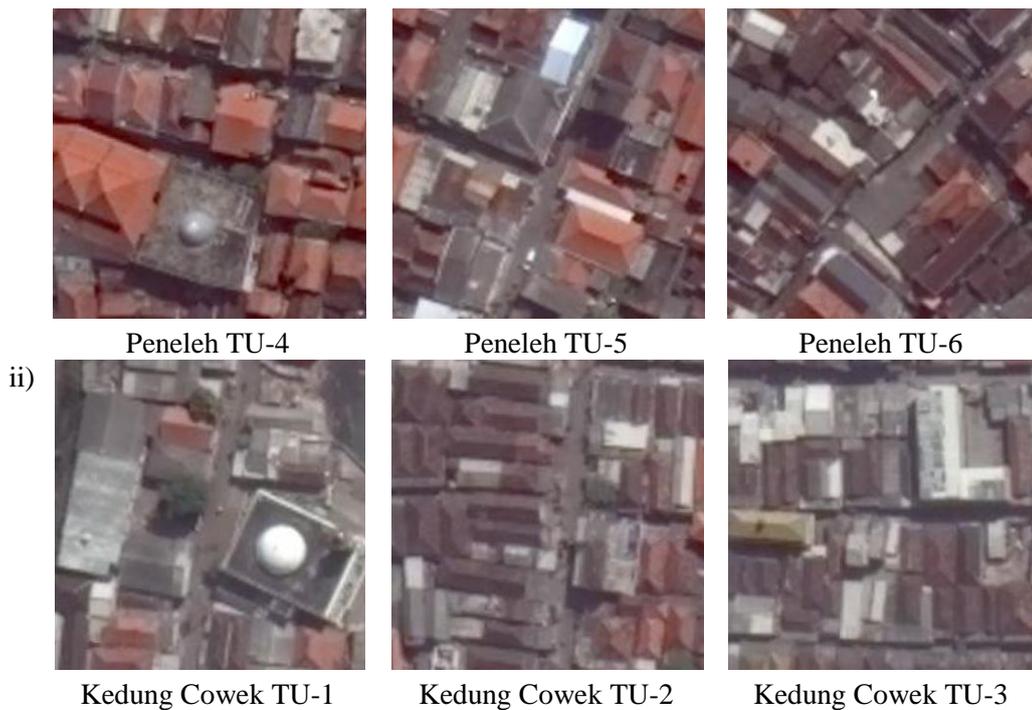


Gambar 3.2 Ilustrasi: (i) Site/ Lokasi Penelitian ('A'); (ii) Wilayah Iklim Mikro ('B'); dan (iii) Plot Area/ Titik Pengukuran ('C').

Berdasarkan sejumlah pertimbangan tersebut di atas, maka didapatkan jumlah plot area/ titik ukur dalam penelitian ini, yakni sebanyak sembilan titik ukur, dari kedua subyek penelitian ini. Dari sembilan titik ukur tersebut, enam titik ukur diantaranya pada permukiman di tengah kota (Kampung Peneleh) dan tiga titik ukur lainnya pada permukiman di pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek). Posisi titik-titik pengukuran pada masing-masing subyek penelitian, permukiman di tengah kota (Kampung Peneleh) dan permukiman di pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), ditunjukkan pada [Lampiran B1-2](#). Sementara gambaran kondisi titik-titik pengukuran pada kedua subyek ditunjukkan pada [Gambar 3.3](#).



Gambar 3.3 Gambaran Kondisi Titik Pengukuran (60x60m) pada Dua Subyek Penelitian, (i) Permukiman di Tengah Kota (Kampung Peneleh) dan (ii) Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek) (Peta Citra Satelit, 2015)



Gambar 3.3 Lanjutan Gambaran Kondisi Titik Pengukuran (60x60m) pada Dua Subyek Penelitian, (i) Permukiman di Tengah Kota (Kampung Peneleh) dan (ii) Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek) (Peta Citra Satelit, 2015)

Berdasarkan [Lampiran B1-2](#) dan [Gambar 3.3](#), kondisi fisik titik-titik pengukuran dapat digambarkan (sebagai identifikasi awal), berupa: pola dan orientasi massa bangunan/ blok bangunan (sesuai pola/ orientasi jalan), dan kepadatan dan ketinggian bangunan. Untuk pola bangunan secara umum, pada permukiman di tengah kota (Kampung Peneleh) menerapkan pola grid, sementara pada permukiman di pinggiran kota menerapkan pola linier. Namun, untuk pola blok bangunan/ jalan, khususnya titik-titik pengukuran terhadap keberadaan ruang terbuka (taman/ sungai/ laut) pada kedua subyek, dapat diidentifikasi beberapa pola yang terbentuk, yakni: Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua dan Bersebelahan dengan Satu Ruang Terbuka (BB+H2RTBs) (Kasus: Peneleh TU-5, Kedung Cowek TU-1), Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua Ruang Terbuka (BB+H2RT) (Peneleh TU-3 dan Kedung Cowek TU-2), Blok Bangunan yang Terhubung dan Bersebelahan dengan Ruang Terbuka (BB+H2RT) (Kedung Cowek TU-3), Blok Bangunan yang Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB+HRT) (Peneleh TU-2 dan Peneleh TU-4), Blok Bangunan Bersebelahan tetapi tidak Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB+BsRT-H) (Peneleh TU-6),

dan Blok Bangunan yang Tidak Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB-HRT) (Peneleh TU-1). Untuk orientasi blok bangunan, terdiri dari dua orientasi yakni Utara-Selatan dan Timur-Barat. Untuk ketinggian dan kepadatan bangunan, pada permukiman di tengah kota (Kampung Peneleh) terdiri dari bangunan rumah tinggal 1-3 lantai, dengan kepadatan bangunan 65.1-80.6%. Sementara pada permukiman di pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), berupa bangunan rumah tinggal 1-2 lantai, dengan kepadatan bangunan yang relatif lebih rendah dibanding dengan kepadatan bangunan di tengah kota, yakni 61.0-68.6%. Selanjutnya, kondisi fisik lingkungan titik-titik pengukuran pada kedua subyek penelitian ini, akan diuraikan secara rinci pada bab selanjutnya (kondisi fisik lingkungan subyek penelitian hasil observasi lanjut).

3.7 Rancangan Eksperimen

Telah diungkap sebelumnya bahwa untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini, akan dilakukan langkah eksperimen yakni melalui pemodelan menggunakan program komputer (simulasi), dengan menggunakan program ENVI-met 3.1. Pemodelan akan dilakukan dalam dua tahap, yakni pemodelan tahap awal, berdasarkan kondisi eksisting pada subyek penelitian; dan pemodelan tahap kedua, pemodelan dengan memberi perlakuan (*treatment*) terhadap kondisi eksisting. Selanjutnya, terhadap kedua model akan dilakukan simulasi untuk mendapatkan kondisi termal ruang luar dari kedua model. Dalam hal ini, kondisi termal yang dihasilkan (hasil simulasi) adalah merupakan gambaran kondisi termal yang dipengaruhi oleh kondisi fisik lingkungan berdasarkan desain fisik dari masing- masing model.

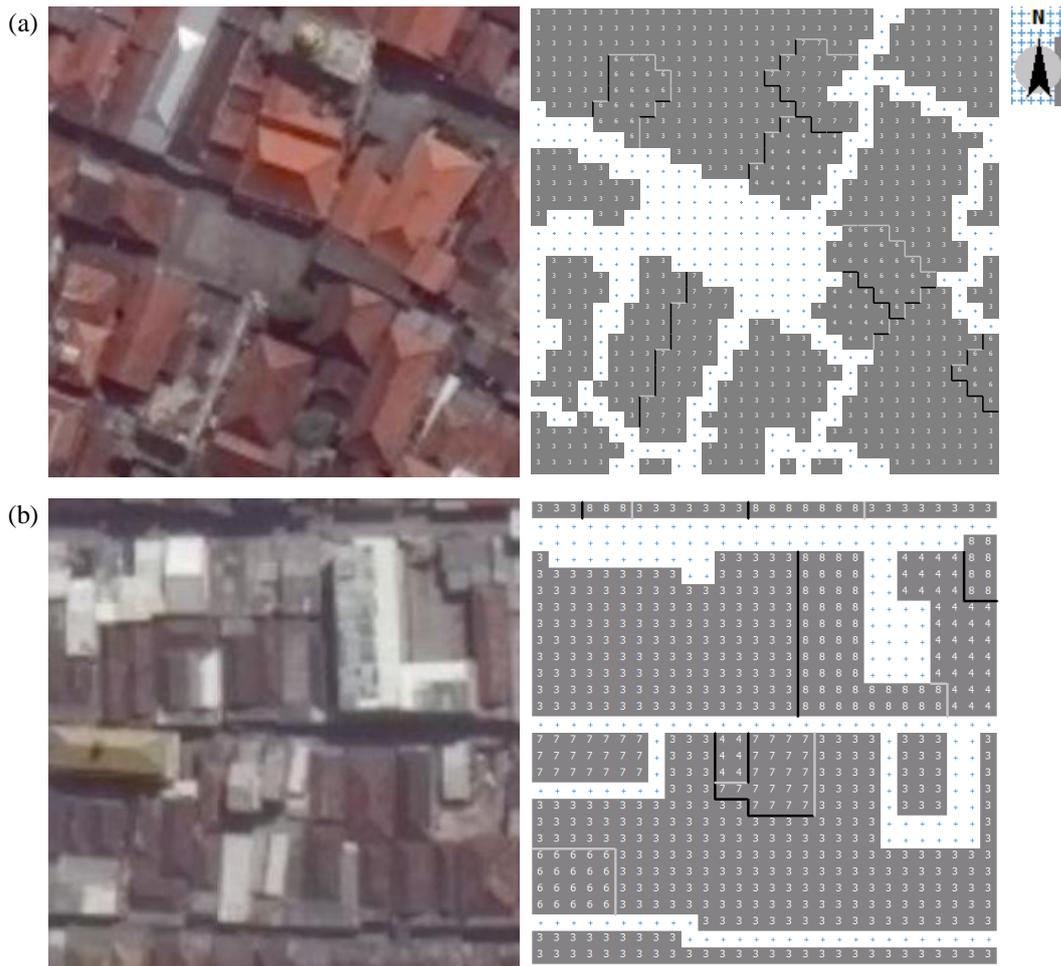
1) Pemodelan tahap awal (model eksisting)

Pemodelan tahap awal (model eksisting) bertujuan untuk mendapatkan gambaran kondisi termal ruang luar (hasil simulasi) subyek penelitian berdasarkan input data eksisting subyek. Dalam hal ini, data eksisting subyek berupa data fisik lingkungan pada subyek, meliputi: data material tutupan permukaan (jenis dan proporsi) dan data geometri blok bangunan/ jalan (pola, orientasi, dan ketinggian bangunan) ([Gambar 3.4](#)). Dalam pembuatan model ini, juga dibutuhkan untuk

melakukan penginputan data lokasi subyek penelitian, berupa: posisi *latitude* dan *longitude*, jumlah dan besar grid model (Lampiran C). Selanjutnya, akan dilakukan proses simulasi dalam hal ini adalah simulasi tahap awal. Untuk dapat melakukan proses simulasi, dibutuhkan penginputan data-data, berupa: data utama (nama *file input* dan *output*, waktu memulai dan total durasi simulasi, data iklim lokasi (makro)), data permukaan (soil data), dan data bangunan (Lampiran D). Tahap pemodelan dan simulasi eksisting, secara jelas diuraikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Tahapan Pemodelan dan Simulasi

Tahapan	Rancangan	Hasil
I) Permodelan tahap awal	<ul style="list-style-type: none"> • Input data lokasi (Surabaya) • Membuat model sesuai kondisi fisik eksisting pada subyek penelitian; jenis dan proporsi material tutupan permukaan tanah dan bentuk geometri massa bangunan/ jalan. 	<p>Data lokasi ter-input</p> <p>Model eksisting</p>
II) Simulasi tahap awal	<ul style="list-style-type: none"> • Input data iklim; Data iklim tahunan Surabaya (data Dari BMKG Surabaya) • Simulasi berdasarkan model eksisting 	<p>Data iklim ter-input</p> <p>Kondisi termal lingkungan/ ruang luar yang dipengaruhi oleh variabel fisik lingkungan hasil simulasi (hasil harus sama atau mendekati data hasil pengukuran). Tahap ini untuk kebutuhan verifikasi sebelum lanjut ke tahap simulasi berikutnya.</p>
III) Permodelan tahap lanjut	<ul style="list-style-type: none"> • Membuat model dengan perlakuan (eksperimen): model pola dengan ketinggian (bangunan) tertentu (sebagai <i>base-case</i>). Selanjutnya merubah ketinggian dan kepadatan bangunan (area tutupan bangunan) dari kondisi <i>base-case</i>. (Tabel 3.7) 	<p>Model hasil perlakuan (eksperimen)</p>
IV) Simulasi tahap lanjut	<ul style="list-style-type: none"> • Simulasi berdasarkan hasil perlakuan: <ul style="list-style-type: none"> ○ Simulasi pola dan atau orientasi terhadap kondisi termal ruang luar ○ Simulasi kepadatan dan atau ketinggian bangunan terhadap kondisi termal ruang luar 	<p>Kondisi termal yang dipengaruhi oleh pola dan atau orientasi bangunan</p> <p>Kondisi termal yang dipengaruhi oleh kepadatan dan atau ketinggian bangunan</p>

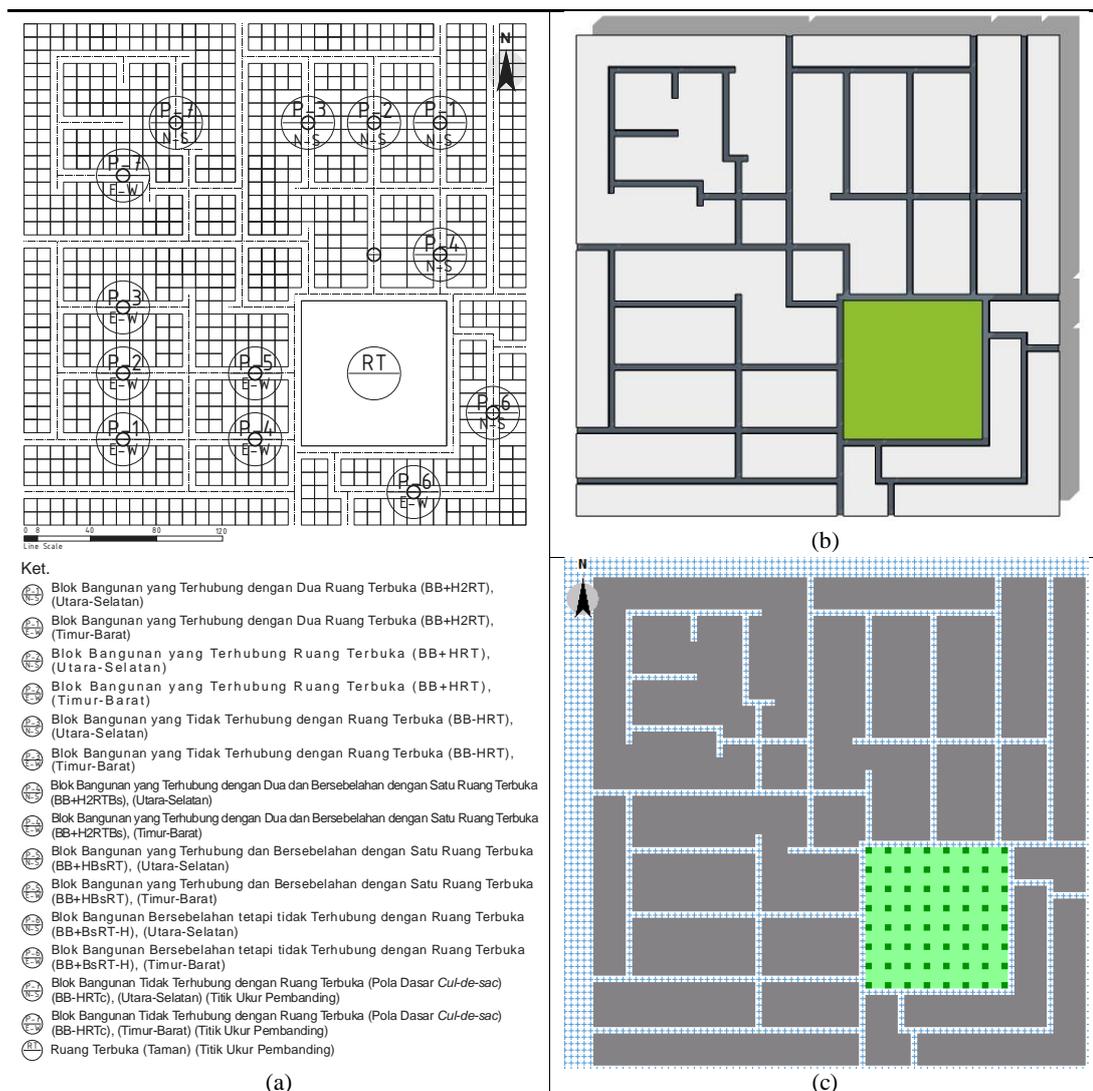


Gambar 3.4 Model berdasarkan Kondisi Eksisting Subyek (Model Eksisting), (a) Peneleh TU-1 (Titik ukur pada Permukiman di Tengah Kota) dan (b) Kedung Cowek TU-3 (Titik ukur pada Permukiman di Pinggiran Kota (Pemodelan pada Program ENVI-met 3.1, 2015)

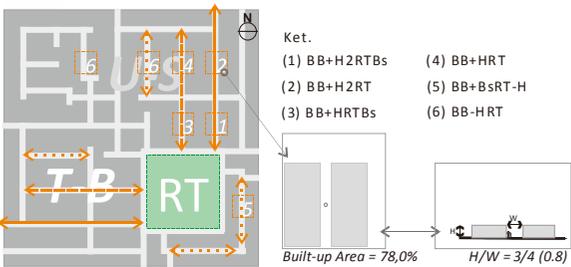
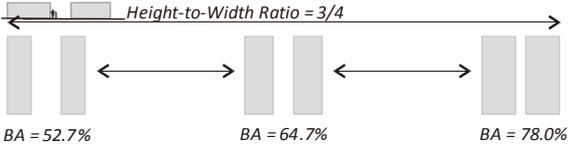
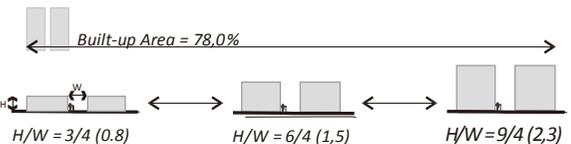
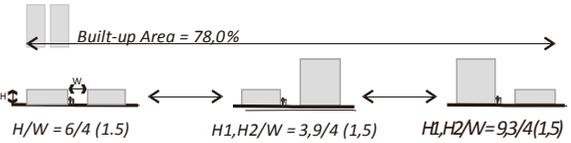
2) Pemodelan tahap lanjut (model eksperimen)

Pemodelan tahap lanjut (model eksperimen) yakni pemodelan dengan memberi perlakuan (*treatment*) terhadap kondisi eksisting. Secara umum, tahapan pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari masing- masing variabel desain (pola blok bangunan, kepadatan bangunan dan orientasi blok bangunan) terhadap variabel lingkungan (kondisi dan kenyamanan termal ruang luar) pada penelitian ini. Dalam hal ini, unsur- unsur perlakuan (bentuk dan nilai perubahan) variabel desain, didasarkan pada kondisi geometri subyek penelitian, permukiman tengah dan pinggiran kota, Surabaya. Dengan hal tersebut, rancangan eksperimen

dalam penelitian ini akan dilakukan dalam empat tahap eksperimen, yakni: I) perlakuan pada pola blok bangunan, II) perlakuan pada luas area terbangun (pertambahan kepadatan bangunan) III) perlakuan pada rasio tinggi bangunan-lebar jalan (perubahan kondisi rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan) dan IV) perlakuan pada orientasi blok bangunan. Dalam hal ini, orientasi blok bangunan terdiri dari dua orientasi blok (Utara- Selatan dan Timur- Barat), pada lima tingkat kepadatan yang berbeda (berdasarkan model eksperimen II dan III). Secara rinci, model pola blok bangunan hasil eksperimen, ditunjukkan pada Gambar 3.5. Sementara, keseluruhan rancangan eksperimen, ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Model Pola Eksperimen: (a) Model 2D, Pola dan Posisi Titik- titik Ukur dan (b) Model 3D, (c) Model pada Program ENVI-met 3.1

Tahapan Eksperimen	Tujuan	Model Eksperimen	Keterangan
I. Perlakuan terhadap pola blok bangunan (<i>blocks pattern, BP</i>)	Untuk menguji pengaruh pola blok bangunan (tingkat keterhubungan blok bangunan terhadap ruang terbuka)		Pada orientasi Utara-Selatan dan Timur-Barat
II. Perlakuan terhadap luas area terbangun (<i>built-up area, BA</i>)	Untuk menguji pengaruh pertambahan kepadatan bangunan		Pada orientasi Utara-Selatan dan Timur-Barat
III. Perlakuan terhadap rasio tinggi bangunan terhadap luas jalan (<i>height-to-width ratio, H/W</i>)	Untuk menguji pengaruh rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan		Pada orientasi: Utara-Selatan dan Timur-Barat
<ul style="list-style-type: none"> - Blok dengan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W) berbeda - Blok dengan tinggi sisi berbeda (H1,H2) namun dengan H/W sama 	Untuk menguji kondisi rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan		Pada orientasi: Utara-Selatan dan Timur-Barat
IV. Perlakuan terhadap orientasi blok bangunan (<i>blocks orientation, BO</i>)	Untuk menguji pengaruh orientasi blok bangunan pada tingkat kepadatan bangunan yang berbeda- beda.		Pada lima tingkat kepadatan bangunan (berdasarkan Eksp. II dan III)

Gambar 3.6 Rancangan Eksperimen

3.8 Analisis Data

Dalam upaya menjawab pertanyaan penelitian ini, yaitu bagaimana pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar pada permukiman tengah dan pinggiran kota di Surabaya, analisis data dalam penelitian ini akan dilakukan dalam tiga tahap, yakni: (i) analisis data- data hasil pengukuran lapangan, (ii) analisis data- data hasil simulasi (berdasarkan model eksisting) dan (iii) analisis data- data hasil eksperimen. Tahap analisis data secara lengkap, diuraikan pada [Tabel 3.6](#), berikut ini.

Tabel 3.6 Tahap Analisis Data

Tujuan Analisis Data		Melihat kecenderungan/ hubungan antara pola dan kepadatan bangunan (variabel desain) dengan kondisi termal ruang luar (variabel lingkungan) pada subyek permukiman perkotaan, Surabaya	Mengetahui bagaimana pola dan kepadatan bangunan berpengaruh terhadap kondisi (termasuk kenyamanan) termal ruang luar pada subyek permukiman perkotaan, Surabaya	Mengetahui seberapa besar pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi (termasuk kenyamanan) termal ruang luar pada subyek permukiman perkotaan, Surabaya
Tahapan Analisis Data				
I	Analisis data- data hasil pengukuran lapangan	✓		
II	Analisis data- data hasil simulasi (berdasarkan model eksisting)	✓ (□)	✓	
III	Analisis data- data hasil eksperimen	✓ (□)	✓ (□)	✓

Ket.

(*) Mengkonfirmasi hasil dari tahap analisis sebelumnya

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menguraikan data- data dalam penelitian ini, data yang didapatkan dari hasil observasi/ pengukuran langsung pada subyek penelitian, data hasil simulasi dan data hasil penelusuran ke badan klimatologi. Selain itu, juga akan diuraikan analisis/ pembahasan dari setiap data- data tersebut. Pada bagian awal, akan diuraikan profil dan analisis iklim Surabaya. Selanjutnya akan diuraikan tentang kondisi fisik lingkungan subyek penelitian ini, yang kemudian akan dilanjutkan dengan penggambaran dan analisis kondisi termal ruang luar subyek penelitian hasil pengukuran lapangan. Pada bagian akhir, akan diuraikan analisis pengaruh kondisi fisik lingkungan subyek penelitian terhadap kondisi termal ruang luarnya. Pada bagian akhir ini, analisis akan dilakukan berdasarkan data hasil simulasi (eksperimen). Hasil dari analisis ini merupakan jawaban atas pertanyaan penelitian sekaligus sebagai hasil akhir dari penelitian ini.

4.1 Profil Iklim Surabaya

Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia. Secara geografis, kota Surabaya berada pada 07°09'00"- 07°21'00"LS dan 112°36'-112°54' BT, terletak di tepi Pantai Utara propinsi Jawa Timur. Surabaya berada pada dataran rendah dengan ketinggian daratan antara 3-6m di atas permukaan laut, kecuali di bagian selatan terdapat bukit dengan ketinggian antara 25-50m di atas permukaan laut dan di bagian barat sedikit bergelombang (http://id.wikipedia.org/wiki/Kota_Surabaya).

Berdasarkan posisi garis lintang (*latitude*) dan ketinggian daratan (*altitude*) Surabaya, dapat diketahui bahwa Surabaya dipengaruhi iklim tropis panas lembab, khususnya iklim dataran rendah. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik iklim di Surabaya relatif sama dengan karakteristik iklim tropis panas lembab pada umumnya, ataupun iklim di kota-kota lain (yang berada pada dataran rendah) di Indonesia, yakni: intensitas radiasi matahari yang relatif kuat, temperatur udara yang relatif panas, kelembaban udara yang relatif

tinggi, dan kecepatan angin relatif rendah. Kondisi iklim Surabaya dalam lima tahun terakhir (2010-2014) secara rinci, ditunjukkan pada [Tabel 4.1](#) berikut.

Tabel 4.1 Kondisi Iklim Surabaya dalam Lima Tahun Terakhir

Bulan	Temperatur Udara (°C)			Kelembaban Udara (%)			Arah dan Kec Angin (m/s)		Lama Penyinaran (%)	Intensitas Radiasi Matahari (Watt/ m ²)	Curah Hujan (mm)
	Mak	Min	Rata-rata	Mak	Min	Rata-rata	Arah	Kec Rata-rata			
Jan	34.5	23.1	27.5	87	52	82	270	3.3	45	910	438
Peb	34.8	23.3	28.0	88	50	81	322	3.4	54	958	356
Mar	34.9	23.4	28.3	88	49	80	223	3.3	63	1035	398
Apr	35.0	24.0	28.7	88	47	80	240	2.9	57	957	277
Mei	34.9	24.0	29.0	88	46	77	130	3.2	65	1019	203
Jun	34.7	22.7	28.6	86	44	74	100	3.2	71	988	74
Jul	34.0	21.6	28.2	83	39	71	110	3.5	81	1001	41
Aug	34.6	21.4	28.3	80	37	67	100	4.0	91	1137	25
Sep	35.5	22.6	28.7	81	36	66	110	3.7	91	1183	143
Okt	36.8	23.2	29.8	82	35	66	100	3.8	86	1144	76
Nop	36.4	24.0	29.4	85	36	74	300	3.1	64	1033	119
Des	32.9	24.5	28.1	89	47	81	274	2.8	44	862	407
Rerata	34.9	23.1	28.6	85	43	75	190	3.3	68	1019	213.0

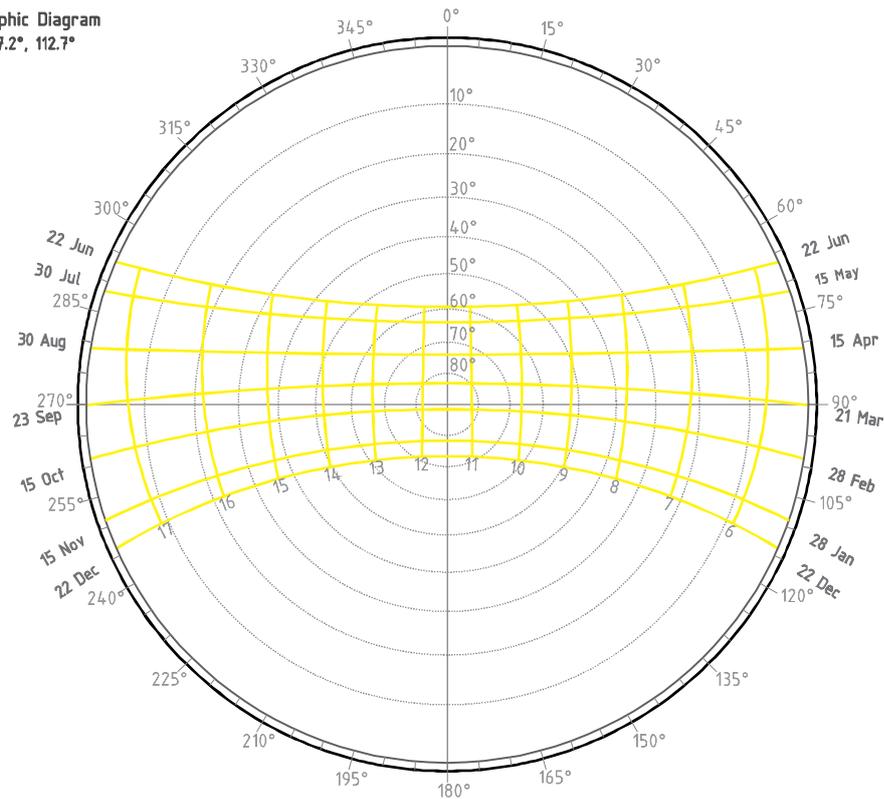
Sumber: BMKG Perak 1, Tahun 2010-2014

1) Intensitas radiasi matahari

Berdasarkan [Tabel 4.1](#), diketahui bahwa intensitas radiasi matahari di Surabaya dalam lima tahun terakhir (2010-2014) adalah berkisar 862-1183 Watt/m², atau rata-rata sekitar 1019 Watt/m². Intensitas radiasi matahari tiga bulan tertinggi terjadi pada bulan Agustus, September dan Oktober, dengan intensitas maksimum terjadi pada bulan September (1183 Watt/m²). Sementara itu, intensitas radiasi matahari tiga bulan terendah terjadi pada bulan Desember, Januari dan Pebruari, dengan intensitas minimum terjadi pada bulan Desember (862 Watt/m²).

Secara umum, nilai intensitas radiasi matahari tersebut (minimum-maksimum) menunjukkan nilai yang relatif tinggi atau mencapai nilai intensitas radiasi maksimum untuk daerah tropis khususnya di daerah dataran rendah (± 1000 Watt/m²). Tingginya nilai intensitas radiasi tersebut dapat dikarenakan letak wilayah Surabaya berada di sekitar garis khatulistiwa (7.2 LS), sehingga sudut jatuh sinar matahari (pada wilayah Surabaya) relatif tegak lurus selama sepanjang tahun ([Gambar 4.1](#)). Hal ini, sebagaimana dinyatakan dalam

Stereographic Diagram
Location: -7.2°, 112.7°



Gambar 4. 1 Diagram Jalur Matahari Surabaya (*Latitude: 7.2 LS*) (Hasil Olah Kembali dari Program Ecotect, 2015)

Koenigsberger dkk (1973), bahwa besar-kecilnya radiasi yang diterima oleh suatu permukaan (bumi), sangat dipengaruhi oleh sudut jatuh sinar matahari pada suatu permukaan tersebut atau terhadap sudut normal (**Gambar 2.11**). Sementara itu, adanya perbedaan intensitas radiasi diantara bulan-bulan di sepanjang tahun (minimum-maksimum), lebih disebabkan oleh perbedaan kondisi langit diantara bulan-bulan tersebut. Hal ini sebagaimana dijelaskan oleh Frick dkk (2008) tentang pengaruh kondisi langit atau kondisi cuaca terhadap kondisi intensitas radiasi matahari. Hal ini juga dapat diamati pada **Tabel 4.1**, intensitas radiasi matahari pada tiga bulan tertinggi (Agustus, September dan Oktober), memiliki kondisi langit yang relatif cerah atau lama penyinaran relatif tinggi, yakni berkisar 86-91%. Sementara intensitas radiasi matahari tiga bulan terendah (Desember, Januari dan Pebruari), menunjukkan kondisi langit yang relatif lebih bervariasi (cerah-mendung), dengan lama penyinaran relatif lebih rendah, yakni berkisar 44-54%.

2) Curah hujan

Sebagaimana terlihat pada [Tabel 4.1](#), curah hujan bulanan di Surabaya dalam lima tahun terakhir (2010-2014), berkisar 25-438 mm atau rata-rata sekitar 213 mm. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari (438 mm) dan terendah pada bulan Agustus (25 mm). Kondisi curah ini, bila dibandingkan dengan kondisi intensitas radiasi matahari, maka diketahui bahwa kondisi keduanya adalah saling berbanding terbalik. Curah hujan tertinggi terjadi pada saat intensitas radiasi matahari rendah (minimum), sebaliknya curah hujan terendah terjadi pada saat intensitas radiasi matahari tinggi (maksimum). Grafik curah hujan dan intensitas radiasi matahari di Surabaya dalam lima tahun terakhir ditunjukkan pada [Gambar 4.2](#).

3) Arah dan kecepatan angin

Dari [Tabel 4.1](#) dapat diketahui bahwa arah angin dominan yang mempengaruhi wilayah Surabaya ialah dari arah Timur (arah laut/ Pantai Utara, $\pm 90^\circ$). Angin dari arah ini umumnya terjadi pada bulan-bulan panas (musim panas/ grafik intensitas radiasi matahari cenderung meningkat, pada bulan Mei-Oktober). Angin dari arah ini bertiup dengan kecepatan rata-rata bulanan sekitar 6-8 Knot atau 3.2-4.0 m/d. Sebagian waktu lainnya, yaitu pada bulan-bulan dingin (musim dingin/ grafik intensitas radiasi matahari cenderung menurun atau grafik curah hujan meningkat, pada bulan Nopember-April), angin bertiup dari arah Barat (daratan, $\pm 270^\circ$), dengan kecepatan rata-rata yang relatif lebih rendah dibanding dengan kecepatan angin pada bulan-bulan panas, yakni sekitar 5-7 Knot atau 2.8-3.5 m/d.

Perbedaan kecepatan angin antara kedua waktu, musim panas dan musim dingin, dapat disebabkan oleh perbedaan intensitas radiasi matahari dari kedua waktu tersebut dan perbedaan karakter permukaan dari kedua sumber angin (laut dan daratan). Hal ini sebagaimana diungkap oleh Lechner (2007), bahwa intensitas radiasi matahari dan kapasitas panas suatu permukaan (penerima) akan menentukan derajat temperatur yang tercipta di sekitar permukaan tersebut, selanjutnya akan berpengaruh pada arah dan kecepatan angin. Pada wilayah

Surabaya, diketahui bahwa pada musim panas, angin bertiup dari arah Timur (laut/ Pantai Utara), dengan kecepatan yang relatif tinggi (6-8 Knot atau 3.2-4.0 m/d). Tingginya intensitas radiasi matahari (selama musim ini) dan perbedaan kapasitas panas antara air laut dan daratan (kapasitas panas air laut sekitar 2-3 kali lebih besar dari kapasitas panas daratan), menyebabkan perbedaan temperatur antara kedua permukaan relatif tinggi, temperatur air laut jauh lebih dingin dibanding daratan, selama siang hari. Akibatnya, angin bertiup dari arah laut ke daratan dengan kecepatan yang relatif tinggi. Sementara itu, pada musim dingin, angin bertiup dari arah sebaliknya, yakni dari arah Barat (darat) ke Timur (laut), dengan kecepatan yang relatif lebih rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh intensitas radiasi matahari yang relatif rendah (selama musim dingin) ataupun curah hujan yang relatif tinggi, sehingga peningkatan panas pada permukaan (daratan dan air laut) relatif kecil. Di sisi lain, oleh karena kapasitas panas daratan relatif kecil dibanding dengan kapasitas panas air laut, sehingga proses pendinginan di darat relatif lebih cepat dibanding di laut. Berdasarkan kedua hal tersebut, sehingga angin bertiup dari darat ke laut dengan kecepatan yang relatif rendah. Grafik arah dan kecepatan angin di Surabaya dalam lima tahun terakhir ditunjukkan pada [Gambar 4.2](#).

4) Temperatur udara

Kondisi temperatur udara di Surabaya dalam lima tahun terakhir (2010-2014) seperti ditunjukkan pada [Tabel 4.1](#) adalah berkisar 21.4-36.8°C, atau rata-rata bulanan, sekitar 27.5-29.8°C, atau rata-rata lima tahunan, sekitar 28.6°C. Temperatur udara rata-rata bulanan minimum terjadi pada bulan Januari (27.5°C), dalam hal ini sebagai bulan terdingin. Sementara temperatur udara rata-rata bulanan maksimum terjadi pada bulan Oktober (29.8°C), sebagai bulan terpanas. Temperatur udara minimum terjadi pada saat intensitas radiasi matahari terendah atau curah hujan tertinggi. Sebaliknya, temperatur udara maksimum terjadi pada saat intensitas radiasi matahari tertinggi atau curah hujan terendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur udara sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan curah hujan. Temperatur udara berbanding lurus dengan intensitas

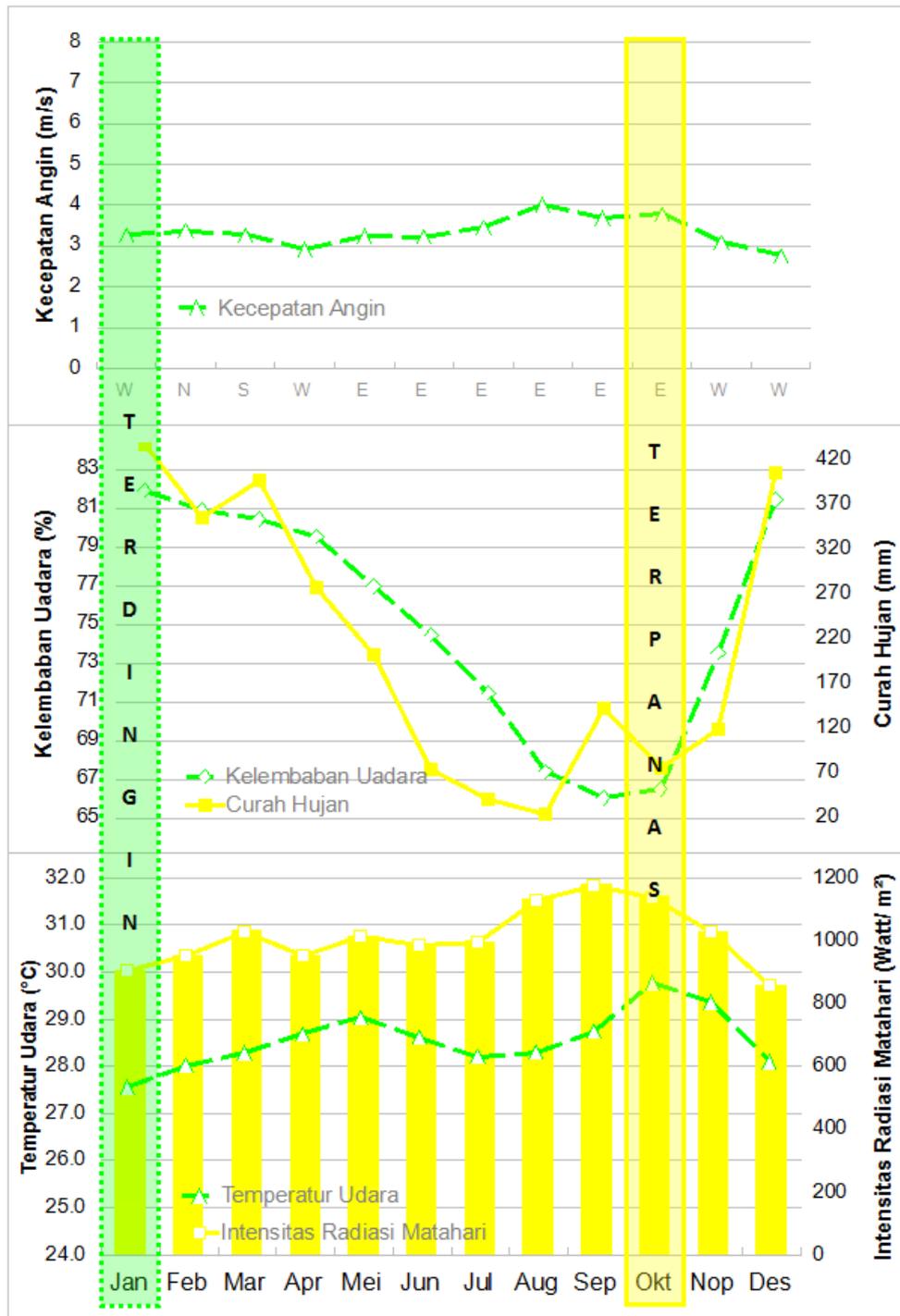
radiasi matahari, sebaliknya berbanding terbalik dengan curah hujan. Grafik temperatur udara, intensitas radiasi matahari dan curah hujan di Surabaya dalam lima tahun terakhir (2010-2014), ditunjukkan pada [Gambar 4.2](#).

5) Kelembaban udara

Kondisi kelembaban udara rata-rata di Surabaya dalam lima tahun terakhir (2010-2014) seperti terlihat pada [Tabel 4.1](#) adalah berkisar 66-82%. Kelembaban udara tertinggi terjadi pada bulan Januari (82%) dan terendah pada bulan September dan Oktober (66%). Kebalikan dengan kondisi temperatur udara, kelembaban udara tertinggi terjadi pada saat curah hujan tinggi atau intensitas radiasi matahari rendah, sebaliknya kelembaban udara terendah terjadi pada saat curah hujan relatif rendah atau intensitas radiasi matahari relatif tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi kelembaban udara sangat dipengaruhi oleh curah hujan dan intensitas radiasi matahari. Kelembaban udara berbanding lurus dengan curah hujan, dan berbanding terbalik dengan intensitas radiasi matahari. Selain curah hujan dan intensitas radiasi matahari, faktor lain yang juga berpengaruh terhadap kondisi kelembaban adalah kecepatan angin. Seperti dapat dicermati pada [Tabel 4.1](#), bahwa secara umum peningkatan kecepatan angin diikuti dengan penurunan tingkat kelembaban udara. Sebaliknya, penurunan tingkat kecepatan angin disertai peningkatan tingkat kelembaban udara. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi kelembaban udara juga dipengaruhi oleh kondisi kecepatan angin (ditunjukkan pada [Gambar 4.2](#)).

Berdasarkan kajian iklim tersebut di atas (seperti dirangkum pada [Gambar 4.2](#)), bahwa pada wilayah Surabaya, periode musim panas terjadi pada bulan Mei-Oktober, dengan puncak terpanas pada Oktober. Periode musim panas ditandai dengan tingginya intensitas radiasi matahari atau rendahnya intensitas curah hujan rata-rata bulanan, yang menyebabkan tingginya derajat temperatur udara dan kecepatan angin, tetapi kelembaban udara relatif rendah. Sementara itu, periode musim dingin terjadi pada bulan Nopember-April, dengan puncak terdingin pada bulan Januari. Kebalikan dari periode musim panas, periode musim

dingin ditandai dengan tingginya intensitas curah hujan atau rendahnya intensitas radiasi matahari rata-rata bulanan, mengakibatkan kelembaban udara relatif tinggi, sementara temperatur udara dan kecepatan angin relatif rendah.



Gambar 4. 2 Profil Iklim Surabaya dalam Kurun Waktu Lima Tahun Terakhir (BMKG Perak 1, Tahun 2010-2014)

Dari hasil kajian iklim makro lokasi (Surabaya) dan dengan pertimbangan tujuan penelitian ini, yakni “untuk mengetahui sejauh mana pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar, pada subyek penelitian, khususnya pada hari- hari terpanas (kondisi hari yang cenderung tidak nyaman dan dapat meningkatkan penggunaan energi pendinginan untuk mendapatkan kenyamanan),” selanjutnya sebagai dasar dalam penentuan waktu penelitian, dalam penelitian ini, maka waktu penelitian ini ditentukan yakni sekitar bulan September-Oktober, merupakan bulan- bulan terpanas untuk wilayah Surabaya.

4.2 Kondisi Pola dan Kepadatan Bangunan Permukiman Perkotaan di Surabaya

Berikut ini akan digambarkan kondisi pola dan kepadatan bangunan (geometri lingkungan) permukiman perkotaan di Surabaya. Dalam hal ini, akan digambarkan berdasarkan kondisi geometri lingkungan pada kedua subyek penelitian ini, yakni permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) dan pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), di Surabaya.

Data kondisi geometri lingkungan dari kedua subyek, Kampung Peneleh dan Kampung Kedung Cowek telah dikumpulkan melalui dua teknik pengumpulan data, yakni observasi lapangan dan pengamatan citra satelit. Proses pengumpulan data melalui kedua langkah tersebut, telah dilakukan secara bertahap, pada bulan Oktober-Nopember, Tahun 2015. Tahap pertama yakni observasi lapangan, dalam hal ini merupakan observasi lapangan tahap lanjut (lanjutan dari observasi/ pengamatan awal yang telah dilakukan sebelumnya, pada Januari 2015). Observasi lapangan (tahap lanjut) ini bertujuan untuk mendapatkan data kondisi geometri lingkungan subyek penelitian secara mendetail, berupa: pola blok bangunan (pola jalan), orientasi blok (sesuai orientasi), luas area tutupan bangunan, dan geometri jalan/ canyon (rasio antara ketinggian bangunan dan lebar jalan, H/W). Tahap selanjutnya adalah pengamatan citra satelit, dalam hal ini juga merupakan pengamatan citra satelit tahap lanjut, bertujuan untuk melakukan perhitungan/ kalkulasi luasan (persentase) area tutupan bangunan dan setiap jenis material tutupan permukaan tanah (selain bangunan) pada kedua subyek

penelitian ini. Kondisi geometri lingkungan dari kedua subyek penelitian ini, akan diuraikan secara rinci berikut ini.

4.2.1 Pola dan Kepadatan Bangunan Permukiman di Tengah Kota

Gambaran kondisi pola dan kepadatan bangunan atau geometri lingkungan permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, telah dijelaskan sebelumnya berdasarkan hasil pengamatan awal. Dalam pembahasan ini, kondisi geometri lingkungan permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, akan dijelaskan secara lebih rinci berdasarkan hasil observasi lanjut dan pengamatan citra satelit yang telah dilakukan pada Oktober-Nopember, 2015.

Berdasarkan hasil observasi lanjut dan pengamatan citra satelit (pada Oktober-Nopember 2015), dapat dijelaskan kondisi geometri lingkungan permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, berupa: pola dan orientasi blok bangunan, luas area terbangun dan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (*canyon*, H/W). Pola massa bangunan, sebagaimana telah dijelaskan dalam hasil pengamatan awal, bahwa pola massa bangunan yang diterapkan pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) di Surabaya, secara umum adalah pola grid. Namun, untuk pola bangunan pada titik ukur terhadap ruang terbuka (ditunjukkan pada [Lampiran B-1](#)), diidentifikasi sejumlah pola yang terbentuk, yakni: Blok Bangunan yang Tidak Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB-HRT), pada Peneleh TU-1; Blok Bangunan yang Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB+HRT), pada Peneleh TU-2 dan Peneleh TU-4; Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua Ruang Terbuka (BB+H2RT), pada Peneleh TU-3; Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua dan Bersebelahan dengan Satu Ruang Terbuka (BB+H2RTBs), pada Peneleh TU-5; dan Blok Bangunan Bersebelahan tetapi tidak Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB+BsRT-H), pada Peneleh TU-6. Untuk orientasi blok bangunan, dari sejumlah pola yang terbentuk, terdiri dari empat orientasi yakni Utara-Selatan dan Timur-Barat dan Timur Laut-Barat Daya dan atau Tenggara-Barat Laut. Untuk luas area tutupan bangunan, yakni sekitar 65.1-80.6%. Sementara untuk ketinggian bangunan, yakni terdiri dari bangunan rumah tinggal 1-3 lantai, dengan rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (*canyon*, H/W) adalah sekitar 0.3-1.3 ([Tabel 4.2](#) dan [Gambar 4.3](#)).



Gambar 4.3 Gambaran Kondisi Geometri Lingkungan dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

Tabel 4.2 Deskripsi Kondisi Geometri Lingkungan dari Enam Titik Ukur Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

	Titik Ukur	Pola Blok Bangunan	Orientasi Blok Bangunan	Geometri Jalan (H/W)	Luas Area Tutupan Bangunan (%)
Peneleh TU-1	Blok rumah tinggal 1-2 lantai	Blok Bangunan yang Tidak Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB-HRT)	Timur-Barat	0.3	69.6
Peneleh TU-2	Blok rumah tinggal 1-2 lantai	Blok Bangunan yang Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB+HRT)	Timur Laut-Barat Daya	0.8	71.2
Peneleh TU-3	Blok rumah tinggal 1-3 lantai	Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua Ruang Terbuka (BB+H2RT)	Tenggara-Barat Laut	0.3	65.1
Peneleh TU-4	Blok rumah tinggal 1-2 lantai	Blok Bangunan yang Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB+HRT)	Timur-Barat	1.3	77.0
Peneleh TU-5	Blok rumah tinggal 1-3 lantai	Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua dan Bersebelahan dengan Satu Ruang Terbuka (BB+H2RTBs)	Timur Laut-Barat Daya	0.7	74.0
Peneleh TU-6	Blok rumah tinggal 1-2 lantai	Blok Bangunan Bersebelahan tetapi tidak Terhubung dengan Ruang Terbuka (BB+BsRT-H)	Timur Laut-Barat Daya	0.6	80.6

4.2.2 Pola dan Kepadatan Bangunan Permukiman di Pinggiran Kota

Data kondisi geometri lingkungan permukiman pinggiran kota Surabaya (Kampung Kedung Cowek) berikut ini, merupakan data hasil observasi lapangan dan pengamatan citra satelit (pada Oktober-Nopember, 2015). Data kondisi

geometri lingkungan permukiman pinggiran kota Surabaya, berupa: pola dan orientasi blok bangunan, geometri jalan (H/W), dan luas area tutupan bangunan, seperti ditunjukkan pada [Tabel 4.3](#) dan [Gambar 4.4](#), berikut ini.

Tabel 4.3 Deskripsi Kondisi Geometri Lingkungan dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.

	Titik Ukur	Pola Blok Bangunan	Orientasi Blok Bangunan	Geometri Jalan (H/W)	Luas Area Tutupan Bangunan (%)	
K. Cowek	TU-1	Blok rumah tinggal 1-2 lantai	Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua dan Bersebelahan dengan Satu Ruang Terbuka (BB+H2RTBs)	Utara-Selatan	0.4	61.0
	TU-2	Blok rumah tinggal 1-2 lantai	Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua Ruang Terbuka (BB+H2RT)	Utara-Selatan	0.6	68.6
	TU-3	Blok rumah tinggal 1-2 lantai	Blok Bangunan yang Terhubung dan Bersebelahan dengan Ruang Terbuka (BB+HRTBs)	Timur-Barat	2.1	65.3

Berdasarkan [Tabel 4.3](#), dapat diketahui kondisi geometri lingkungan permukiman pinggiran kota, Kampung Kedung Cowek, Surabaya. Diketahui, kondisi geometri lingkungan berupa pola massa bangunan secara umum adalah pola linier. Hal tersebut sebagaimana juga telah diungkap pada hasil pengamatan awal (Lampiran B-2). Namun, khususnya untuk pola bangunan pada titik ukur (blok bangunan) terhadap ruang terbuka, diidentifikasi dua pola blok bangunan, yakni: Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua Ruang Terbuka (BB+H2RT), pada kasus K. Cowek TU-2; Blok Bangunan yang Terhubung dengan Dua dan Bersebelahan dengan Satu Ruang Terbuka (BB+H2RTBs), pada kasus K. Cowek TU-1, dan Blok Bangunan yang Terhubung dan Bersebelahan dengan Ruang Terbuka (BB+HRTBs) pada kasus K. Cowek TU-3. Untuk orientasi blok

bangunan, terdiri dari dua orientasi yakni Utara-Selatan dan Timur-Barat. Untuk ketinggian bangunan, terdiri dari bangunan rumah tinggal 1-2 lantai, dengan rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (*canyon*, H/W) adalah sekitar 0.4-2.1. Sementara untuk kepadatan bangunan, yakni sekitar 61.0-68.6%.



Gambar 4.4 Gambaran Kondisi Geometri Lingkungan dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.

Dari gambaran kondisi geometri lingkungan (pola dan kepadatan bangunan) dari kedua subyek, permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) dan permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, dapat disimpulkan beberapa hal, sebagai berikut.

- Dari gambaran pola dan kepadatan bangunan dari kedua subyek, menunjukkan bahwa tingkatan pola dan kondisi kepadatan bangunan permukiman tengah kota relatif lebih tinggi dibanding dengan permukiman pinggiran kota.

- Pola blok bangunan, sebagai gambaran tingkatan akses ruang atau tingkat pencapaian lingkungan (blok bangunan) terhadap ruang terbuka, menunjukkan tingkat pencapaian lingkungan pada permukiman di tengah kota relatif lebih kompleks dibanding di pinggiran kota.
- Tingkat kepadatan bangunan (di kota) sekaligus sebagai gambaran area di luar bangunan yakni jalan, menunjukkan luas area jalan pada permukiman di tengah kota relatif lebih sempit (panjang dan lebar jalan) dibanding pada permukiman di pinggiran kota.
- Selanjutnya, kondisi geometri lingkungan (pola dan kepadatan bangunan) dari kedua subyek, permukiman tengah kota dan pinggiran kota, akan ikut berpengaruh terhadap kondisi termal ruang luar dari masing-masing subyek. Hal demikian itu sebagaimana telah diungkap dari penelitian-penelitian terdahulu, diantaranya oleh Oke (1973), Eliasson (1996), Arnfield (2003), dan Antaryama (2002).

4.3 Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan di Surabaya

Sebagaimana dalam penggambaran kondisi geometri lingkungan permukiman perkotaan (sub bab 4.2), dalam penggambaran kondisi termal ruang luar permukiman perkotaan di Surabaya, dalam sub pembahasan ini, juga akan digambarkan berdasarkan kondisi (termal) yang diukur pada kedua subyek penelitian ini, Kampung Peneleh (permukiman tengah kota) dan Kampung Kedung Cowek (permukiman pinggiran kota), di Surabaya.

Berdasarkan hasil kajian sebelumnya (pada kajian pustaka), dinyatakan oleh Oke (1973), Oke (1981), Oke (1987), Eliasson (1996), Arnfield (2003), Rose dkk (2011), Kruger dkk (2011), Xi dkk (2012), Hedquist dan Brazel (2014), dan Taleghani dkk (2015), bahwa desain fisik suatu lingkungan sangat berpengaruh terhadap kondisi termal lingkungannya. Hal ini dapat dipahami bahwa kondisi termal yang tercipta di suatu lingkungan, merupakan gambaran dari kondisi fisik lingkungan tersebut. Oleh karena hal tersebut, maka dalam pembahasan ini, kondisi termal ruang luar dari kedua subyek penelitian ini, Kampung Peneleh dan Kampung Kedung Cowek, akan dikaitkan dengan kondisi geometri lingkungan dari masing-masing subyek.

Kondisi termal ruang luar dalam pembahasan ini, akan dilihat pada dua kondisi waktu, siang dan malam hari. Kondisi siang hari terutama pada puncak siang hari, saat temperatur udara mencapai kondisi maksimum dan atau tingkat kenyamanan relatif rendah. Hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Lippsmeier (1980), bahwa panas atau termperatur tertinggi terjadi pada puncak siang hari (1-2 jam) setelah tengah hari, dikarenakan panas radiasi langsung ditambahkan dengan temperatur udara yang sudah relatif tinggi. Sementara, kondisi malam hari terutama pada awal malam hari, dimana temperatur kota tetap tinggi atau relatif lebih tinggi dibanding temperatur daerah di sekitar kota. Hal ini sebagaimana dijelaskan oleh Oke (1987), bahwa puncak perbedaan derajat temperatur udara antara di pusat kota dan daerah di sekitarnya (intensitas UHI maksimum) terjadi pada malam hari, sekitar 3-5 jam setelah matahari terbenam.

Pengumpulan data kondisi termal ruang luar (meliputi empat variabel iklim: intensitas radiasi matahari, temperatur udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin) dari kedua subyek penelitian ini (Kampung Peneleh dan Kampung Kedung Cowek), telah dilakukan melalui pengukuran langsung (pada kedua subyek), pada bulan Nopember 2015. Waktu pengukuran berlangsung selama enam hari untuk kedua subyek, pada masing-masing subyek dilakukan selama tiga hari (3x24 jam). Pengukuran pertama, dilakukan pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), yakni pada 9-12 Nopember 2015. Selama pengukuran berlangsung, kondisi langit terjadi dalam tiga kondisi, yakni cerah dengan sedikit berawan (karakter langit di daerah tropis), mendung dan hujan rintik (terjadi dalam beberapa jam, pada hari pertama dan kedua). Selanjutnya, pengukuran kedua, dilakukan pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), yakni dilakukan pada 18-21 Nopember 2015. Kondisi langit selama pengukuran pada subyek ini, relatif cerah dengan sedikit berawan.

Kondisi termal ruang luar hasil pengukuran (pada kedua subyek), khususnya intensitas radiasi matahari, menunjukkan nilai intensitas yang relatif tinggi, yakni mencapai 925 dan 942 W/m², untuk masing-masing subyek permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) dan permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek). Namun, dengan adanya kondisi langit mendung/hujan rintik saat proses pengukuran berlangsung (khususnya terjadi pada

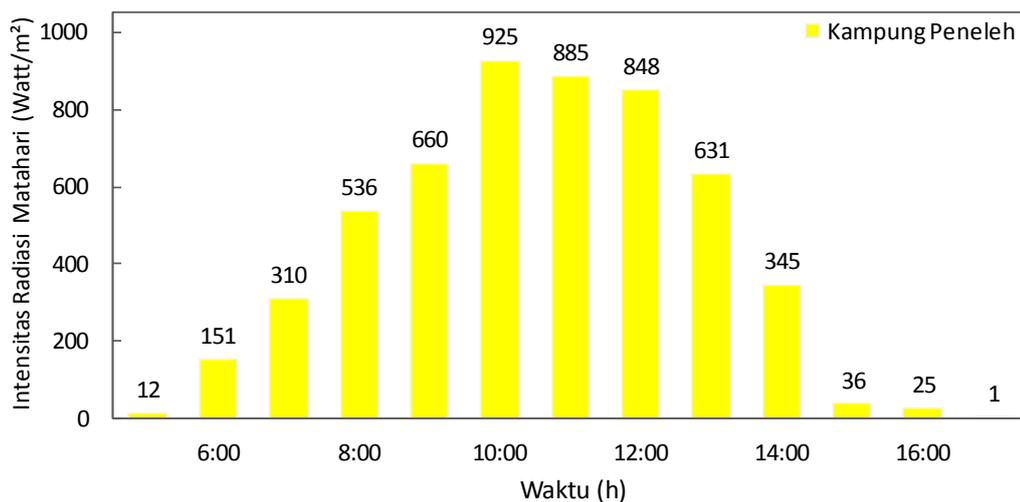
permukiman di tengah kota, terjadi dalam waktu \pm 1-2 jam, pada hari pertama pengukuran), akibatnya terdapat beberapa data (meliputi semua jenis variabel iklim yang diukur) yang menunjukkan nilai yang tidak wajar (memiliki grafik fluktuasi yang berbeda dengan grafik fluktuasi data- data hasil pengukuran pada kondisi hari cerah). Hal ini dapat berpengaruh terhadap hasil penelitian ini, yakni dalam hal melihat hubungan antara kedua variabel dalam penelitian ini, antara geometri perkotaan (pola dan kepadatan bangunan) dan kondisi termal ruang luar yang terbentuk. Oleh karena itu, dilakukan seleksi terhadap data- data hasil pengukuran. Data- data yang selanjutnya digunakan untuk keperluan analisis data, hanyalah data- data hasil pengukuran pada kondisi hari cerah atau menunjukkan nilai yang dianggap wajar (lihat [Lampiran E](#)). Data- data kondisi termal ruang luar hasil pengukuran lapangan dan analisis data pada kedua subyek penelitian ini, Kampung Peneleh (permukiman di tengah kota, Surabaya) dan Kampung Kedung Cowek (permukiman di pinggiran kota, Surabaya), akan diuraikan secara rinci, berikut ini.

4.3.1 Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman di Tengah Kota

Pengukuran kondisi termal ruang luar pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya telah dilakukan pada 9-12 Nopember 2015. Pengukuran dilakukan pada enam titik ukur (lihat [Lampiran B-1](#)) dan terhadap empat variabel iklim, yakni: intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, temperatur udara, dan kelembaban udara. Data- data kondisi termal hasil pengukuran pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) secara rinci, ditunjukkan pada [Lampiran E](#).

a. Intensitas radiasi matahari

Intensitas radiasi matahari yang dimaksud dalam bahasan ini adalah intensitas radiasi matahari langsung (*direct short-wave radiation*). Pengukuran (intensitas radiasi matahari) telah dilakukan pada daerah terbuka. Hasil pengukuran sebagaimana pada [Lampiran E](#), selanjutnya dapat digambarkan, seperti pada [Gambar 4.5](#) berikut ini.



Gambar 4.5 Grafik Intensitas Radiasi Matahari pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

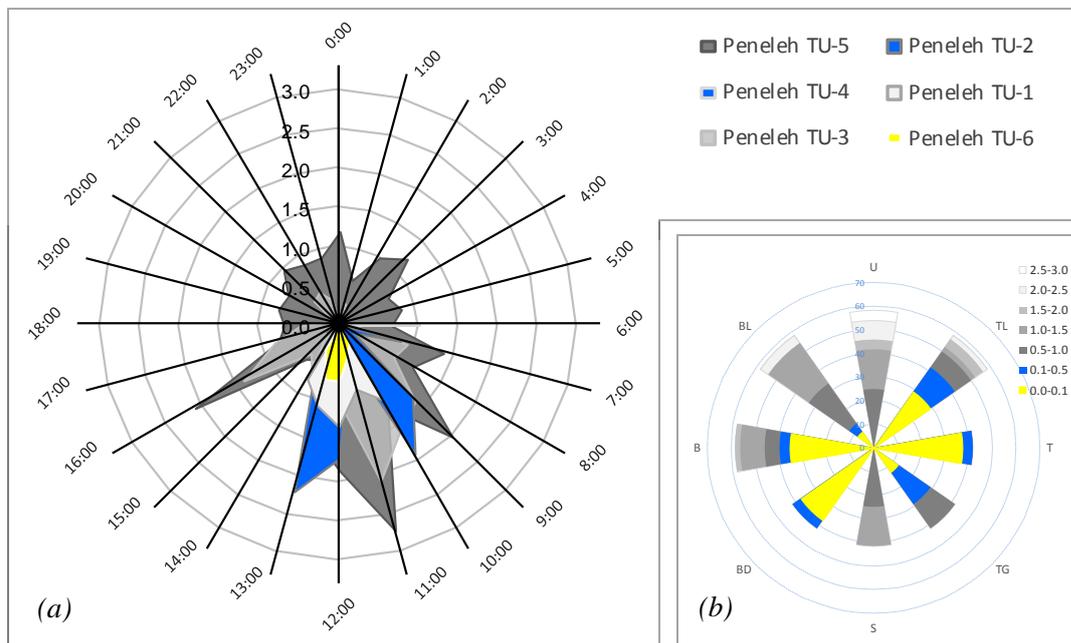
Terlihat pada [Gambar 4.5](#), intensitas radiasi matahari pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek) mulai dapat diukur pada pukul 05:00 (matahari terbit) hingga pukul 17:00 (matahari terbenam), atau durasi penyinaran matahari sekitar 13 jam. Besar intensitas radiasi matahari, mencapai 925 W/m² (terjadi pada pukul 10:00), dengan rata-rata, 413 W/m².

b. Kecepatan angin

Kondisi angin (arah dan kecepatan angin) pada subyek penelitian permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya dapat dilihat pada [Lampiran E](#). Diketahui, arah angin dominan yang mempengaruhi subyek adalah dari arah Utara-Selatan. Angin dari arah Utara (± 0) bertiup selama siang hari, dan dari arah Selatan ($\pm 180^\circ$) pada malam hari. Kondisi arah angin tersebut diketahui dari pengamatan yang dilakukan pada area terbuka (taman) dan dari kondisi kecepatan angin yang diukur pada titik-titik ukur.

Untuk kondisi kecepatan angin, diketahui kecepatan angin pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, berkisar 0,0-2,7 m/d, untuk kecepatan angin pada titik-titik ukur, atau 0,1-1,7 m/d (rata-rata: 0,4 m/d), untuk kecepatan angin rata-rata permukiman. Secara umum, rata-rata kecepatan angin pada pagi-sore hari (05:00-17:00) relatif lebih tinggi dibanding kecepatan angin pada sore-pagi hari (17:00-05:00). Rata-rata kecepatan angin pada pagi-sore

hari adalah 0,7 m/d, sedangkan pada sore-pagi hari, 0,2 m/d. Rata-rata kecepatan angin terendah terjadi pada pagi hari (04:00), sementara rata-rata kecepatan tertinggi terjadi pada siang hari (11:00-12:00). Gambaran kondisi arah dan kecepatan angin hasil pengukuran pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, ditunjukkan pada [Gambar 4.6](#) dan [4.7](#) berikut ini.



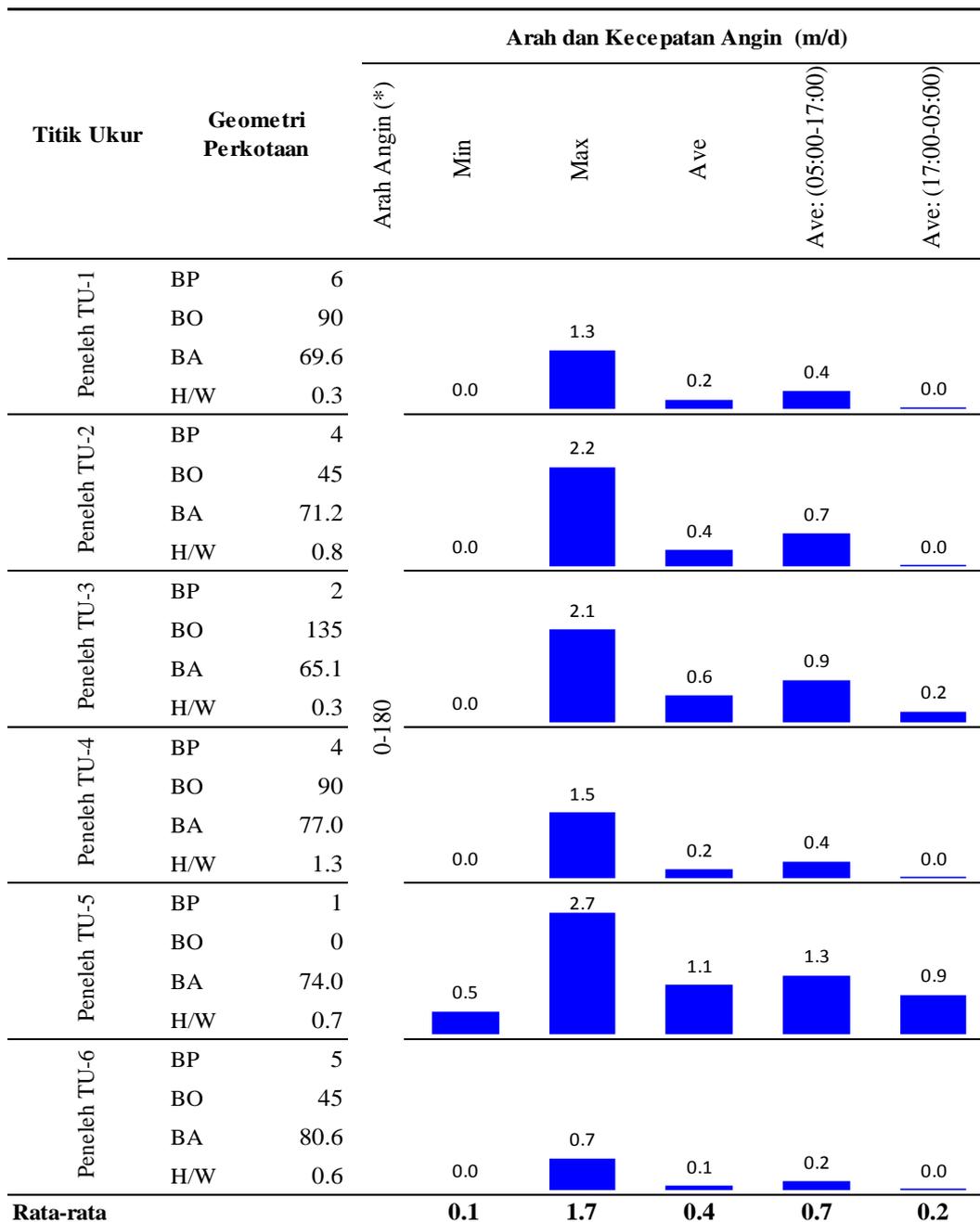
Gambar 4.6 Kondisi Kecepatan Angin dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya Menurut: (a) Waktu (Jam) dan (b) Arah Mata Angin (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

Terlihat pada [Gambar 4.6](#), kondisi kecepatan angin dari titik-titik ukur (enam titik-ukur) pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, relatif bervariasi, baik menurut waktu ([Gambar 4.6a](#)) maupun menurut arah angin ([Gambar 4.6b](#)). Variasi kecepatan angin terjadi dalam dua hal, kecenderungan (*trend*) dan tingkat kecepatan angin. Dalam hal kecenderungan yaitu berupa variasi kondisi kecepatan angin secara keseluruhan (sepanjang hari) dari keenam titik ukur. Dalam hal ini, terjadi dalam dua kondisi, yakni relatif stabil (umumnya memiliki kecepatan angin rata-rata $> 0,1$ m/d, terjadi selama sepanjang hari, atau memiliki kecepatan yang relatif sama dengan kecepatan angin pada daerah terbuka), dan relatif tidak stabil (terjadi kondisi teduh/ *calm*, kecepatan rata-rata angin $< 0,1$ m/d, terjadi dalam beberapa waktu/ jam pengukuran). Contoh, kondisi

kecepatan angin yang relatif stabil yakni pada Peneleh TU-5, titik ukur dengan orientasi Utara-Selatan. Sementara untuk kondisi angin yang relatif tidak stabil, terjadi pada lima titik ukur lainnya: Peneleh TU-1, Peneleh TU-2, Peneleh TU-3, Peneleh TU-4, dan Peneleh TU-6, yakni titik-titik ukur pada tiga orientasi lainnya, Timur Laut- Barat Daya, Timur- Barat dan Tenggara- Barat Laut.

Variasi kondisi kecepatan angin lainnya adalah variasi tingkat kecepatan angin, yakni variasi kecepatan angin yang terjadi diantara titik- titik ukur, pada waktu- waktu pengukuran, selama sepanjang hari. Misal, kondisi kecepatan angin titik-titik ukur pada kondisi puncak siang hari/ kecepatan angin maksimum (v_{max}), relatif bervariasi, yakni berkisar antara 0,7-2,7 m/d. Kecepatan angin maksimum terendah terjadi pada titik ukur Peneleh TU-6, sementara kecepatan angin maksimum tertinggi terjadi pada Peneleh TU-5. Pada kondisi waktu lainnya, yakni pada kondisi kecepatan angin rata-rata sepanjang hari (v_{ave} 00:00-23:00), kecepatan angin titik-titik ukur berkisar 0,1-1,1 m/d. Kecepatan angin rata-rata terendah dan tertinggi, masing-masing sama terjadi pada kedua titik ukur, Peneleh TU-6 dan Peneleh TU-5. Sementara, kecepatan angin rata-rata empat titik lainnya, juga relatif bervariasi, yakni sekitar 0.2-0.6 m/d.

Terkait kondisi kecepatan angin tersebut di atas, Oke (1987) dan Eliasson (1996) menjelaskan bahwa tingkat kerapatan bangunan (perbandingan antara tinggi bangunan dan lebar jalan/ *canyon*, H/W), berpengaruh terhadap tingkat aliran udara. Hal senada diungkap oleh Aini dkk (2013), bahwa pola, orientasi dan jarak bangunan pada suatu lingkungan akan berpengaruh pada pola distribusi aliran angin pada lingkungan tersebut. Hal lainnya, diungkap oleh Antaryama (2002), bahwa tingkat akses pencapaian suatu lingkungan, akan menentukan tingkat aliran udara pada lingkungan tersebut. Dengan demikian, maka kondisi kecepatan angin tersebut, dengan variasi kecepatan angin yang terjadi, baik dalam hal kecenderungan maupun tingkat kecepatan angin, adalah merupakan gambaran pengaruh dari geometri titik-titik ukur (pola dan kepadatan bangunan) dengan karakter pola dan kepadatan bangunan yang berbeda-beda. Kecenderungan antara pola dan kepadatan bangunan dan kondisi kecepatan angin dari enam titik ukur pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, akan diuraikan berikut ini, sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 4.8](#).



Cat:

(*) : Arah angin lokal (kota), diamati di area terbuka (di ketinggian pedestrian) dan kecepatan hasil pengukuran pada titik-titik ukur

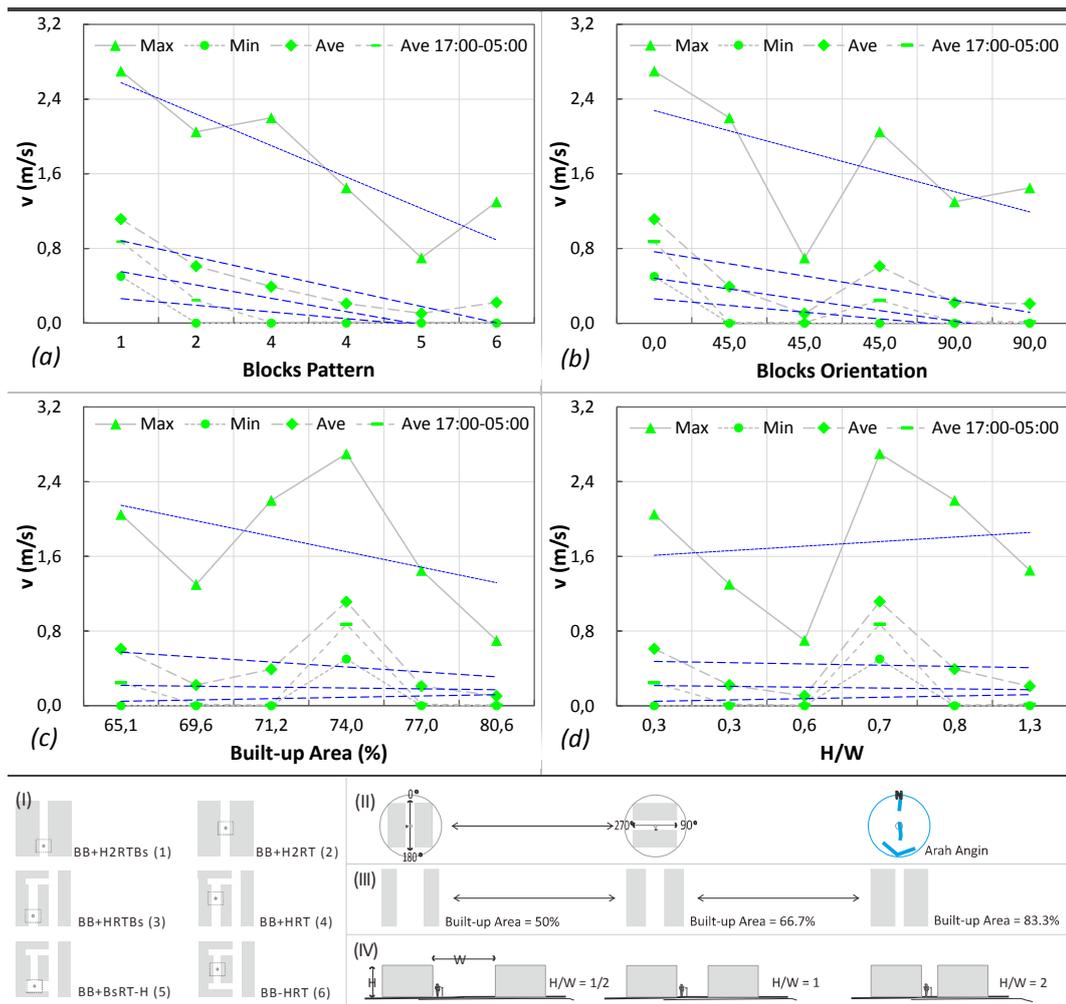
BP : Pola blok bangunan (*blocks pattern*): (1) BB+H2RTBs; (2) BB+H2RT; (3) BB+HBsRT; (4) BB+HRT; (5) BB+BsRT-H; (6) BB-HRT

BO : Orientasi blok bangunan (*blocks orientation*); Utara-Selatan (o), Timur-Barat (90)

BA : Persentase area terbangun (*built-up area*, %)

H/W : Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (*height-to-width ratio/canyon*)

Gambar 4.7 Kondisi Geometri Lingkungan dan Kecepatan Angin dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015)



Gambar 4.8 Kecenderungan antara Kondisi Kecepatan Angin dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

- Kecenderungan antara kecepatan angin dan pola blok bangunan ($v : BP$)

Dapat dilihat pada [Gambar 4.8a](#), kecepatan angin (*wind velocity*, v) cenderung menurun sejalan dengan pergeseran pola blok bangunan (*blocks pattern*, BP), dari pola 1 ke pola 6 atau dari blok bangunan yang memiliki tingkat keterhubungan lebih tinggi dengan ruang terbuka (akses tinggi) ke blok bangunan dengan tingkat keterhubungan yang lebih rendah dengan ruang terbuka (akses rendah), atau terjadi kecenderungan negatif diantara keduanya, terjadi sepanjang hari (siang dan malam). Dengan kata lain, blok bangunan dengan tingkat keterhubungan lebih tinggi dengan ruang terbuka, cenderung memiliki

kecepatan angin yang lebih tinggi (aliran udara yang lebih baik) dibanding dengan blok bangunan yang memiliki tingkat keterhubungan lebih rendah dengan ruang terbuka, atau sebaliknya.

Dari gambaran kecenderungan kedua variabel (pola blok bangunan dan kecepatan angin) di atas, menunjukkan bahwa ada hubungan yang jelas antara keduanya. Pola blok bangunan berpengaruh terhadap tingkat aliran udara lingkungan, terjadi sepanjang siang dan malam hari. Semakin tinggi tingkat keterhubungan blok bangunan terhadap ruang terbuka, maka akan semakin baik aliran udara pada lingkungan atau blok bangunan tersebut. Hubungan dari keduanya tersebut, mencerminkan kondisi yang diungkap oleh Antaryama (2002), bahwa tingkat akses pencapaian suatu lingkungan, berbanding lurus dengan tingkat aliran udara/ ventilasi alam pada lingkungan tersebut. Semakin tinggi tingkat akses suatu lingkungan, maka akan semakin tinggi pula tingkat aliran udara lingkungan tersebut.

- Kecenderungan antara kecepatan angin dan orientasi blok bangunan ($v : BO$)

Relatif sama dengan kecenderungan yang terjadi antara kecepatan angin dan pola blok bangunan, antara kecepatan angin (v) dan orientasi blok bangunan (*blocks orientation, BO*) ([Gambar 4.8b](#)), juga terjadi kecenderungan/ hubungan negatif, terjadi sepanjang hari, siang dan malam. Seperti terlihat pada gambar, kecepatan angin (pada blok bangunan) cenderung menurun dengan adanya pergeseran orientasi blok bangunan, dari Utara- Selatan (0° , blok bangunan sejajar dengan arah sumber angin) ke arah lainnya, Timur Laut- Barat Daya atau Barat Laut- Tenggara (45° , blok bangunan menyamping terhadap arah sumber angin), atau Timur- Barat (90° , blok bangunan tegak lurus dengan arah sumber angin). Dengan kata lain, blok bangunan yang berorientasi sejajar dengan arah sumber angin (Utara-Selatan), cenderung memiliki kecepatan angin yang relatif lebih tinggi dibanding dengan blok-blok bangunan yang menyamping (45°) terhadap arah sumber angin (Timur Laut- Barat Daya atau Barat Laut- Tenggara) dan atau tegak lurus (90°) dengan arah sumber angin (Timur- Barat).

Dengan kecenderungan yang terjadi antara kedua variabel, kecepatan angin dan orientasi blok bangunan, sebagaimana tersebut, menunjukkan bahwa orientasi blok bangunan relatif berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin

yang tercipta pada blok tersebut. Kecepatan angin pada blok-blok yang sejajar dengan arah sumber angin, akan cenderung lebih tinggi dibanding pada blok-blok yang menyamping atau tegak lurus terhadap arah sumber angin. Kondisi tersebut senada dengan hal yang diungkap oleh Hang dkk (2009), bahwa ruas jalan blok-blok bangunan yang paralel atau relatif sejajar (dengan sudut $0-15^\circ$) terhadap arah sumber angin, akan memiliki kecepatan angin yang relatif lebih tinggi (maksimum) dibanding pada blok-blok bangunan yang memiliki sudut lebih besar ($30-45^\circ$) terhadap arah sumber angin. Hal serupa juga diungkap oleh Asfour (2010), bahwa kecepatan rata-rata angin di sekitar blok bangunan, akan relatif lebih tinggi bila blok bangunan dan arah sumber angin relatif sejajar (membentuk sudut $\pm 0^\circ$) dibanding bila blok bangunan dan arah sumber angin saling menyamping dan atau tegak lurus (membentuk sudut $\geq 45-90^\circ$).

- Kecenderungan antara kecepatan angin dan luas area terbangun ($v : BA$)

Seperti ditunjukkan pada [Gambar 4.8c](#), antara kecepatan angin (v) dan luas area terbangun (*built-up area*, BA), terjadi kecenderungan berbanding terbalik (hubungan negatif). Kecepatan angin cenderung menurun dengan adanya penambahan persentase area terbangun. Kondisi tersebut terlihat pada kondisi waktu maksimum dan pada kondisi waktu sepanjang hari, siang-malam.

Gambaran kecenderungan yang terjadi antara kedua variabel di atas, antara luas area terbangun dan kecepatan angin (kecenderungan berbanding terbalik/ hubungan negatif) mencerminkan kondisi yang diungkap oleh Hang dan Li (2010). Dari keduanya, diungkap bahwa tingkat kepadatan bangunan terkait dengan luas area jalan (panjang dan lebar jalan) ataupun rasio tinggi bangunan-lebar jalan (*canyon*), berpengaruh terhadap tingkat aliran udara pada tingkat pedestrian (*pedestrian level*). Semakin besar luas area terbangun atau semakin kecil luas area jalan (panjang dan lebar jalan/ jalur angin), maka tingkat aliran udara pada ruas- ruas jalan akan semakin rendah (buruk), dan sebaliknya. Hal yang relatif sama juga diungkap oleh Aini dkk (2013), bahwa pengaturan jarak bangunan (antar blok bangunan) pada suatu lingkungan berpengaruh terhadap tingkat dan distribusi aliran udara pada lingkungan tersebut. Dengan demikian, dari kecenderungan kedua variabel (antara kecepatan angin dan luas area terbangun), dapat disimpulkan bahwa kondisi luas area terbangun relatif

berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin yang tercipta. Peningkatan persentase area terbangun akan berdampak pada penurunan kecepatan angin atau tingkat aliran udara. Namun, dari nilai intensitas hubungan dari keduanya, menunjukkan intensitas pengaruh luas area terbangun terhadap kecepatan angin, relatif tidak dominan.

- Kecenderungan antara kecepatan angin dan geometri jalan ($v : H/W$).

Dari [Gambar 4.8d](#), antara kecepatan angin (v) dan geometri jalan atau rasio antara ketinggian bangunan terhadap lebar jalan (*height-to-width ratio/canyon, H/W*), terlihat tidak ada kecenderungan yang jelas. Pada satu kondisi, terjadi penurunan kecepatan angin dengan adanya peningkatan nilai H/W . Namun, pada kondisi lainnya, peningkatan H/W juga diikuti dengan peningkatan nilai kecepatan angin (secara tajam). Terlihat pada gambar ([Gambar 4.8d](#)), pada kondisi maksimum ($v-max$), dengan peningkatan H/W , dari $H/W = 0.3$ ke $H/W = 0.6$, kecepatan angin menurun, dari 2.1 m/d menjadi 0.7 m/d. Demikian terjadi pada peningkatan $H/W = 0.7 - 0.8 - 1.3$, dengan nilai kecepatan angin dari masing-masing adalah 2.7 m/d, 2.2 m/d dan 1.5 m/d. Namun, pada kondisi lain, peningkatan $H/W = 0.6 - 0.7$, juga disertai dengan peningkatan nilai kecepatan angin, yakni masing-masing 0.7 m/d dan 2.7 m/d.

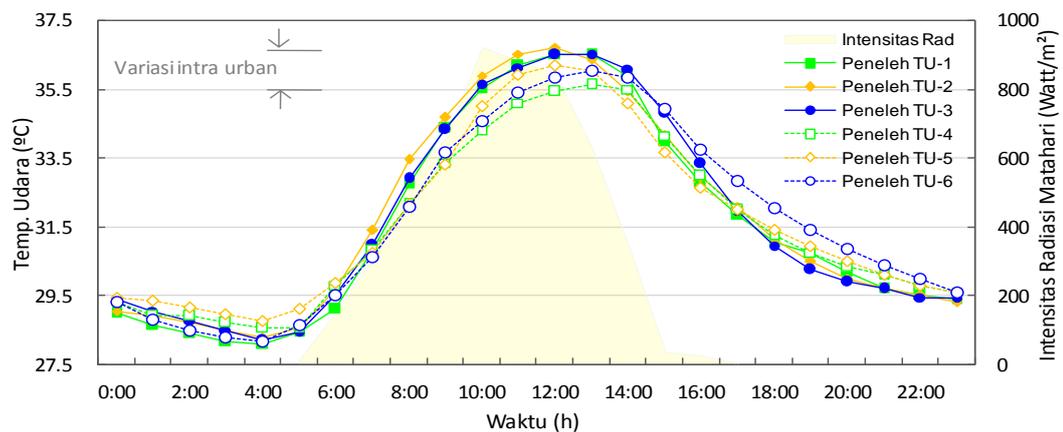
- Kesimpulan

Dari gambaran kecenderungan/ hubungan antara kecepatan angin dan elemen geometri lingkungan, pola dan kepadatan bangunan, dapat diketahui bahwa secara umum, kondisi geometri lingkungan (pola dan kepadatan bangunan) pada subyek permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), relatif berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin yang tercipta di lingkungan subyek. Diketahui, dua elemen geometri yang dominan berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin, yakni pola blok bangunan dan orientasi blok bangunan. Selanjutnya, sebagaimana diungkap oleh Eliasson (1996), Morris dan Simmonds (2001) dan Memon dkk (2010), bahwa tingkat aliran udara yang tercipta pada suatu lingkungan akan ikut berpengaruh pada tingkat pendinginan udara alami pada lingkungan tersebut. Semakin tinggi aliran udara, maka akan semakin besar derajat penurunan temperatur (temperatur udara semakin rendah), atau keduanya

saling berbanding terbalik. Dengan demikian, maka juga berarti bahwa geometri lingkungan, khususnya pola blok bangunan dan orientasi blok bangunan, melalui pengaruh dari keduanya terhadap kondisi kecepatan angin, akan ikut berpengaruh terhadap kondisi termal (temperatur udara) lingkungan/ ruang luar.

c. Temperatur udara

Berdasarkan data kondisi termal hasil pengukuran (Lampiran E), kondisi temperatur udara dari enam titik ukur pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, dapat digambarkan, sebagai berikut.



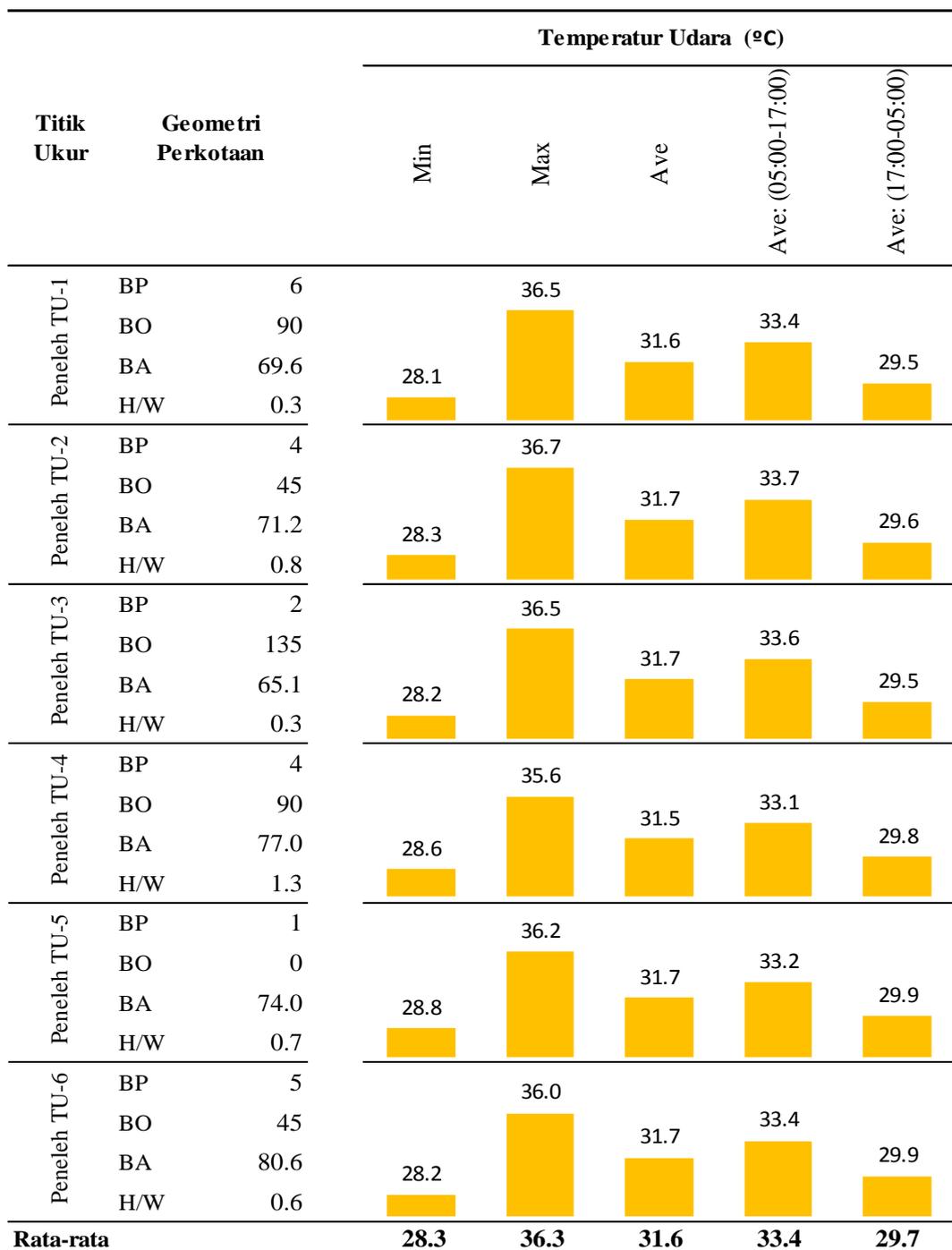
Gambar 4.9 Grafik Temperatur Udara dari Enam Titik Ukur dan Intensitas Radiasi Matahari pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

Dari grafik temperatur udara pada [Gambar 4.9](#) ataupun [Gambar 4.10](#), dapat diketahui kondisi temperatur udara rata-rata permukiman dan atau temperatur udara titik-titik ukur pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya. Untuk temperatur udara rata-rata permukiman, diketahui berkisar antara 28.3-36.3°C, atau rata-rata sekitar 31.6°C. Temperatur udara rata-rata terendah (28.3°C) terjadi pada pagi hari (04:00) dan tertinggi (36.3°C) terjadi pada siang hari (12:00-13:00). Peningkatan temperatur udara terjadi sesaat setelah matahari terbit (intensitas radiasi matahari mulai dapat diukur, pada pukul 05:00). Selanjutnya, temperatur udara terus meningkat sejalan dengan peningkatan intensitas radiasi matahari, hingga mencapai temperatur maksimum, pada siang hari (12:00-13:00). Setelah itu, temperatur udara menurun sejalan dengan

penurunan intensitas radiasi matahari, dan terus berlangsung hingga kembali mencapai temperatur minimum, pada pagi hari (04:00). Rata-rata temperatur pagi-sore hari, saat temperatur udara mendapat pengaruh dari sinar matahari langsung (05:00-17:00) adalah sekitar 33.4°C, sementara pada sore-pagi hari (17:00-05:00), sekitar 29.7°C.

Untuk kondisi temperatur udara titik-titik ukur, terlihat jelas (pada [Gambar 4.9](#)) bahwa kondisi temperatur udara dari enam titik ukur, relatif bervariasi (terjadi variasi intra urban). Variasi temperatur intra urban terjadi setiap jam (t), selama sepanjang hari. Seperti dapat dilihat, temperatur maksimum tiga titik ukur, relatif lebih tinggi dari temperatur maksimum tiga titik ukur lainnya. Ketiga titik ukur (dengan temperatur maksimum tertinggi) tersebut adalah Peneleh TU-1, Peneleh TU-2 dan Peneleh TU-3. Sementara, tiga titik ukur lainnya yakni Peneleh TU-4, Peneleh TU-5 dan Peneleh TU-6. Namun, pada kondisi temperatur minimum, kondisi sebaliknya terjadi. Ketiga titik ukur dengan temperatur udara maksimum terendah (Peneleh TU-4, Peneleh TU-5 dan Peneleh TU-6), memiliki temperatur udara minimum yang relatif lebih tinggi dibanding tiga titik ukur lainnya.

Secara keseluruhan, derajat perbedaan temperatur udara titik ukur (variasi intra urban), berkisar 0.3-1.6°C. Variasi temperatur udara minimum (0.3°C) terjadi pada malam hari (23:00), dengan temperatur terendah dan tertinggi masing-masing adalah $T_{a23-min} = 29.3^{\circ}\text{C}$ (pada Peneleh TU-2) dan $T_{a23-max} = 29.6^{\circ}\text{C}$ (pada Peneleh TU-4, Peneleh TU-5 dan Peneleh TU-6). Sementara, variasi temperatur udara maksimum (1.6°C), terjadi pada siang hari (10:00), bertepatan dengan waktu intensitas radiasi matahari maksimum. Pada kondisi waktu ini, temperatur terendah dan tertinggi masing-masing adalah $T_{a10-min} = 34.3^{\circ}\text{C}$ (pada Peneleh TU-4) dan $T_{a10-max} = 35.9^{\circ}\text{C}$ (pada Peneleh TU-2). Di waktu-waktu lainnya, yakni: pada pukul 04:00 (waktu temperatur udara minimum, sebelum matahari terbit), sekitar 0.7°C ($T_{a4-min} = 28.1^{\circ}\text{C}$, pada Peneleh TU-1, dan $T_{a4-max} = 28.8^{\circ}\text{C}$, pada Peneleh TU-5), pada pukul 12:00 (waktu temperatur udara maksimum), sekitar 1.3°C ($T_{a12-min} = 35.4^{\circ}\text{C}$, pada Peneleh TU-4 dan $T_{a12-max} = 36.7^{\circ}\text{C}$, pada Peneleh TU-2), dan pada pukul 19:00 (waktu setelah matahari terbenam), sekitar 1.2°C ($T_{a19-min} = 30.3^{\circ}\text{C}$, pada Peneleh TU-3 dan $T_{a19-max} = 31.4^{\circ}\text{C}$, pada Peneleh TU-6).



Cat:

BP : Pola blok bangunan (*blocks pattern*): (1) BB+H2RTBs; (2) BB+H2RT; (3) BB+HBsRT; (4) BB+HRT; (5) BB+BsRT-H; (6) BB-HRT

BO : Orientasi blok bangunan (*blocks orientation*); Utara-Selatan (o), Timur-Barat (90)

BA : Persentase area terbangun (*built-up area*, %)

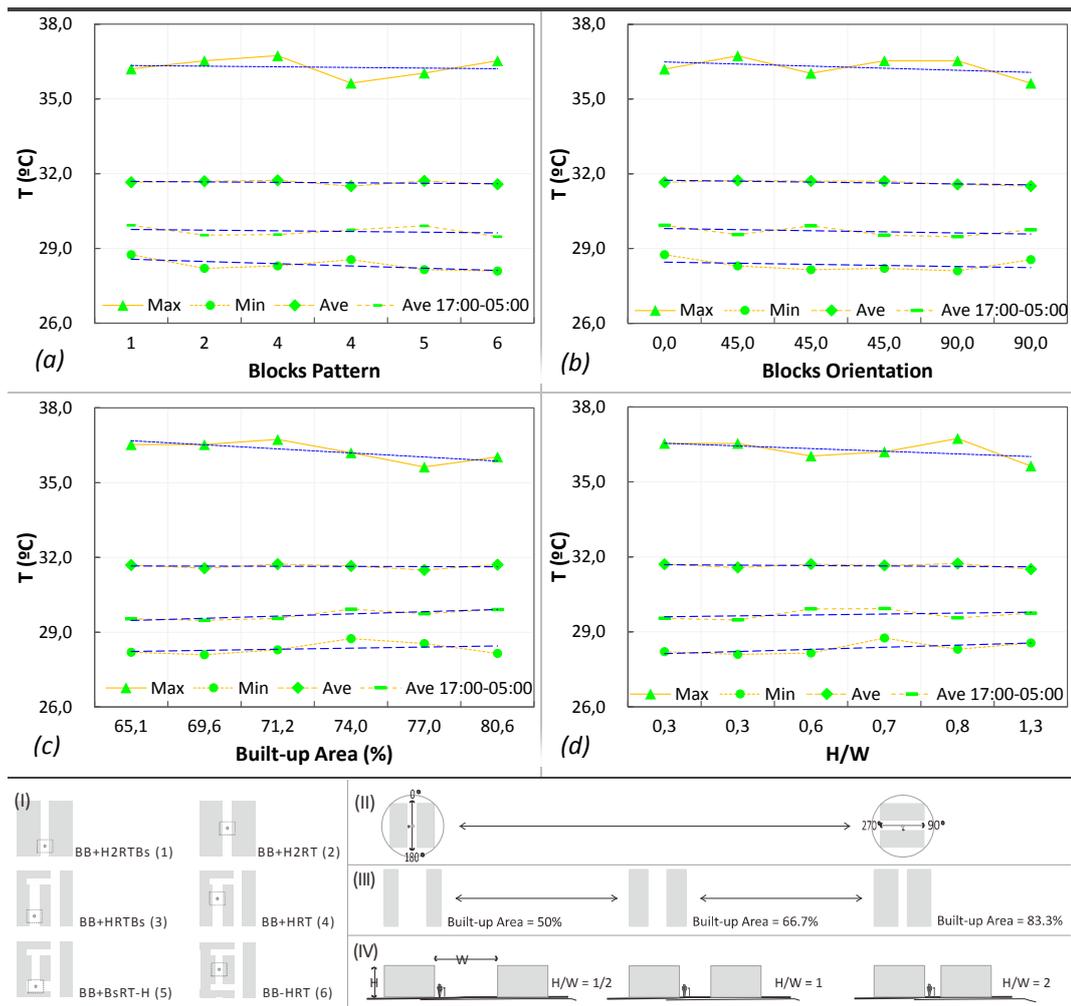
H/W : Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (*height-to-width ratio/canyon*)

Gambar 4.10 Kondisi Geometri Lingkungan dan Temperatur Udara dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015)

Selanjutnya, dengan mengamati kondisi temperatur udara dan kondisi geometri lingkungan pada [Gambar 4.10](#), kecenderungan yang terjadi antara keduanya, dapat diketahui. Seperti terlihat pada gambar, pada kondisi puncak siang hari (T_a-max), titik-titik ukur dengan temperatur udara tertinggi (Peneleh TU-1, Peneleh TU-2 dan Peneleh TU-3), memiliki persentase area terbangun (BA) dan geometri jalan (H/W) yang relatif lebih kecil (dibanding titik-titik ukur lainnya: Peneleh TU-4, Peneleh TU-5 dan Peneleh TU-5). Ketiga titik ukur tersebut dengan persentase area terbangun (BA), H/W , dan temperatur udara dari masing-masing adalah Peneleh TU-1 (69,6%: 0.3: 36.5°C), Peneleh TU-2 (71,2%: 0.8: 36.7°C), dan Peneleh TU-3 (69,6%: 0.3: 36.5°C). Sebaliknya, tiga titik ukur lainnya dengan temperatur udara yang lebih rendah dengan BA dan H/W yang relatif lebih tinggi, masing-masing yakni Peneleh TU-4 (77.0%: 1.3: 35.6°C), Peneleh TU-5 (74,0%: 0.7: 36.2°C), dan Peneleh TU-6 (80,6%: 0.6: 36.0°C).

Kecenderungan antara kondisi temperatur udara dan kondisi geometri lingkungan (pada [Gambar 4.10](#)), juga terlihat pada kondisi waktu pagi hari (T_a-min). Diketahui, titik-titik ukur dengan persentase area terbangun dan atau H/W yang relatif lebih besar, memiliki temperatur udara minimum yang relatif lebih tinggi, dan sebaliknya. Titik-titik ukur dengan BA , H/W yang relatif lebih besar dan temperatur udara dari masing-masing adalah Peneleh TU-4 (77.0%: 1.3: 28.6°C), Peneleh TU-5 (74,0%: 0.7: 28.8°C), dan Peneleh TU-6 (80,6%: 0.6: 28.2°C). Sementara, titik-titik ukur dengan BA dan H/W yang relatif lebih kecil dan temperatur udara dari masing-masing, yakni Peneleh TU-1 (69,6%: 0.3: 28.1°C), Peneleh TU-2 (71,2%: 0.8: 28.3°C), dan Peneleh TU-3 (69,6%: 0.3: 28.2°C).

Dari gambaran kecenderungan- kecenderungan tersebut di atas, menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara kondisi temperatur udara dan kondisi luas area terbangun (BA) dan atau geometri jalan (H/W) pada siang hari (T_a-max). Sementara, hubungan berbanding lurus antara keduanya pada malam hari (T_a-min). Kondisi kecenderungan antara temperatur udara dan geometri lingkungan pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, secara rinci, akan diuraikan berikut ini.



Gambar 4.11 Kecenderungan antara Kondisi Temperatur Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

- Kecenderungan antara temperatur udara dan pola blok bangunan, (T_a : BP)

Digambarkan pada **Gambar 4.11a**, antara kondisi temperatur udara (T_a) dan pola blok bangunan (*blocks pattern*, BP), cenderung tidak ada hubungan pada siang hari (T_a-max), sementara terjadi hubungan negatif pada malam hari (T_a-min) dan atau sepanjang hari (T_a-ave 00:00-23:00). Khusus hubungan negatif dari keduanya, berarti terjadi penurunan temperatur udara dengan adanya pergeseran pola blok bangunan, dari pola 1 ke pola 6, atau dari pola blok bangunan yang memiliki tingkat keterhubungan lebih tinggi dengan ruang terbuka (akses tinggi) ke pola blok bangunan dengan tingkat keterhubungan lebih rendah dengan ruang

terbuka (akses rendah). Dengan kata lain, blok bangunan yang memiliki tingkat keterhubungan lebih tinggi dengan ruang terbuka, cenderung lebih panas (temperatur udara relatif lebih tinggi) dibanding dengan blok bangunan yang memiliki tingkat keterhubungan lebih rendah dengan ruang terbuka, atau sebaliknya.

Gambaran kecenderungan/ hubungan antara temperatur udara dan pola blok bangunan sebagaimana tersebut di atas, baik pada kondisi maksimum (tidak ada kecenderungan) maupun pada kondisi minimum atau rata-rata sepanjang hari (kecenderungan negatif), tidak mencerminkan hubungan antara pola blok bangunan dan kecepatan angin, ataupun tidak menunjukkan adanya efek pendinginan (penurunan temperatur udara) yang diakibatkan oleh kecepatan angin, bahkan cenderung bertentangan. Diketahui sebelumnya, pola blok bangunan adalah faktor (salah satu faktor) yang dominan berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin, baik siang maupun malam hari. Tingkat keterhubungan blok bangunan dengan ruang terbuka berbanding lurus dengan tingkat kecepatan angin. Sementara itu, diketahui dari Eliasson (1996), Morris dan Simmonds (2001) dan Memon dkk (2010) bahwa kecepatan angin berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara. Semakin tinggi tingkat kecepatan angin, maka akan semakin besar derajat penurunan temperatur udara. Dengan demikian, kecenderungan yang semestinya antara pola blok bangunan dan temperatur udara adalah kecenderungan positif. Blok bangunan dengan tingkat keterhubungan lebih tinggi dengan ruang terbuka (memiliki kecepatan angin lebih tinggi), akan memiliki temperatur yang lebih rendah dibanding dengan blok bangunan dengan tingkat keterhubungan lebih rendah terhadap ruang terbuka. Oleh karena itu, kecenderungan antara pola blok bangunan dengan temperatur udara ataupun antara kecepatan angin dengan temperatur udara, perlu diamati lebih lanjut.

- Kecenderungan antara temperatur udara dan orientasi blok bangunan (T_a : BO)

Terlihat pada [Gambar 4.11b](#), kecenderungan yang terjadi antara temperatur udara (T_a) dan orientasi blok bangunan (*blocks orientation*) relatif sama dengan kecenderungan antara temperatur udara dan pola blok bangunan ([Gambar 4.11a](#)), yakni kecenderungan negatif. Dengan kecenderungan dari keduanya tersebut, telah dapat dipahami bahwa temperatur udara cenderung

menurun seiring adanya pergeseran orientasi blok bangunan, dari Utara-Selatan (0-180°) ke Timur Laut- Barat Daya atau Tenggara- Barat Laut (45-225°/ 135-315°) dan atau Timur-Barat (90-270°). Kecenderungan dari keduanya tersebut, terjadi sepanjang hari, siang dan malam.

Dengan kondisi kecenderungan yang terjadi antara kedua variabel tersebut di atas (orientasi blok bangunan dan kondisi temperatur udara), berarti blok-blok bangunan yang berorientasi Utara-Selatan (0-180°), relatif lebih panas (temperatur udara lebih tinggi) dibanding dengan blok-blok bangunan yang berorientasi Timur Laut- Barat Daya atau Tenggara- Barat Laut (45-225°/ 135-315°) atau Timur-Barat (90-270°). Kondisi kecenderungan (dari keduanya) tersebut, tidak mencerminkan kecenderungan yang terjadi antara orientasi blok bangunan dengan kecepatan angin (pada [Gambar 4.8b](#)), ataupun tidak menunjukkan adanya pengaruh kecepatan angin terhadap kondisi temperatur udara (penurunan temperatur). Hal ini, sebagaimana kondisi kecenderungan antara pola blok bangunan dan temperatur udara.

Lebih lanjut, kondisi kecenderungan antara kondisi temperatur udara dan orientasi blok bangunan tersebut, juga tidak senada dengan yang diungkap oleh Ali-Toudert dan Mayer (2006) dan Taleghani dkk (2015). Hasil penelitian mereka mengungkap bahwa kondisi temperatur udara pada blok bangunan yang berorientasi Timur-Barat, akan cenderung lebih panas dibanding dengan blok bangunan Utara-Selatan atau sebaliknya, disebabkan oleh faktor perbedaan jumlah radiasi matahari atau durasi penyinaran matahari langsung (*duration of direct sun*) yang diterima oleh kedua blok tersebut. Blok bangunan yang berorientasi Timur-Barat akan menerima pengaruh penyinaran matahari langsung yang relatif lebih lama (sekitar tiga kali lebih lama) dibanding blok bangunan yang memiliki orientasi Utara-Selatan (Taleghani dkk, 2015). Oleh karena itu, sebagaimana kecenderungan antara pola blok bangunan dengan temperatur udara, kondisi yang terjadi antara temperatur udara dan orientasi blok bangunan, juga perlu diamati lebih lanjut (pada tahap simulasi).

- Kecenderungan antara temperatur udara dan luas area terbangun (T_a : BA)

Dari grafik kecenderungan variabel pada [Gambar 4.11c](#), dapat diketahui bahwa antara temperatur udara (T_a) dan luas area terbangun (*built-up area*), terjadi

dua kecenderungan yang berbeda, yakni kecenderungan negatif (hubungan berbanding terbalik) dan positif (hubungan berbanding lurus). Pada kondisi waktu siang hari (T_a-max), terjadi hubungan negatif antara keduanya, temperatur udara dan luas area terbangun. Hal ini berarti pada siang hari, kondisi temperatur udara cenderung menurun dengan adanya penambahan persentase area terbangun. Nilai regresi dari keduanya pada kondisi puncak siang hari (T_a-max) adalah $R^2 = 0.57$. Sementara pada malam hari, antara keduanya, terjadi hubungan positif. Kebalikan dengan kondisi keduanya pada siang hari (hubungan negatif), kecenderungan ini (hubungan positif) berarti terjadi peningkatan temperatur udara sejalan dengan peningkatan persentase luas area terbangun.

Dari gambaran kecenderungan kedua variabel di atas (antara temperatur udara dan luas area terbangun), menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara kedua variabel, kondisi luas area terbangun relatif berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara, baik pada siang maupun malam hari. Peningkatan luas/persentase area terbangun, mengakibatkan temperatur udara semakin rendah (kenyamanan termal meningkat) pada siang hari. Sebaliknya pada malam hari, dengan peningkatan persentase area terbangun, mengakibatkan penurunan temperatur udara jadi relatif lambat/ temperatur udara tetap tinggi (kenyamanan termal menurun). Kedua kondisi hubungan tersebut senada dengan yang diungkap oleh Rose dkk (2010). Mereka mengungkap bahwa semakin besar luas area tutupan bangunan (persentase area terbangun), maka akan semakin rendah temperatur udara (kenyamanan termal meningkat) selama siang hari, namun juga akan mengakibatkan kenyamanan termal menurun pada malam hari. Sementara, dari intensitas hubungan dari keduanya, mengindikasikan pengaruh luas area terbangun terhadap kondisi temperatur udara, baik siang maupun malam hari, relatif dominan.

- Kecenderungan antara temperatur udara dan geometri jalan ($T_a : H/W$)

Kecenderungan yang terjadi antara temperatur udara (T_a) dan geometri jalan (H/W) ([Gambar 4.11d](#)), relatif sama dengan kondisi kecenderungan antara temperatur udara dan luas area terbangun ([Gambar 4.11c](#)), yakni terjadi dua kondisi hubungan, negatif dan positif. Terlihat pada gambar ([Gambar 4.11d](#)), pada kondisi maksimum (T_a-max), antara temperatur udara dan geometri jalan (H/W),

terjadi kecenderungan negatif. Hal ini telah dapat dipahami bahwa pada siang hari, temperatur udara cenderung menurun dengan adanya peningkatan nilai H/W , atau terjadi hubungan berbanding terbalik antara keduanya. Sebaliknya, pada malam hari, pada kondisi temperatur minimum (T_{a-min}) dan atau rata-rata malam hari (T_{a-ave} 17:00-05:00), terjadi kecenderungan positif antara keduanya, temperatur udara dan geometri jalan. Pada kondisi waktu ini, temperatur udara cenderung meningkat sejalan dengan meningkatnya nilai H/W (hubungan berbanding lurus).

Sebagaimana hubungan antara temperatur udara dan luas area terbangun, kecenderungan yang terjadi antara temperatur udara dan geometri jalan (H/W), juga menunjukkan hubungan yang jelas, kondisi H/W relatif berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara, baik siang maupun malam hari. Pada siang hari, terjadi penurunan derajat temperatur udara (peningkatan kenyamanan termal) dengan meningkatnya nilai H/W . Sebaliknya, pada malam hari, dengan nilai H/W yang semakin besar, juga akan mengakibatkan penurunan temperatur udara jadi relatif lambat (kenyamanan termal menurun). Kedua kondisi hubungan tersebut, juga sama diungkap oleh Rose dkk (2010), bahwa peningkatan aspek rasio antara tinggi bangunan dan lebar jalan (H/W), dapat meningkatkan kenyamanan termal secara signifikan selama siang hari. Akan tetapi, dengan aspek rasio bangunan yang lebih besar, juga dapat memperburuk kenyamanan termal dan meningkatkan penggunaan energi untuk pendinginan selama malam hari. Demikian pula diungkap oleh Oke (1981) dan Oke (1988), bahwa geometri jalan (H/W) yang relatif lebih besar di kota (urban), menyebabkan pelepasan panas/ radiasi gelombang panjang (*long-wave radiation loss*) jadi relatif lebih kecil/ lambat dibanding di pinggiran kota (rural). Akibatnya, perbedaan temperatur dari keduanya (urban-rural), akan semakin besar dengan semakin besarnya perbedaan kondisi geometri jalan dari keduanya, terutama pada awal-awal malam hari.

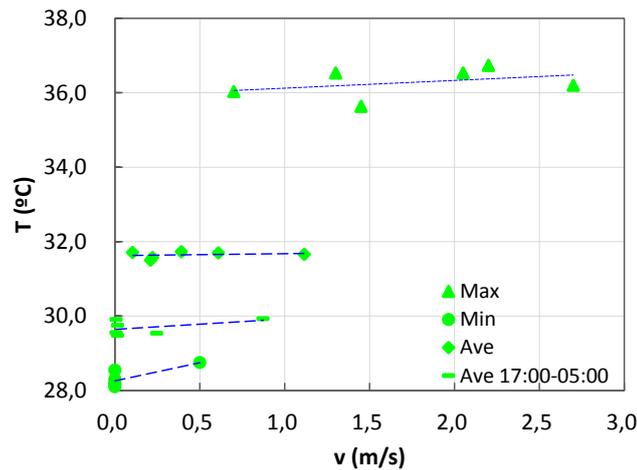
Namun demikian, dari intensitas hubungan dari kedua variabel (H/W dan temperatur udara), menunjukkan bahwa pengaruh geometri jalan relatif tidak lebih dominan dari pengaruh luas area tutupan bangunan terhadap temperatur udara, terutama pada puncak siang hari (puncak panas) dan awal malam hari (waktu utama pelepasan panas). Kondisi ini, relatif berbeda yang diungkap oleh Oke (1981),

yang mengungkap bahwa geometri perkotaan (*urban geometry*) relatif lebih dominan berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara di perkotaan dibanding faktor material tutupan permukaan (*urban surface*). Demikian juga yang diungkap oleh Rose dkk (2010), bahwa aspek rasio bangunan (H/W) lebih signifikan mempengaruhi kenyamanan termal dibandingkan dengan aspek area terbangun. Oleh karena itu, kondisi hubungan antara keduanya, geometri jalan (H/W) dan temperatur udara, perlu diamati lebih lanjut pada tahap simulasi.

- Kecenderungan antara kecepatan angin dan temperatur udara, ($v : T_a$).

Dari kecenderungan/ hubungan variabel yang telah dijelaskan sebelumnya, diungkap bahwa kondisi temperatur udara dari titik-titik ukur pada pemukiman tengah kota (Kampung Peneleh), cenderung tidak mencerminkan hubungan yang semestinya dengan kondisi kecepatan angin, ataupun tidak menunjukkan adanya efek pendinginan (penurunan temperatur udara) yang diakibatkan oleh kecepatan angin. Di sisi lain, dari kecenderungan variabel tersebut, juga mengindikasikan adanya faktor lain yang lebih dominan berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara, baik pada siang maupun malam hari. Diketahui sebelumnya, dua faktor yang dominan berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin, yakni pola blok bangunan (BP) dan orientasi blok bangunan (BO). Namun, terhadap kondisi temperatur udara, keduanya (pola blok bangunan dan orientasi blok bangunan) tidak dominan berpengaruh. Di kondisi lain, dua faktor lainnya yang tidak dominan berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin, yakni luas area terbangun (BA) dan geometri jalan (H/W), tetapi keduanya relatif dominan berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara. Selanjutnya, kecenderungan antara kondisi kecepatan angin dan temperatur udara dari keenam titik ukur pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), ditunjukkan pada [Gambar 4.12](#).

Dari grafik hubungan antara kecepatan angin dan temperatur udara pada [Gambar 4.12](#), dapat diketahui bahwa antara keduanya, terjadi hubungan positif (hubungan berbanding lurus). Hal itu berarti semakin tinggi kecepatan angin, maka temperatur udara juga jadi semakin tinggi. Kondisi hubungan dari keduanya tersebut, terjadi sepanjang hari, siang dan malam.



Gambar 4.12 Kecenderungan antara Kondisi Kecepatan Angin dan Temperatur Udara pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

Mengacu pada yang diungkap oleh Eliasson (1996), Morris dan Simmonds (2001), dan Memon dkk (2010), bahwa hubungan antara kecepatan angin dan temperatur udara adalah hubungan berbanding terbalik, maka diketahui bahwa kondisi hubungan dari keduanya tersebut (hubungan berbanding lurus antara kecepatan angin dan temperatur udara), berkebalikan dari hubungan yang seharusnya. Lebih lanjut, dari hasil pengamatan kondisi hubungan variabel, antara elemen geometri dengan kecepatan angin dan temperatur udara, maka dapat dipahami dan ditarik kesimpulan bahwa kondisi kecepatan angin (pada subyek permukiman tengah kota, Kampung Peneleh) tidak dominan berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara yang tercipta, baik siang ataupun malam hari. Di sisi lain, diduga ada faktor lain yang lebih dominan berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara.

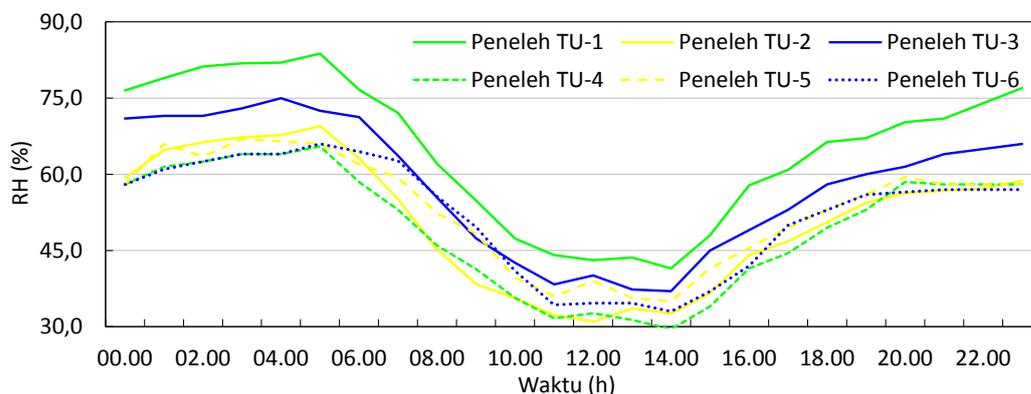
- Kesimpulan

Dari hasil kajian tersebut di atas, dapat diketahui bahwa kondisi temperatur udara relatif dipengaruhi oleh kondisi geometri lingkungan (empat elemen yang dikaji, yakni pola dan orientasi blok bangunan, luas area terbangun dan geometri jalan atau H/W). Diketahui, dua elemen geometri yang dominan berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara yakni luas area terbangun dan H/W , baik pada siang maupun malam hari. Luas area terbangun (BA), dominan

berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara pada siang hari. Kecenderungan yang terjadi antara keduanya, kondisi luas area terbangun dan kondisi temperatur udara (pada siang hari) adalah kecenderungan berbanding terbalik. Semakin besar luas area terbangun, maka akan semakin rendah temperatur udara pada siang hari. Sementara itu, geometri jalan (H/W), adalah faktor dominan yang mempengaruhi kondisi temperatur udara pada malam hari. Kecenderungan dari keduanya, antara kondisi luas area terbangun dan kondisi temperatur udara (pada malam hari) adalah kecenderungan berbanding lurus. Semakin besar rasio antara ketinggian bangunan dan lebar jalan (H/W), maka temperatur udara juga akan semakin tinggi. Pada kondisi lain, diketahui bahwa kondisi temperatur udara tidak dominan dipengaruhi oleh kondisi kecepatan angin, baik siang maupun malam hari. Sebaliknya, hasil kajian menunjukkan adanya faktor lain yang lebih dominan berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara.

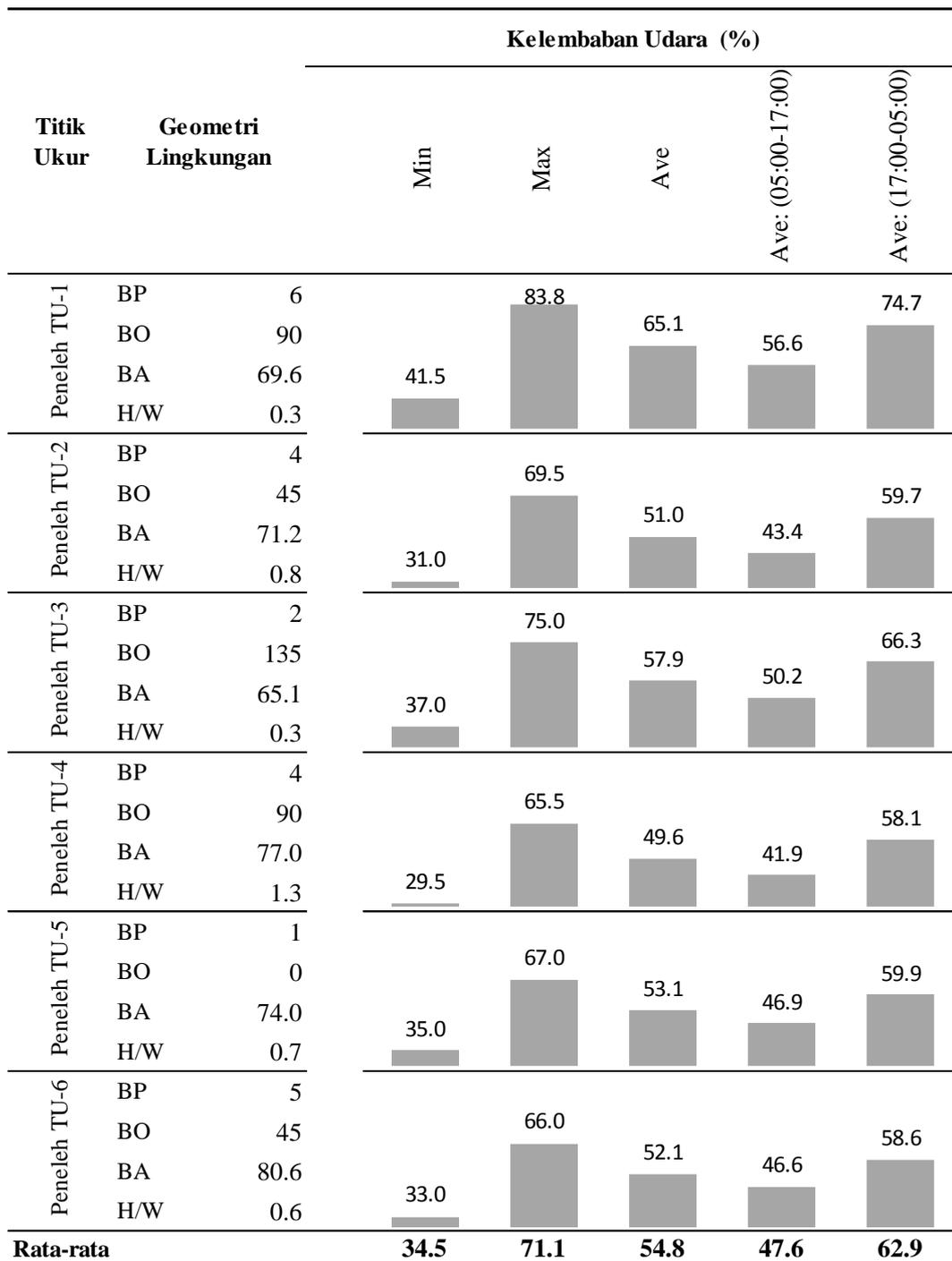
d. Kelembaban udara

Pada [Gambar 4.13](#) dan [14](#) berikut ini adalah gambaran kondisi kelembaban udara pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya.



Gambar 4.13 Grafik Kelembaban Udara pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

Dari kedua gambar ([Gambar 4.13](#) dan [14](#)) terlihat bahwa grafik kelembaban udara secara umum, menunjukkan kebalikan dari kondisi temperatur udara. Kelembaban udara terendah terjadi pada puncak siang hari (13:00-14:00), sementara kelembaban udara tertinggi terjadi pada pagi hari (04:00-05:00).



Cat:

BP : Pola blok bangunan (*blocks pattern*): (1) BB+H2RTBs; (2) BB+H2RT; (3) BB+HBsRT; (4) BB+HRT; (5) BB+BsRT-H; (6) BB-HRT

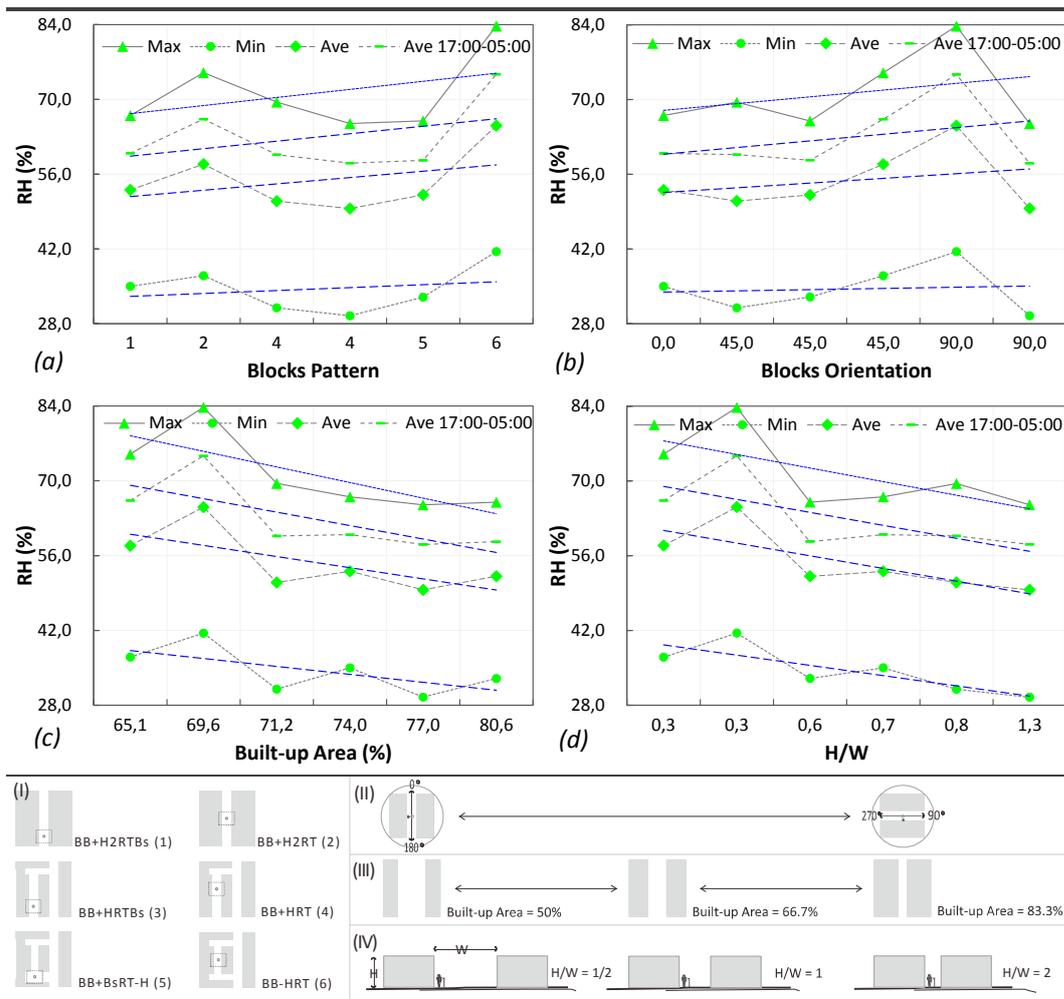
BO : Orientasi blok bangunan (*blocks orientation*); Utara-Selatan (o), Timur-Barat (90)

BA : Persentase area terbangun (*built-up area*, %)

H/W : Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (*height-to-width ratio/canyon*)

Gambar 4.14 Kondisi Geometri Lingkungan dan Kelembaban Udara dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015)

Kondisi kelembaban udara pada titik- titik ukur, berkisar antara 30-84%, atau kelembaban udara rata-rata titik ukur, yakni 50-65%, atau kelembaban udara rata-rata permukiman, 55%. Rata- rata kelembaban udara tertinggi terjadi pada dua titik ukur, Peneleh TU-1 dan Peneleh TU-3, adalah titik- titik ukur dengan luas area terbangun atau H/W rendah. Sebaliknya, rata- rata kelembaban udara terendah terjadi pada titik- titik ukur dengan dengan luas area terbangun atau H/W tinggi. Hal ini menunjukkan kecenderungan berbanding terbalik antara kondisi kelembaban udara dan luas area terbangun atau H/W blok (lihat Gambar 4.15)



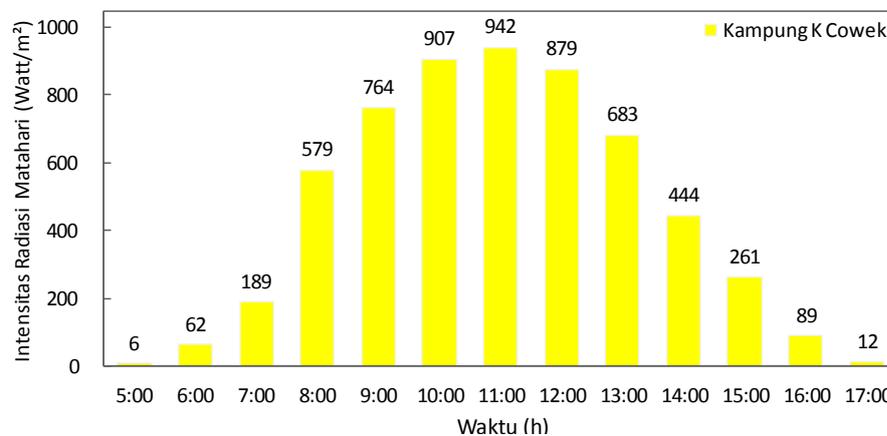
Gambar 4.15 Kecenderungan antara Kondisi Kelembaban Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

4.3.2 Kondisi Termal Ruang Luar Permukiman di Pinggiran Kota

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, pengukuran kondisi termal ruang luar permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, telah dilakukan pada 18-21 Nopember 2015. Pengukuran lapangan dilakukan pada tiga titik ukur (ditunjukkan pada [Lampiran B-2](#)), terhadap empat variabel iklim (intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, temperatur udara, dan kelembaban udara). Data- data kondisi termal hasil pengukuran pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, ditunjukkan pada [Lampiran E](#).

a. Intensitas radiasi matahari

Sebagaimana pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), intensitas radiasi matahari yang diukur pada permukiman pinggiran kota, Kampung Kedung Cowek, dalam bahasan ini, adalah intensitas radiasi matahari langsung (*direct short-wave radiation*). Data kondisi intensitas radiasi matahari hasil pengukuran pada subyek permukiman pinggiran kota, Kampung Kedung Cowek, Surabaya, ditunjukkan pada [Lampiran E](#). Selanjutnya, kondisi intensitas radiasi matahari hasil pengukuran pada subyek permukiman pinggiran kota, Kampung Kedung Cowek, Surabaya tersebut, dapat digambarkan, sebagai berikut.



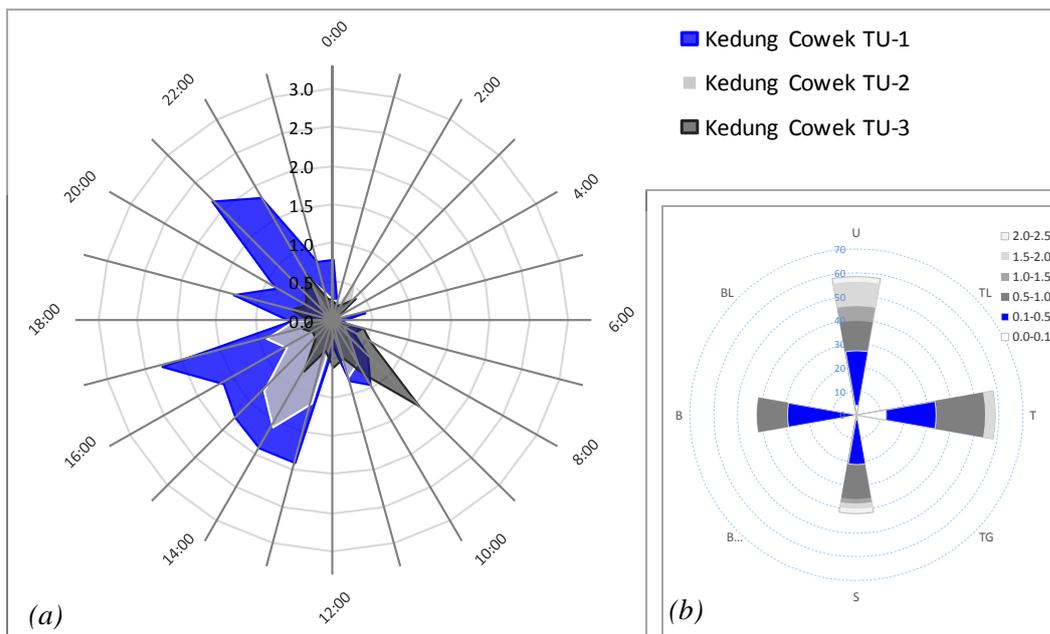
Gambar 4.16 Grafik Intensitas Radiasi Matahari pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

Sebagaimana intensitas pada radiasi pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), intensitas radiasi matahari pada permukiman pinggiran kota

(Kampung Kedung Cowek) ([Gambar 4.16](#)), berlangsung sekitar 13 jam (pukul 05.00-17.00). Intensitas radiasi matahari yakni mencapai 942 W/m^2 (terjadi pada pukul 11:00), dengan rata-rata, 447 W/m^2 . Kondisi ini relatif lebih tinggi dibanding kondisi intensitas radiasi yang diukur pada permukiman tengah kota. Hal ini, diantaranya disebabkan oleh faktor kondisi langit saat pengukuran (kondisi termal) berlangsung, kondisi langit pada permukiman pinggiran kota relatif lebih cerah dibanding kondisi langit pada permukiman tengah kota, sebagaimana telah disebutkan sebelumnya.

b. Kecepatan angin

Berdasarkan data kondisi termal hasil pengukuran ([Lampiran E](#)), kondisi angin (arah dan kecepatan angin) pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, dapat digambarkan seperti pada [Gambar 4.17](#) dan [Gambar 4.18](#) berikut ini.



[Gambar 4.17](#) Kondisi Kecepatan Angin dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, Menurut: (a) Waktu dan (b) Arah Mata Angin (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

Diketahui dari [Gambar 4.17](#) dan [18](#), kondisi kecepatan angin pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, relatif

bervariasi, sebagaimana juga kecepatan angin pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya. Kecepatan angin dari ketiga titik ukur, berkisar 0,0-2,3 m/d, atau kecepatan angin rata-rata yakni 0,6 m/d. Gambaran kecepatan angin menurut waktu ([Gambar 4.17a](#)), menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin pada siang hari (05:00-17:00) relatif lebih tinggi dibanding kecepatan angin pada malam hari (17:00-05:00). Rata-rata kecepatan angin pada siang hari (05:00-17:00) adalah 0,7 m/d, sementara pada malam hari (17:00-05:00), 0,5 m/d. Demikian halnya, kecepatan angin tertinggi terjadi pada siang hari (14:00), sedangkan terendah pada pagi hari (06:00). Sementara itu, dari gambaran kecepatan angin menurut arah mata angin ([Gambar 4.17b](#)), diketahui bahwa rata-rata kecepatan angin titik-titik ukur yang berorientasi Utara-Selatan, relatif lebih besar (kecepatan maksimum, 2,0-2,5 m/d) dibanding rata-rata kecepatan angin titik ukur yang berorientasi Timur-Barat (kecepatan maksimum, 1,5-2,0 m/d). Secara keseluruhan, kondisi kecepatan angin satu titik ukur (K. Cowek TU-1), relatif lebih besar dibanding dua titik ukur lainnya (K. Cowek TU-2 dan K. Cowek TU-3) (lihat [Gambar 4.18](#)).

Berdasarkan [Gambar 4.18](#), terlihat jelas bahwa ada kecenderungan yang terjadi antara kondisi kecepatan angin dan geometri lingkungan pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya. Terlihat pada gambar, rata-rata kecepatan angin titik-titik ukur, berbanding lurus dengan pola blok bangunan (*BP*) titik ukur. Pola blok bangunan satu (*BP-1*), blok bangunan dengan tingkat keterhubungan yang paling tinggi dengan ruang terbuka, cenderung memiliki kecepatan angin yang relatif lebih tinggi (0,9 m/d) dibanding dengan *BP-2* dan *3*, blok-blok bangunan dengan tingkat keterhubungan yang lebih rendah dengan ruang terbuka (0,5 dan 0,4 m/d, dari masing-masing). Relatif sama, kecenderungan berbanding lurus antara kondisi kecepatan angin dan kondisi tiga elemen geometri lingkungan lainnya, yakni orientasi blok bangunan (*BO*), luas area tutupan bangunan (*BA*) dan geometri jalan (*H/W*). Gambaran kecenderungan antara kecepatan angin dan empat elemen geometri lingkungan dari titik-titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, secara rinci ditunjukkan pada [Tabel 4.4](#) dan [Gambar 4.19](#).

Tabel 4.4 Kondisi Hubungan antara Kecepatan Angin dan Elemen Geometri Lingkungan pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya dan Perbandingan terhadap Hasil Penelitian Terdahulu

	Kecepatan Angin (v)	Hubungan antar Variabel								Hasil Permukiman Pinggiran Kota terhadap Penelitian Terdahulu		Ket.
		Permukiman Pinggiran Kota				Penelitian Terdahulu				Sesuai	Tidak Sesuai	
		Siang		Malam		Siang		Malam				
		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)			
Pola Blok Bangunan (BP)	Max	0,78				[1]				✓		
	Min			0,75					[1]			
	Ave (17:00-05:00)			0,76					[1]	✓		
	Ave			0,8		[1]			[1]			
Orientasi Blok Bangunan (BO)	Max	0,78				[2,3]				✓		
	Min			0,75					[2,3]			
	Ave (17:00-05:00)			0,76					[2,3]	✓		
	Ave			0,8		[2,3]			[2,3]			
Luas Area Tutupan Bangunan (BA)	Max	0,72				[4,5]				✓		
	Min			0,75					[4,5]			
	Ave (17:00-05:00)			0,74					[4,5]	✓		
	Ave			0,7		[4,5]			[4,5]			
Rasio Ketinggian bangunan dan Lebar Jalan (H/W)	Max	0,78				[6]				✓		
	Min			0,75					[6]			
	Ave (17:00-05:00)			0,74					[6]	✓		
	Ave			0,7		[6]			[6]			

Ket.

[1] Antaryama (2002)

[2] Asfour (2010)

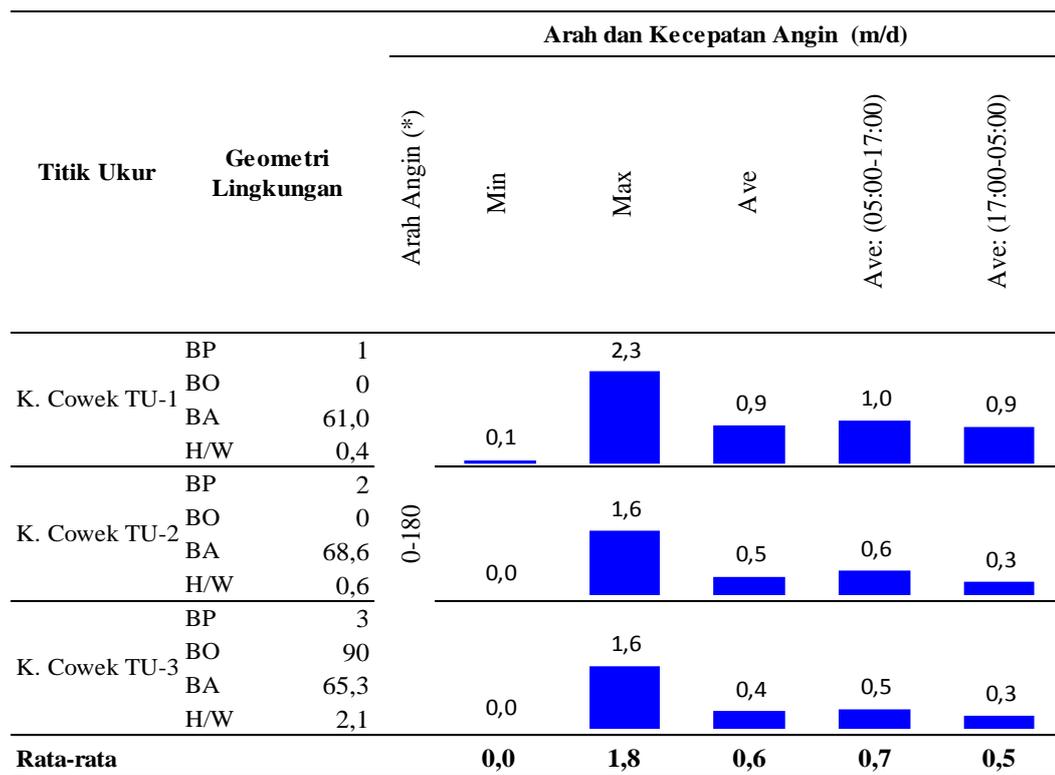
[3] Hang dkk (2009)

[4] Hang dan Li (2010)

[5] Aini dkk (2013)

[6] Oke (1988)

 Variabel terkaji/ dipengaruhi
 Variabel berpengaruh



Cat:

(*) : Arah angin lokal (kota), diamati di area terbuka (di ketinggian pedestrian) dan dilihat dari arah layang-layang

BP : Pola blok bangunan (*blocks pattern*): (1) BB+H2RTBs; (2) BB+H2RT; (3) BB+HBsRT; (4) BB+HRT; (5) BB+BsRT-H; (6) BB-HRT

BO : Orientasi blok bangunan (*blocks orientation*); Utara-Selatan (o), Timur-Barat (90)

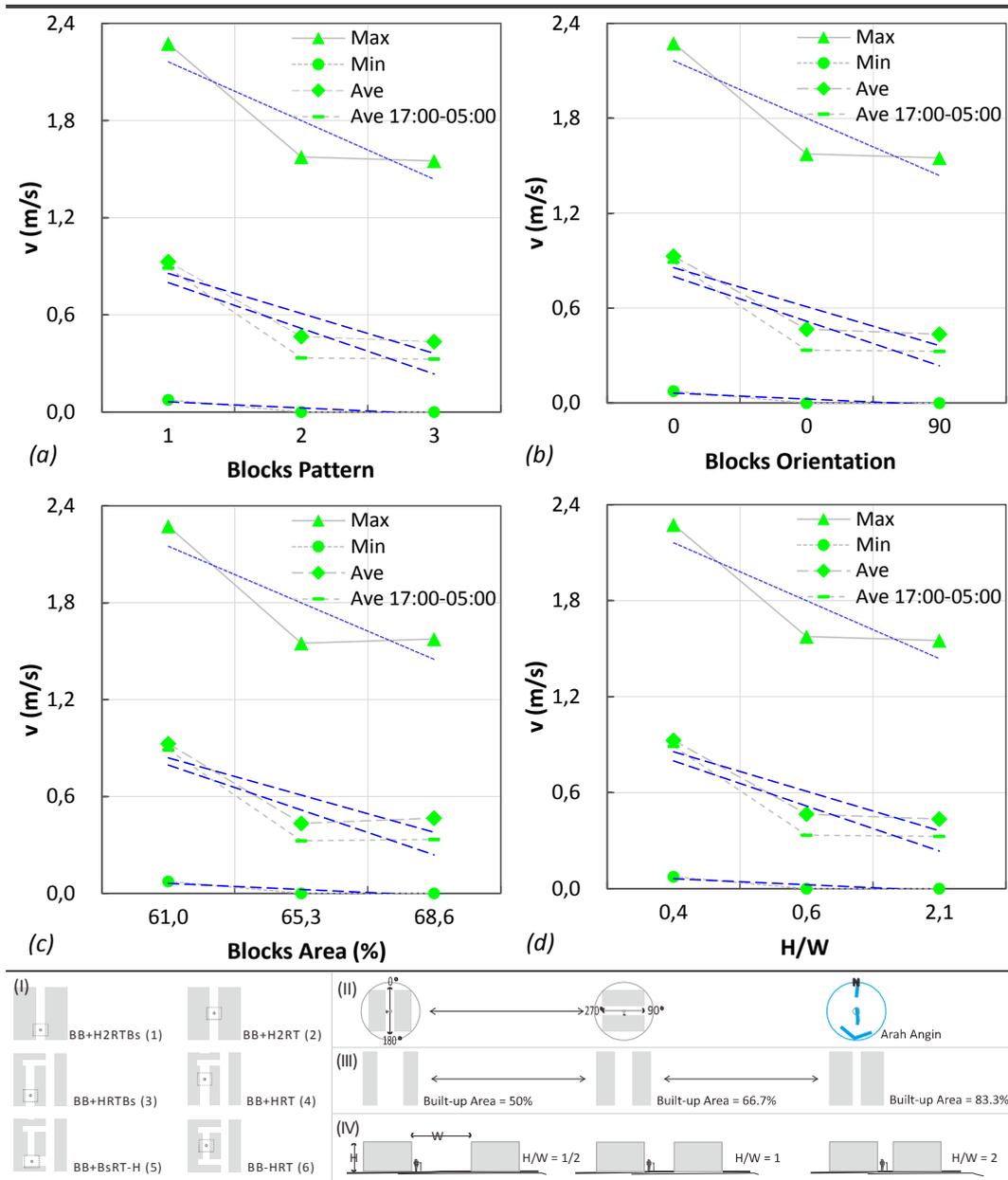
BA : Persentase area terbangun (*built-up area*, %)

H/W : Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (*height-to-width ratio/canyon*)

Gambar 4.18 Kondisi Geometri Lingkungan dan Arah dan Kecepatan Angin dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

Dari gambaran kecenderungan antar variabel pada [Gambar 4.19](#), terlihat jelas bahwa kecenderungan yang terjadi antara kondisi kecepatan angin (variabel lingkungan) dan empat elemen geometri lingkungan (variabel desain: pola blok bangunan, orientasi blok bangunan, luas area tutupan bangunan dan geometri jalan) adalah kecenderungan negatif, terjadi sepanjang hari, siang dan malam. Kecenderungan yang terjadi antara variabel- variabel tersebut, menunjukkan kecenderungan yang relatif sama (dari variabel- variabel tersebut) pada permukiman tengah kota, Kampung Peneleh, Surabaya. Kecenderungan yang

terjadi tersebut, juga mencerminkan kecenderungan/ hubungan dari variabel-variabel tersebut yang diungkap oleh peneliti- peneliti sebelumnya, diantaranya oleh Hang dkk (2009) dan Asfour (2010), tentang kecenderungan antara orientasi blok bangunan dengan kondisi kecepatan angin.

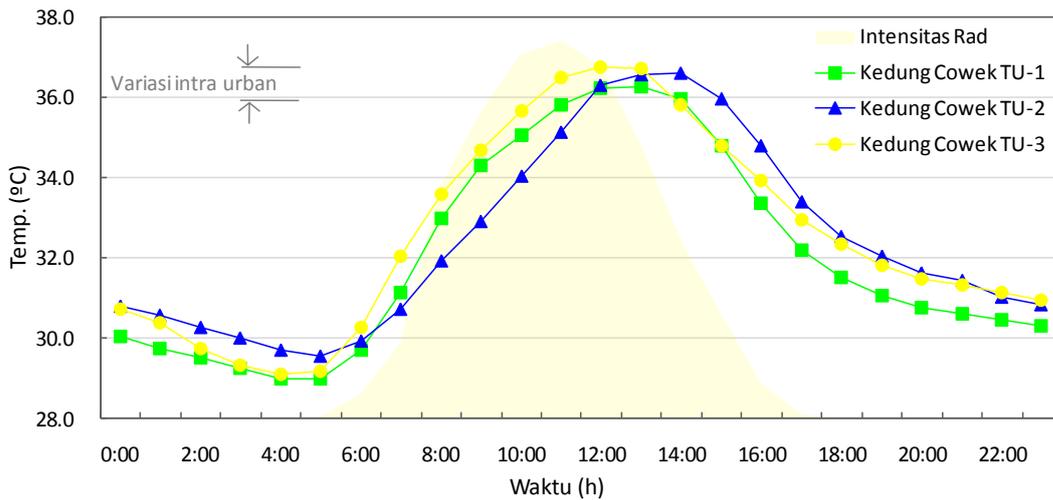


Gambar 4.19 Kecenderungan antara Kondisi Kecepatan Angin dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.

Berdasarkan uraian di atas, maka diketahui bahwa ada hubungan yang jelas antara kondisi kecepatan angin dengan kondisi geometri dari titik-titik ukur pada subyek permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya. Geometri titik-titik ukur (pola blok bangunan, orientasi blok bangunan, luas area tutupan bangunan dan geometri jalan/ H/W) berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin yang tercipta (pada titik-titik ukur tersebut). Hal tersebut, diyakini melalui kecenderungan (korelasi) yang terjadi antara kedua variabel, kecepatan angin dengan elemen geometri titik-titik ukur, serta kesesuaian hubungan dari variabel-variabel tersebut dengan hubungan yang diungkap dalam penelitian- penelitian terdahulu.

c. Temperatur udara

Gambaran kondisi temperatur udara pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya berdasarkan data kondisi termal hasil pengukuran ([Lampiran E](#)), ditunjukkan pada [Gambar 4.20](#). Dari gambar tersebut, diketahui bahwa kondisi temperatur udara dari tiga titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), juga relatif bervariasi, sebagaimana pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh). Derajat temperatur udara dari ketiga titik ukur, berkisar 29,0-36,8°C, atau rata-rata temperatur permukiman yakni sekitar 29,2-36,6°C (sekitar 32,3°C). Temperatur udara minimum terjadi pada pagi hari (pukul 04:00 atau 05:00) dan maksimum terjadi pada siang hari (pukul 12:00 atau 13:00). Peningkatan temperatur udara mulai terjadi setelah matahari terbit (pukul 05:00 atau 06:00) hingga siang hari (mencapai temperatur maksimum, pukul 12:00 atau 13:00). Selanjutnya, temperatur udara menurun sejalan dengan penurunan intensitas radiasi matahari, terus berlangsung hingga kembali mencapai temperatur minimum, pada pagi hari. Rata-rata temperatur udara pada pagi-sore hari (05:00-17:00, saat temperatur udara mendapat pengaruh dari sinar matahari langsung), sekitar 33,8°C. Sementara, rata-rata temperatur udara pada sore-pagi hari (17:00-05:00, saat temperatur udara tidak mendapat pengaruh dari sinar matahari langsung) yakni sekitar 30,7°C.



Gambar 4.20 Grafik Temperatur Udara pada Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek) (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015)

Titik Ukur	Geometri Perkotaan	Temperatur Udara (°C)					
		Min	Max	Ave	Ave: (05:00-17:00)	Ave: (17:00-05:00)	
K. Cowek TU-1	BP		36.3				
	BO	0					
	BA	61.0	29.0	32.0	33.6	30.3	
	H/W	0.4					
K. Cowek TU-2	BP		36.6				
	BO	0					
	BA	68.6	29.5	32.4	33.7	31.1	
	H/W	0.6					
K. Cowek TU-3	BP		36.8				
	BO	90					
	BA	65.3	29.1	32.6	34.1	30.8	
	H/W	2.1					
Rata-rata			29.2	36.6	32.3	33.8	30.7

Cat:

BP : Pola blok bangunan (*blocks pattern*): (1) BB+H2RTBs; (2) BB+H2RT; (3) BB+HBsRT; (4) BB+HRT; (5) BB+B_sRT-H; (6) BB-HRT

BO : Orientasi blok bangunan (*blocks orientation*); Utara-Selatan (o), Timur-Barat (90)

BA : Persentase area terbangun (*built-up area*, %)

H/W : Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (H/W)

Gambar 4.21 Kondisi Geometri Lingkungan dan Temperatur Udara dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015).

[Gambar 4.21](#) menunjukkan gambaran kondisi geometri lingkungan dan kondisi temperatur dari ketiga titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya. Dari gambar, dapat diketahui bahwa kondisi temperatur udara cenderung berbanding lurus dengan kondisi geometri dari ketiga titik ukur, terjadi sepanjang hari, siang dan malam. Misal, antara pola blok bangunan dan kondisi temperatur udara, blok bangunan dengan tingkat keterhubungan yang tinggi dengan ruang terbuka (*BP-1*), memiliki temperatur udara yang relatif lebih rendah dibanding blok-blok bangunan dengan tingkat keterhubungan yang lebih rendah dengan ruang terbuka (*BP-2* dan *3*). Selanjutnya, kecenderungan antara temperatur udara dan empat elemen geometri lingkungan dari titik-titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, ditunjukkan pada [Tabel 4.5](#) dan [Gambar 4.22](#).

Berdasarkan gambar ([Gambar 4.22](#)), kecenderungan antara kondisi temperatur udara dengan empat elemen geometri lingkungan (pola blok bangunan, orientasi blok bangunan, luas area tutupan bangunan dan geometri jalan), adalah kecenderungan positif, terjadi sepanjang siang dan malam hari. Kecenderungan antara temperatur udara dan dua elemen geometri, pola blok bangunan dan orientasi blok bangunan, mencerminkan hubungan dari ketiganya yang diungkap pada oleh Eliasson (1996), Morris dan Simmonds (2001) dan Memon dkk (2010), tentang hubungan antara kecepatan angin dengan temperatur udara, maka kedua elemen geometri, pola blok bangunan dan orientasi blok bangunan dapat berpengaruh terhadap temperatur udara melalui pengaruh dari keduanya terhadap kecepatan angin. Dengan kata lain, kedua elemen geometri dapat berpengaruh terhadap temperatur udara secara tidak langsung.

Kondisi yang berbeda, hubungan antara temperatur udara dengan dua elemen geometri lainnya, yakni luas area terbangun dan geometri jalan, khususnya hubungan dari ketiganya pada kondisi siang hari (T_a-max), tidak sesuai dengan yang diungkap dari penelitian terdahulu, juga berbeda dengan hubungan dari ketiganya pada subyek permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya. Telah diketahui sebelumnya, dijelaskan oleh Rose dkk (2010), bahwa hubungan antara luas area terbangun dengan temperatur udara ataupun antara geometri jalan (H/W) dengan temperatur udara pada siang hari, hubungan berbanding terbalik.

Tabel 4.5 Kondisi Hubungan antara Temperatur Udara dan Elemen Geometri Lingkungan pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya dan Perbanginan terhadap Hasil Penelitian Terdahulu

	Temperatur Udara (<i>T_a</i>)	Hubungan antar Variabel								Hasil Permukiman Pinggiran Kota terhadap Penelitian Terdahulu		Ket.
		Permukiman Pinggiran Kota				Penelitian Terdahulu				Sesuai	T. Sesuai	
		Siang		Malam		Siang		Malam				
		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)			
Pola Blok Bangunan (BP)	Max		0,95									
	Min				0,02							
	Ave (17:00-05:00)				0,43							
	Ave		0,89		0,89							
Orientasi Blok Bangunan (BO)	Max		0,95			[1, 2]				✓		
	Min				0,02							
	Ave (17:00-05:00)				0,43							
	Ave		0,89		0,89							
Luas Area Tutupan Bangunan (BA)	Max		0,47			[3]					✓	
	Min				0,87				[3]	✓		
	Ave (17:00-05:00)				0,96				[3]	✓		
	Ave		0,57		0,57							
Rasio Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W)	Max		0,95			[3]					✓	
	Min				0,02				[3,4,5,6]	✓		
	Ave (17:00-05:00)				0,43				[3,4,5,6]	✓		
	Ave				0,89							

Ket.

[1] Ali Toudert dan Mayer (2006)

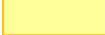
[2] Taleghani dkk (2015)

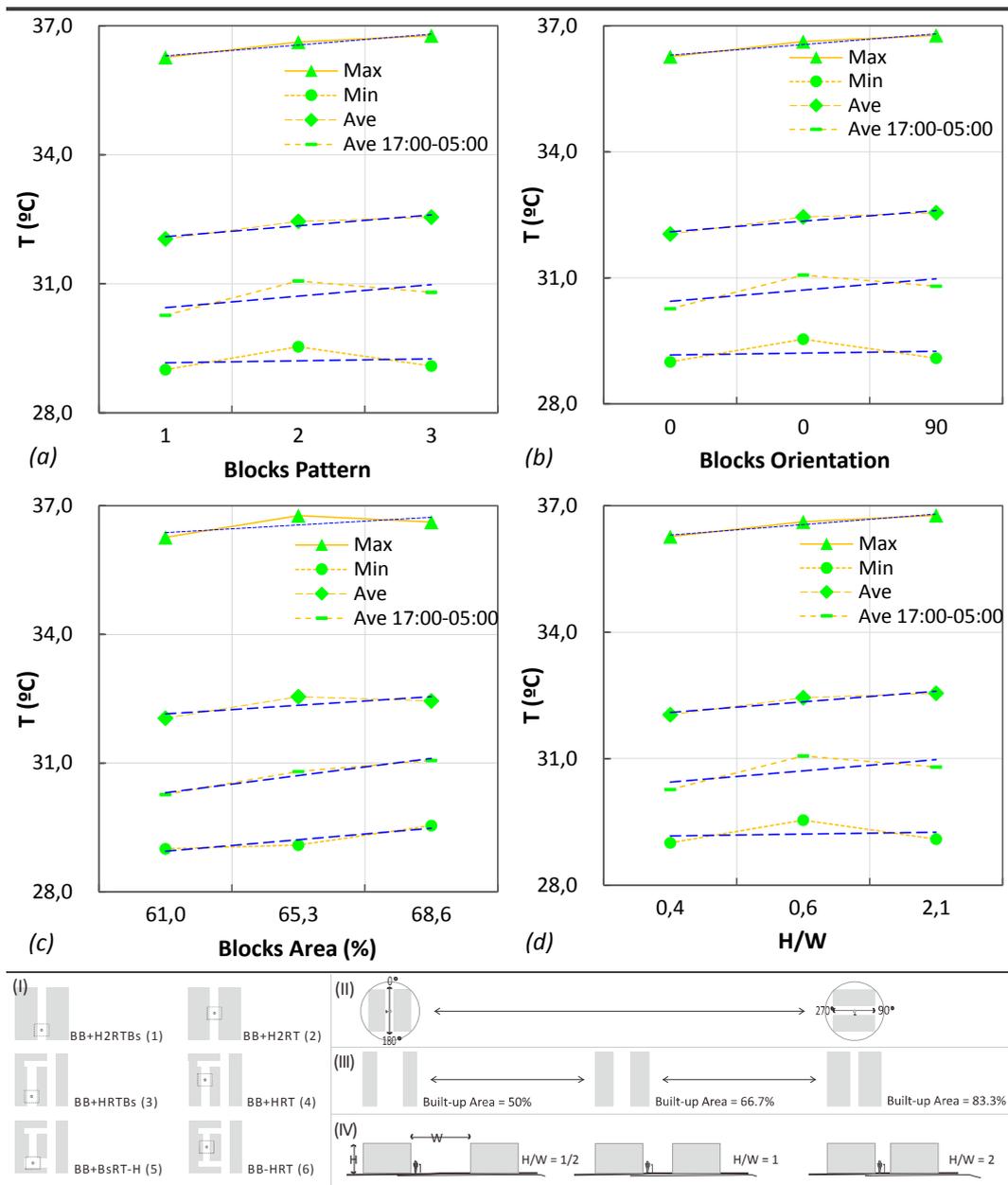
[3] Rose dkk (2010)

[4] Oke (1981)

[5] Oke (1988)

[6] Blankenstein dan Kuttler (2004)

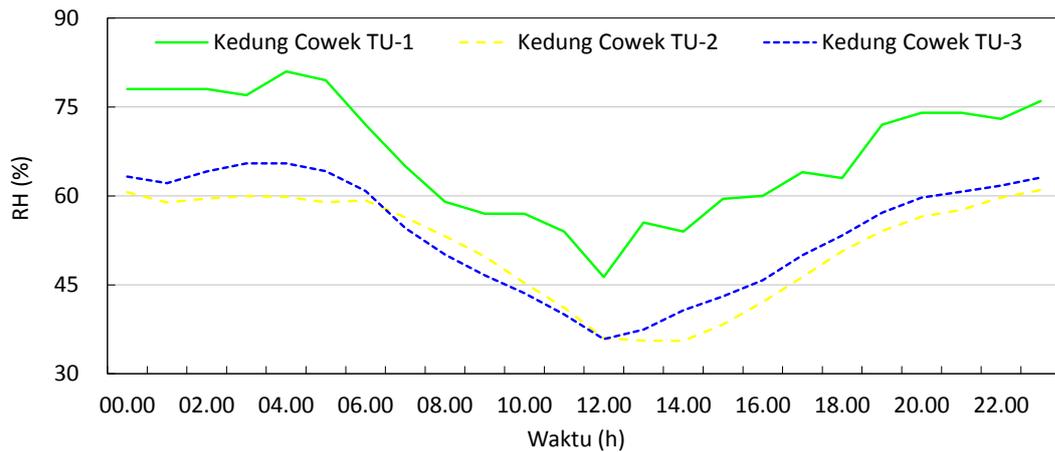
 Variabel terkaji/ dipengaruhi
 Variabel berpengaruh dominan



Gambar 4.22 Kecenderungan antara Kondisi Temperatur Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.

d. Kelembaban udara

Gambaran kondisi kelembaban udara pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, ditunjukkan pada **Gambar 4.23** dan **24**, berikut ini.



Gambar 4.23 Grafik Kelembaban Udara pada Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek) (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015)

Titik Ukur	Geometri Lingkungan	Kelembaban Udara (%)					
		Min	Max	Ave	Ave: (05:00-17:00)	Ave: (17:00-05:00)	
K. Cowek TU-1	BP	1		81.0			
	BO	0					
	BA	61.0					
	H/W	0.4	46.3		67.0	60.2	74.4
K. Cowek TU-2	BP	2					
	BO	0		61.0			
	BA	68.6					
	H/W	0.6	35.6		51.5	46.0	57.2
K. Cowek TU-3	BP	3					
	BO	90		65.5			
	BA	65.3					
	H/W	2.1	35.8		53.7	47.1	60.8
Rata-rata			39.2	69.2	57.4	51.1	64.1

Cat:

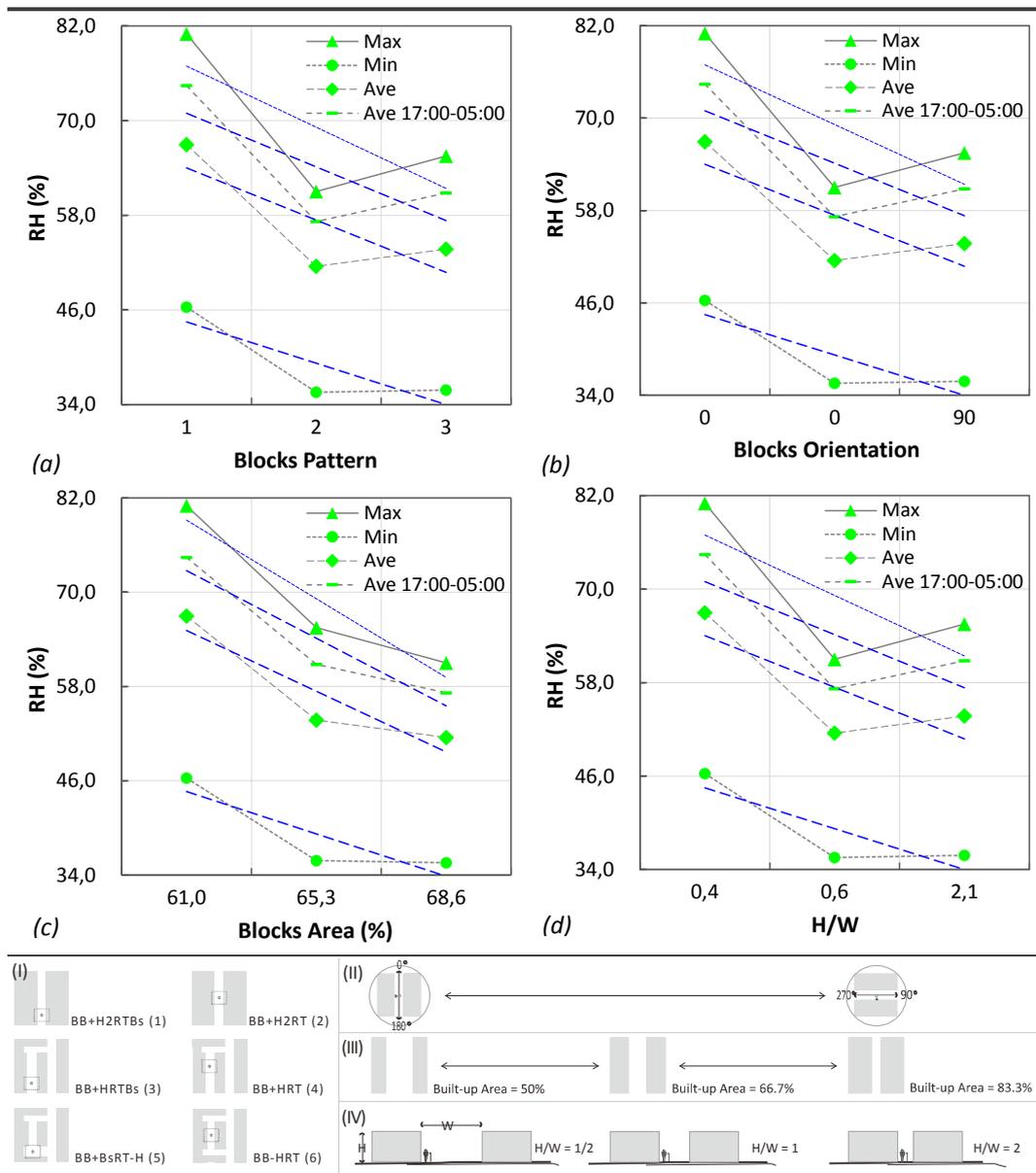
BP : Pola blok bangunan (*blocks pattern*): (1) BB+H2RTBs; (2) BB+H2RT; (3) BB+HBsRT; (4) BB+HRT; (5) BB+B_sRT-H; (6) BB-HRT

BO : Orientasi blok bangunan (*blocks orientation*); Utara-Selatan (o), Timur-Barat (90)

BA : Persentase area terbangun (*built-up area*, %)

H/W : Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (*height-to-width ratio/canyon*)

Gambar 4.24 Kondisi Geometri Lingkungan dan Kelembaban Udara dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Pengukuran Lapangan, 2015)



Gambar 4.25 Kecenderungan antara Kondisi Kelembaban Udara dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan dan Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.

Diketahui dari kedua gambar, [Gambar 4.23](#) dan [24](#), kelembaban udara dari tiga titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), berkisar antara $RH= 36-81\%$, atau kelembaban udara permukiman, $RH= 39-69\%$, atau kelembaban udara rata-rata permukiman, sekitar $RH= 57\%$. Rata-rata kelembaban udara satu titik ukur ($RH= 67\%$, pada Kedung Cowek TU-1), diketahui relatif lebih tinggi dari rata-rata kelembaban udara dua titik ukur lainnya ($RH= 52$ dan 54% , pada

masing- masing, Kedung Cowek TU-2 dan Kedung Cowek TU-3). Hal ini, bila dibandingkan dengan kondisi geometri dari ketiga titik ukur, maka diketahui bahwa kondisi kelembaban dari titik ukur tersebut, berbanding terbalik dengan kondisi keempat geometri dari ketiga titik ukur (lihat [Gambar 4.25](#)). Blok- blok dengan luas area terbangun lebih rendah, cenderung memiliki kelembaban udara lebih tinggi, atau sebaliknya. Demikian kecenderungan kondisi kelembaban udara terhadap geometri lingkungan yang lainnya. Hal ini, bila dibandingkan dengan kondisi temperatur udara dari titik- titik ukur, maka menunjukkan kecenderungan berbanding terbalik, mencerminkan yang dijelaskan oleh Lechner (2007), sebagaimana pada [Gambar 2.12](#). Namun, bila kondisi kelembaban udara dibandingkan dengan kondisi kecepatan angin dari titik- titik ukur tersebut, maka diketahui bahwa kondisi tersebut tidak mencerminkan pengaruh kecepatan angin terhadap kondisi kelembaban udara, perlu diamati lebih lanjut.

4.4 Simulasi Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan di Surabaya

Pembahasan ini bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut kondisi (termasuk kenyamanan) termal ruang luar permukiman perkotaan, permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) dan permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya. Dalam hal ini, pembahasan akan difokuskan untuk mengetahui bagaimana kondisi dan kenyamanan termal ruang luar tercipta (pada subyek), terkait hubungan dari keduanya dengan kondisi geometri lingkungannya, pola dan kepadatan bangunan. Kondisi dan kenyamanan termal dan kondisi geometri lingkungannya atau hubungan dari keduanya, akan diamati berdasarkan data-data hasil simulasi dari suatu model. Model, berupa model eksisting, yakni model berdasarkan kondisi eksisting subyek/ titik ukur. Program pembuatan model dan simulasi menggunakan program ENVI-met 3.1.

Dalam pembuatan model (model eksisting) yang selanjutnya akan dilakukan proses simulasi, dibutuhkan penginputan data-data, berupa: data lokasi (*location/ geographic properties*), data iklim, data material tutupan permukaan tanah (*properties*) dan data geometri bangunan (luas area dan ketinggian bangunan dan lebar jalan). Input data lokasi yakni berupa data posisi latitude

Surabaya (Lampiran C). Input data iklim, dalam hal ini adalah data iklim lima tahunan Surabaya (Lampiran D). Data iklim Surabaya didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Perak-1, terletak di sebelah Utara dan Barat, dengan jarak ± 3.700 m dan 6.800 m terhadap masing-masing subyek, permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) dan permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek). Untuk input data material tutupan permukaan tanah (properties) dan data geometri perkotaan (pola blok bangunan, area tutupan bangunan dan ketinggian bangunan) yakni data sesuai kondisi geometri pada subyek/ titik- titik pengukuran (Gambar 3.4).

Khusus untuk input data iklim (salah satu komponen input pada program ENVI-met 3.1), merupakan salah satu komponen data yang sangat berpengaruh terhadap data iklim mikro (kondisi termal ruang luar) hasil simulasi yang selanjutnya akan digunakan untuk melihat hubungan dari kedua variabel dalam penelitian ini (variabel desain dan variabel lingkungan), adalah berupa data iklim lima tahunan Surabaya. Sementara, data-data kondisi termal ruang luar hasil pengukuran langsung pada subyek penelitian, merupakan data kondisi sebenarnya pada subyek yang sebelumnya digunakan untuk melihat kecenderungan hubungan dari kedua variabel penelitian ini, merupakan data iklim harian (mikro) pada kondisi hari/ bulan terpanas Surabaya. Adanya perbedaan kondisi/ waktu antara kedua data iklim tersebut (data kondisi termal ruang luar hasil simulasi dan hasil pengukuran), dapat mengakibatkan adanya perbedaan kondisi dari kedua data, selanjutnya dapat berpengaruh terhadap hasil penelitian ini. Oleh karena itu, sebelum melakukan analisis data, dibutuhkan tahap verifikasi data untuk mengetahui kondisi ataupun perbedaan (deviasi) antara kedua data, data iklim hasil pengukuran dan hasil simulasi.

4.4.1 Verifikasi Data

Secara umum, verifikasi data dalam penelitian ini terdiri dari dua tahap verifikasi. Verifikasi awal, akan dilakukan dengan membandingkan data kondisi termal ruang luar hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi. Data kondisi termal hasil pengukuran lapangan, merupakan data kondisi termal dari kedua subyek, permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) dan pinggiran kota

(Kampung Kedung Cowek) yang telah dikumpulkan pada 9-12 Nopember 2015 dan 18-21 Nopember 2015 dari masing-masing subyek. Sementara data kondisi termal hasil simulasi, berupa kondisi termal hasil simulasi dari suatu model (model eksisting subyek/ titik-titik pengukuran) dengan input data iklim makro Surabaya, menurut waktu penelitian lapangan pada kedua subyek, atau dalam hal ini disebut data kondisi termal hasil simulasi pada kondisi pengukuran.

Tahap selanjutnya, didasarkan atas tujuan penelitian ini, yakni untuk melihat pengaruh pola dan kepadatan bangunan terhadap kondisi termal ruang luar subyek (permukiman perkotaan di Surabaya) pada kondisi terpanas, maka data kondisi termal yang akan digunakan (untuk keperluan analisis data) adalah data kondisi termal hasil simulasi pada kondisi terpanas (waktu terpanas Surabaya, 22 Oktober). Dengan demikian, terdapat perbedaan waktu antara data ini (data kondisi termal hasil simulasi pada kondisi terpanas) dengan data kondisi termal hasil pengukuran lapangan atau data hasil simulasi pada kondisi pengukuran, selanjutnya dapat mengakibatkan perbedaan kondisi diantara kedua data. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbandingan antara kedua data, data hasil simulasi pada kondisi terpanas dan data hasil simulasi data pada kondisi pengukuran, untuk mengetahui kondisi dari keduanya.

Proses verifikasi (dua tahap verifikasi) akan dilakukan terhadap dua titik pengukuran, yakni masing- masing satu titik pengukuran dari kedua subyek penelitian ini, permukiman tengah kota (Kampung Peneleh) dan permukiman di pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek). Verifikasi terhadap titik pengukuran permukiman tengah kota akan dilakukan pada Peneleh TU-1, dan titik pengukuran permukiman pinggiran kota, pada K. Cowek TU-3. Penentuan dua titik ukur dari kedua subyek, bertujuan untuk membandingkan kedua data iklim (data iklim hasil pengukuran dan hasil simulasi) pada dua kondisi waktu yang berbeda (menurut waktu penelitian lapangan dari masing-masing subyek). Sementara, kedua titik ukur (Peneleh TU-1 dan K. Cowek TU-3) dipilih karena keduanya memiliki perbedaan karakter geometri, baik pola maupun tingkat kepadatan bangunan (persentase area terbangun dan geometri jalan, H/W). Dengan demikian, keseluruhan proses verifikasi yang dilakukan akan berguna untuk melihat kondisi

kedua data (data iklim hasil pengukuran dan hasil simulasi) pada geometri dengan karakter yang berbeda. Tahap verifikasi selengkapnya akan diuraikan berikut ini.

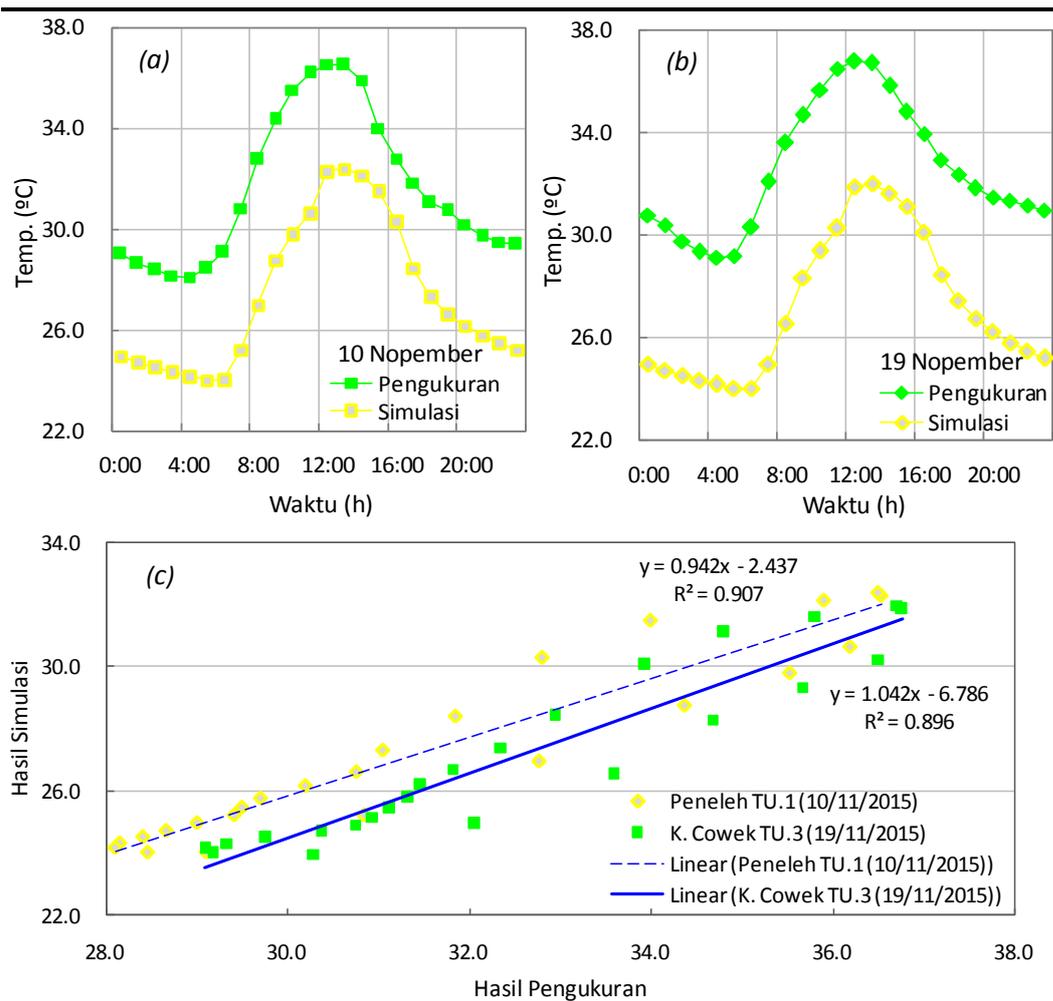
a. Kondisi termal ruang luar hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi

Sebagai langkah awal proses verifikasi data, diperlukan untuk melakukan penginputan data-data, berupa data waktu dan periode simulasi dan data kondisi iklim (lihat [Tabel 4.6](#)). Khusus untuk data periode simulasi, dimulai pada pukul 06:00 dan selesai pada pukul 11:00 di hari berikutnya (total waktu 30 jam). Pengaturan waktu mulai simulasi pada pagi hari (pukul 06:00), dikarenakan waktu terbaik memulai simulasi adalah saat matahari terbit. Sementara, periode simulasi (30 jam), dibuat relatif lebih lama (6 jam lebih lama) dibanding periode data yang dibutuhkan (satu hari penuh, 24 jam), guna mendapatkan hasil (data kondisi termal) yang lebih akurat. Hal ini sebagaimana dinyatakan dalam Ng dkk (2012), bahwa waktu terbaik memulai simulasi adalah saat matahari terbit, sementara data hasil simulasi yang akurat (terbebas dari pengaruh proses inisialisasi) adalah data setelah enam jam awal.

Tabel 4.6 Input Data ENVI-met untuk Kebutuhan Verifikasi Data

	Peneleh TU-1	Kedung Cowek TU-3
Mulai simulasi	10.11.2014	19.11.2014
Periode simulasi	06:00-11:00 (30 Jam)	06:00-11:00 (30 Jam)
Kecepatan angin (di ketinggian 10 m)	3.1 m/d	3.1 m/d
Arah angin (Utara = 0°, Timur = 90°)	10°	10°
Inisial temperatur	302.55 K (29.4°C)	302.55 K (29.4°C)
Kelembaban udara (di ketinggian 2 m)	74%	74%
Temperatur di dalam bangunan	302.55 K (29.4°C)	302.55 K (29.4°C)

Selanjutnya, data kondisi termal ruang luar (temperatur udara) hasil simulasi dan data hasil pengukuran lapangan dari kedua titik ukur, Peneleh TU-1 dan Kedung Cowek TU-3, akan diperbandingkan. Grafik perbandingan temperatur udara hasil pengukuran dan hasil simulasi dari kedua titik ukur (Peneleh TU-1 dan Kedung Cowek TU-3), ditunjukkan pada [Gambar 4.26](#), berikut ini.



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Temperatur Udara Hasil Pengukuran Lapangan dan Hasil Simulasi dari Dua Titik Pengukuran: (a) Temperatur Udara pada Peneleh TU-1 (10 Nopember), (b) Temperatur Udara pada Kedung Cowek TU-3 (19 Nopember), dan (c) Hubungan antara Temperatur Udara Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi dari Kedua Titik Ukur (Hasil Analisis, 2015)

Dari **Gambar 4.26a** dan **b**, dapat diketahui bahwa kondisi temperatur udara (T_a) hasil simulasi relatif lebih rendah dibanding dengan kondisi temperatur udara hasil pengukuran lapangan. Kondisi tersebut terjadi pada kedua titik ukur, Peneleh TU-1 (titik ukur di tengah kota) dan Kedung Cowek TU-3 (titik ukur di pinggiran kota), terjadi sepanjang hari (siang-malam). Rata-rata perbedaan (deviasi) dari kedua data temperatur udara tersebut adalah sekitar 4.25°C ($\Delta T_a: \text{min-max}: 2.5\text{-}5.8^{\circ}\text{C}$), untuk titik ukur Peneleh TU-1 (**Gambar 4.26a**) dan 5.39°C ($\Delta T_a: \text{min-max}: 3.7\text{-}7.1^{\circ}\text{C}$), untuk titik ukur Kedung Cowek TU-3 (**Gambar 4.26b**).

Deviasi minimum dari kedua data temperatur udara tersebut umumnya terjadi pada siang hari (15:00), sementara maksimum, terjadi pada pagi hari (07:00-08:00). Untuk hubungan kedua data, menunjukkan hubungan yang relatif kuat, baik pada titik ukur Peneleh TU-1 ($R^2= 0.91$), maupun pada titik ukur K. Cowek TU-3 ($R^2= 0.90$) ([Gambar 4.26c](#)).

Nilai deviasi kedua data temperatur udara (temperatur hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi) dari kedua titik ukur tersebut di atas, menunjukkan nilai yang relatif tinggi. Nilai deviasi dari kedua data temperatur udara pada kedua titik ukur tersebut (4.25°C dan 5.39°C), lebih tinggi dibanding dengan nilai deviasi yang dinyatakan dalam Bruse (2002), yakni $2-4^{\circ}\text{C}$. Namun, nilai korelasi dari kedua data tersebut ($R^2= 0.91$ dan $R^2= 0.90$), relatif tinggi atau sama dengan nilai korelasi yang diungkap oleh Taleghani dkk (2015) ($R^2= 0.80$). Besarnya nilai deviasi antara kedua data tersebut dapat disebabkan oleh rendahnya nilai rata-rata kondisi iklim yang di-input ke dalam program (ENVI-met 3.1) bila dibandingkan dengan nilai rata-rata data iklim hasil pengukuran. Selain itu, dikarenakan ENVI-met 3.1 tidak memperhitungkan penyimpanan panas oleh bidang ataupun material permukaan, sehingga pembacaan temperatur udara cenderung lebih rendah dari kondisi lapangan, terutama temperatur udara pada malam hari, sebagaimana diungkap oleh Ali-Toudert dan Mayer (2006).

b. Kondisi termal ruang luar hasil simulasi pada kondisi pengukuran dan kondisi terpanas

Dalam tahap ini, kondisi termal ruang luar hasil simulasi pada dua kondisi waktu, kondisi pengukuran (10 dan 19 Nopember) dan kondisi terpanas (22 Oktober), akan dilihat. Khusus untuk simulasi pada kondisi terpanas, penginputan data kembali dilakukan sebagaimana penginputan data pada tahap sebelumnya (simulasi pada kondisi pengukuran), namun berdasarkan kondisi iklim lokasi penelitian (Surabaya) pada kondisi terpanas (lihat [Tabel 4.7](#)). Selanjutnya, kondisi termal ruang luar hasil simulasi pada kedua kondisi waktu (kondisi pengukuran dan kondisi terpanas), dari dua titik ukur, Peneleh TU-1 dan K. Cowek TU-3, ditunjukkan pada [Tabel 4.8](#) dan [Gambar 4.27](#).

Tabel 4.7 Input Data ENVI-met untuk Kondisi Terpanas

Mulai simulasi	22.10.2014
Periode simulasi	06:00-11:00 (30 Jam)
Kecepatan angin (di ketinggian 10 m)	3.86 m/d
Arah angin (Utara = 0°, Timur = 90°)	90°
Inisial temperatur	302.95 K (29.8°C)
Kelembaban udara (di ketinggian 2 m)	66%
Temperatur di dalam bangunan	302.95 K (29.8°C)

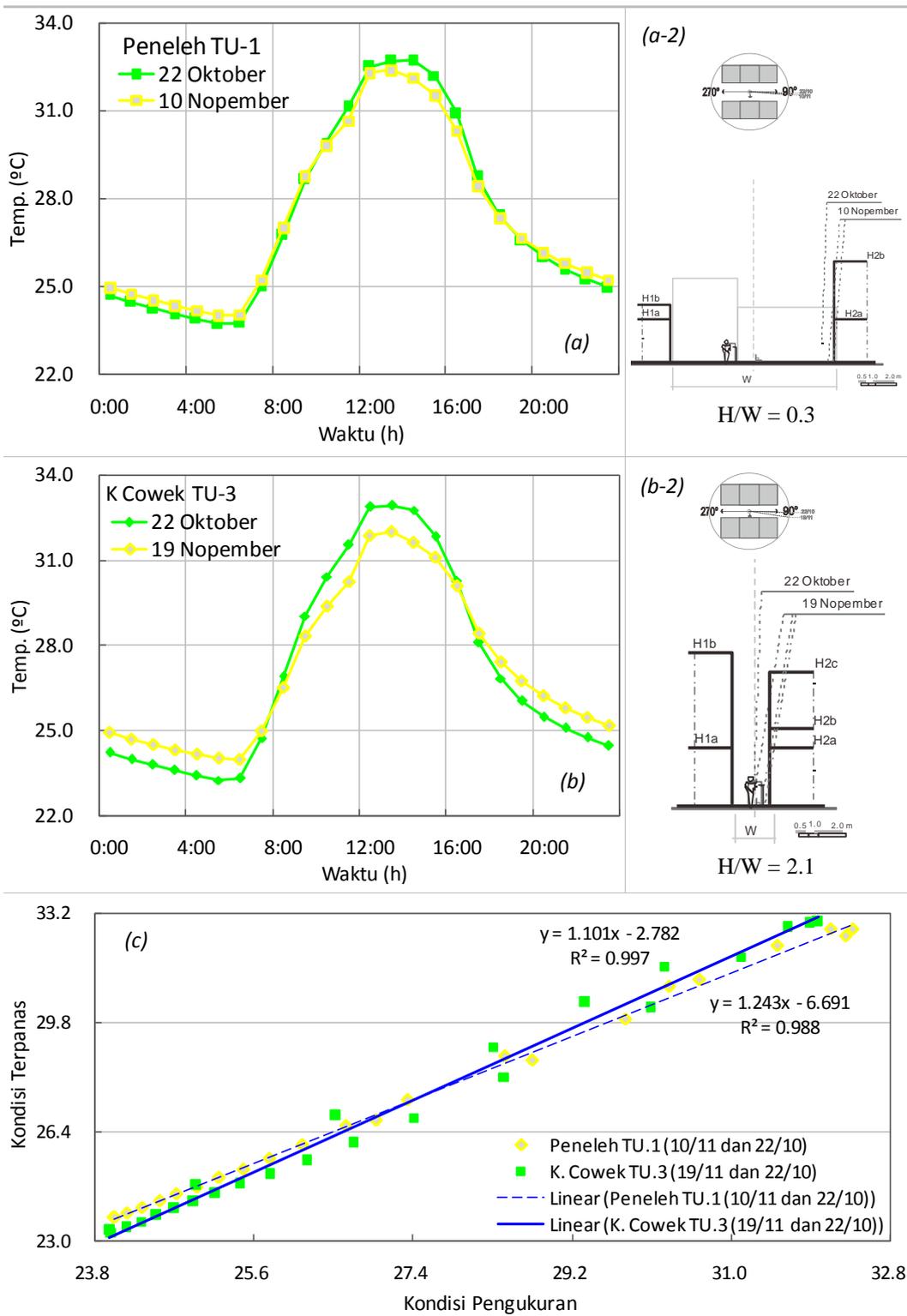
Tabel 4.8 Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi pada Kondisi Pengukuran dan Kondisi Terpanas pada Peneleh TU-1 (Titik Ukur Permukiman Tengah Kota) dan K. Cowek TU-3 (Titik ukur Permukiman Pinggiran Kota), Surabaya

			Peneleh TU-1		K Cowek TU-3	
			Kondisi Pengukuran (10 Nop)	Kondisi Terpanas (22 Okt)	Kondisi Pengukuran (19 Nop)	Kondisi Terpanas (22 Okt)
Temperatur Udara	Maksimum		32,4	32,7	32,0	32,9
	Minimum	(°C)	24,0	23,7	24,0	23,3
	Rata-rata		27,3	27,3	27,2	27,1
Durasi & Intensitas Radiasi Matahari Langsung	Durasi	(Jam)	10	10	0	9
	Maksimum	(Watt/m ²)	954	974	-	971
	Rata-rata		651	667	-	616
Arah & Kecepatan Angin	Arah	(°)	10	90	10	90
	Maksimum		0,4	1,2	0,4	2,0
	Minimum	(m/d)	0,3	1,0	0,4	1,7
	Rata-rata		0,4	1,1	0,4	1,8

Sebagaimana ditunjukkan pada [Tabel 4.8](#), temperatur udara rata-rata pada kedua kondisi waktu, kondisi pengukuran dan kondisi terpanas, relatif sama. Akan tetapi, pada kondisi minimum dan maksimum, temperatur udara dari kedua kondisi waktu, relatif berbeda, terjadi pada kedua titik ukur, Peneleh TU-1 (titik ukur permukiman tengah kota) dan K. Cowek TU-3 (titik ukur permukiman pinggiran kota). Temperatur udara maksimum pada kondisi terpanas (22 Oktober) relatif lebih tinggi dibanding temperatur maksimum pada kondisi pengukuran (10 dan 19 Nopember). Temperatur udara maksimum dari kedua kondisi waktu,

kondisi terpanas dan kondisi pengukuran, masing-masing adalah 32.7°C dan 32.4°C, pada Peneleh TU-1, dan 32.9°C dan 32.0°C, pada K. Cowek TU-3. Dengan kata lain, derajat temperatur maksimum pada kondisi terpanas adalah sekitar 0.3°C dan 0.9°C (untuk masing-masing Peneleh TU-1 dan K. Cowek TU-3) lebih tinggi dibanding temperatur maksimum pada kondisi pengukuran. Sebaliknya, pada kondisi minimum, temperatur udara pada kondisi terpanas relatif lebih rendah dibanding pada kondisi pengukuran. Temperatur minimum dari masing-masing kondisi waktu, kondisi terpanas dan kondisi pengukuran, yaitu 23.7°C dan 24.0°C (Peneleh TU-1) dan 23.3°C dan 24.0°C (K. Cowek TU-3), atau sama dengan 0.3°C dan 0.7°C (untuk masing-masing kasus titik ukur, Peneleh TU-1 dan K. Cowek TU-3), temperatur minimum pada kondisi terpanas lebih rendah dibanding temperatur minimum pada kondisi pengukuran. Grafik temperatur udara hasil simulasi dari kedua kondisi waktu, kondisi terpanas dan kondisi pengukuran pada dua titik ukur, Peneleh TU-1 dan K. Cowek TU-3, ditunjukkan pada [Gambar 4.27](#).

Berdasarkan [Tabel 4.8](#) dan [Gambar 4.27](#), perbedaan derajat temperatur udara (temperatur maksimum dan temperatur minimum) yang terjadi antara kedua kondisi waktu (kondisi pengukuran dan kondisi terpanas), dapat disebabkan oleh dua faktor utama, yakni faktor lingkungan (kondisi iklim) dan faktor desain fisik lingkungan (karakter geometri lingkungan). Faktor lingkungan berupa: perbedaan nilai intensitas radiasi matahari langsung (*direct short-wave radiation*), termasuk lama waktu penyinaran titik ukur dan perbedaan arah dan kecepatan angin (pada titik ukur) antara kedua kondisi waktu, kondisi pengukuran dan kondisi terpanas, disebabkan adanya selisih waktu ataupun perbedaan sudut jatuh radiasi matahari antara kedua kondisi waktu tersebut. Sementara faktor geometri lingkungan, sebagai penerima, berpengaruh pada penerimaan radiasi matahari dan pelepasan panas (beban panas), selanjutnya berdampak pada kondisi termal (temperatur) lingkungan. Terkait peran kedua hal tersebut (faktor iklim dan faktor fisik lingkungan), telah diungkap oleh beberapa peneliti, diantaranya Oke (1987) dan Arnfield (2003), bahwa dua faktor utama yang mempengaruhi kondisi iklim mikro di wilayah perkotaan yakni kondisi iklim dan faktor desain fisik lingkungan.



Gambar 4.27 (a, b) Grafik Temperatur Udara Hasil Simulasi pada Kondisi Terpanas (22 Oktober) dan Kondisi Pengukuran (10 dan 19 Nopember) dan (c) Hubungan antara Temperatur Udara pada Kondisi Pengukuran dan Kondisi Terpanas dari Dua Titik Ukur, Peneleh TU-1 (pada Permukiman Tengah Kota) dan K Cowek TU-3 (pada Permukiman Pinggiran Kota), Surabaya (Hasil Analisis, 2015).

Disebabkan adanya selisih waktu antara kondisi pengukuran dan kondisi terpanas, sehingga sudut jatuh radiasi matahari dari kedua kondisi waktu, relatif berbeda (lihat pada [Gambar 4.1](#) dan [Gambar 4.27a-2](#) dan [b-2](#)), selanjutnya mengakibatkan kondisi iklim dari keduanya juga berbeda (lihat [Tabel 4.8](#) dan atau [Gambar 4.27](#)). Seperti terlihat pada gambar ([Gambar 4.27a-2](#) dan [b-2](#)), sudut jatuh radiasi matahari pada kondisi terpanas, relatif berimpit terhadap sudut normal (tegak lurus dengan permukaan tanah). Sementara, sudut jatuh radiasi pada kondisi pengukuran, cenderung miring (bergeser dari sudut normal). Sebagai akibatnya, intensitas radiasi matahari pada kondisi terpanas, relatif lebih tinggi dibanding intensitas radiasi matahari pada kondisi pengukuran, masing-masing yakni 974 dan 954 Watt/m². Pada faktor iklim lainnya yakni arah angin, juga terlihat adanya perbedaan kondisi untuk kedua kondisi waktu (kondisi pengukuran dan kondisi terpanas). Terlihat pada [Tabel 4.8](#), arah angin pada kondisi terpanas bertiup dari arah Timur ($\pm 90^\circ$), sementara pada kondisi pengukuran, dari arah Utara ($\pm 0^\circ$).

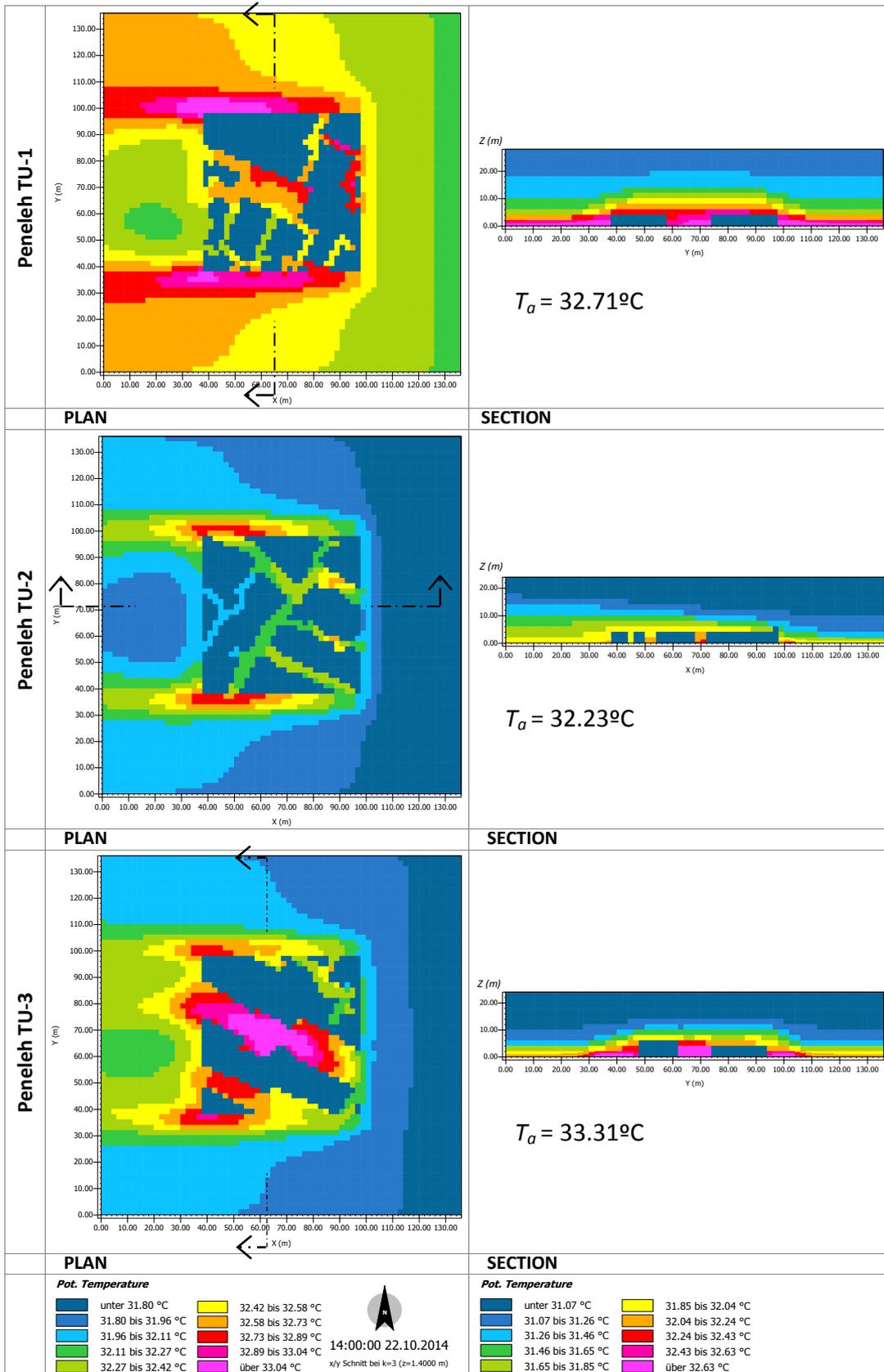
Faktor lain penyebab terjadinya perbedaan derajat temperatur udara antara kondisi pengukuran dan kondisi terpanas adalah karakter geometri lingkungan (bangunan). Kondisi geometri lingkungan menentukan besar penerimaan beban panas (radiasi matahari) dan laju pelepasan panas lingkungan. Akan tetapi, penerimaan beban panas dan pelepasan panas oleh geometri lingkungan, juga dipengaruhi oleh kondisi faktor iklim. Seperti terlihat pada [Tabel 4.8](#), durasi penyinaran antara kedua kondisi waktu, kondisi terpanas dan kondisi pengukuran, relatif sama pada Peneleh TU-1 (masing-masing selama 10 jam), namun relatif berbeda pada K. Cowek TU-3 (selama 9 dan 0 jam, dari masing-masing kondisi waktu). Kondisi durasi penyinaran tersebut disebabkan oleh kedua faktor, kondisi geometri lingkungan dan sudut jatuh radiasi matahari (lihat [Gambar 4.27a-2](#) dan [b-2](#)). Hal serupa yang terjadi terhadap kondisi kecepatan angin pada titik ukur. Rata-rata kecepatan angin pada kondisi terpanas cenderung lebih tinggi dibanding rata-rata kecepatan angin pada kondisi pengukuran, terjadi pada kedua titik ukur, Peneleh TU-1 dan K. Cowek TU-3. Rata-rata kecepatan angin untuk masing-masing kondisi terpanas dan kondisi pengukuran adalah 1,1 dan 0,4 m/d, pada Peneleh TU-1 dan 1,8 dan 0,4 m/d, pada K. Cowek TU-3. Perbedaan kecepatan angin dari kedua kondisi waktu, dapat disebabkan oleh perbedaan orientasi titik

ukur (blok bangunan) terhadap arah sumber angin. Hal ini, sebagaimana telah diungkap pada pembahasan sebelumnya, sesuai yang dinyatakan oleh Hang dkk (2009) dan Asfour (2010). Selanjutnya, kondisi kedua faktor iklim, radiasi matahari (sudut jatuh radiasi matahari dan atau intensitas radiasi matahari) dan kecepatan angin yang mempengaruhi titik ukur, akan ikut berpengaruh terhadap kondisi termal (temperatur udara) ruang luar, sebagaimana telah diketahui dari pembahasan sebelumnya.

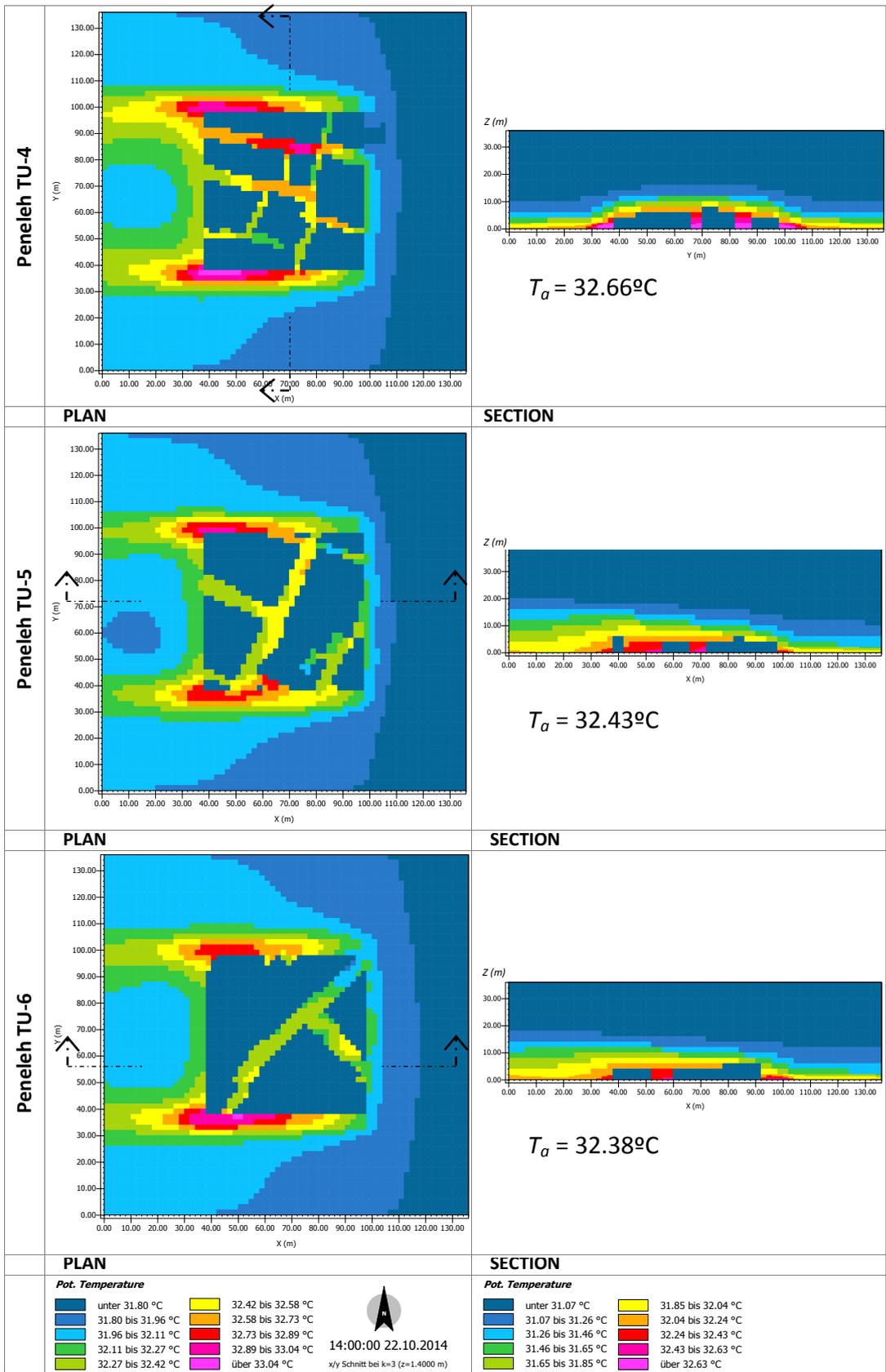
Dari uraian di atas, telah dapat dipahami bahwa perbedaan waktu antara kondisi terpanas dan kondisi pengukuran mengakibatkan adanya perbedaan kondisi termal (pada kondisi tertentu) diantara kedua kondisi waktu. Namun, dari hubungan antara kedua data kondisi termal (temperatur udara) pada kondisi pengukuran dan kondisi terpanas ([Gambar 4.27c](#)), menunjukkan hubungan yang kuat ($R^2 = 0.99$), berarti bahwa kondisi kedua data secara keseluruhan, relatif sama. Dengan demikian, kecenderungan/ hubungan yang terjadi antara kedua variabel (geometri lingkungan dan kondisi termal ruang luar) dari kedua kondisi waktu (kondisi pengukuran dan kondisi terpanas), juga akan relatif sama.

4.4.2 Simulasi Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Tengah Kota, Surabaya

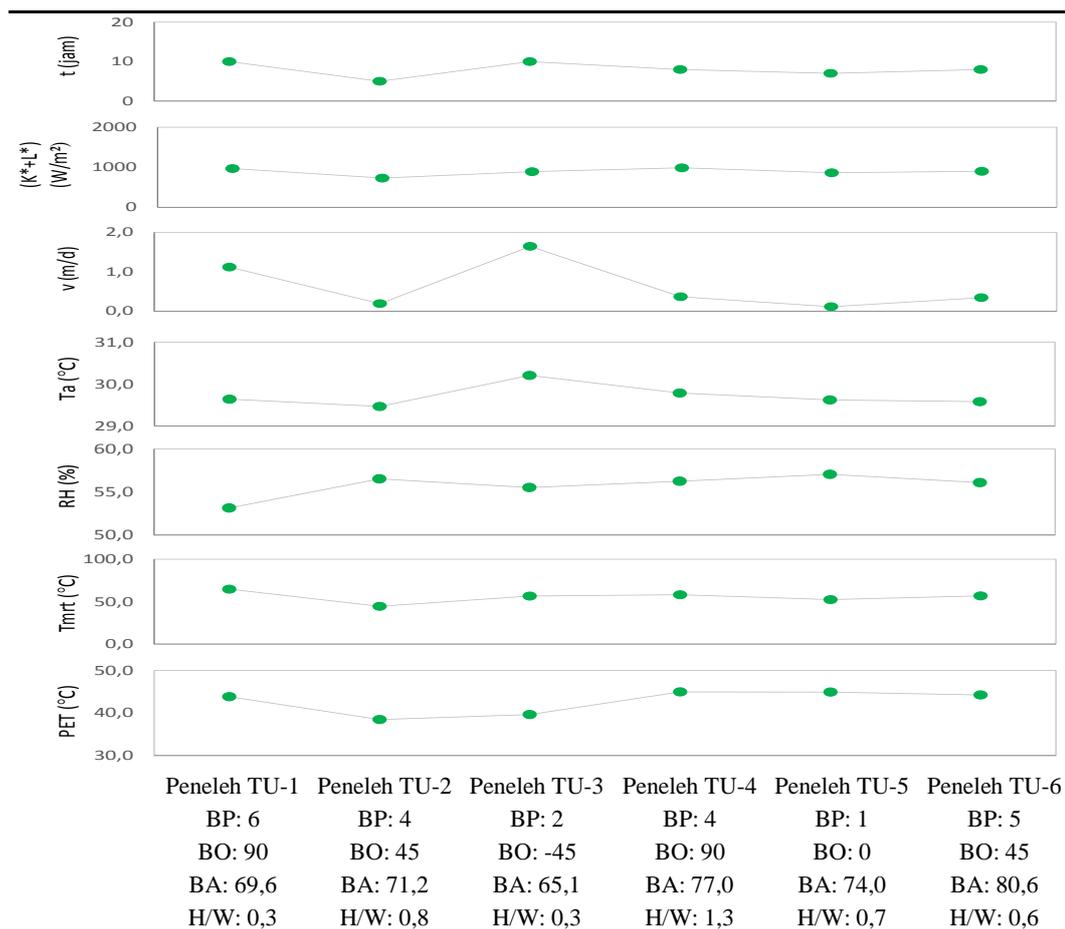
Gambaran kondisi termal (temperatur udara) hasil simulasi dari enam titik ukur pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, pada kondisi puncak siang hari (pukul 14:00), ditunjukkan pada [Gambar 4.28](#). Dari gambar terlihat bahwa derajat temperatur udara dari titik- titik ukur pada kondisi waktu tersebut, berkisar $T_{a-14:00} = 32,23- 33,31^\circ\text{C}$. Temperatur udara satu titik ukur (Peneleh TU-3, titik ukur dengan luas area jalan terbesar/ persentase area terbangun terkecil), diketahui relatif lebih tinggi dari lima titik ukur lainnya (Peneleh TU-1, Peneleh TU-2, Peneleh TU-4, Peneleh TU-5, dan Peneleh TU-6). Temperatur udara Peneleh TU-3 dan lima titik ukur lainnya, masing- masing yakni $T_{a-14:00} = 33,31^\circ\text{C}$ dan berkisar $T_{a-14:00} = 32,23- 32,71^\circ\text{C}$. Selanjutnya, kondisi geometri dan keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar dari enam titik ukur pada permukiman tengah kota (Kampung Peneleh), Surabaya, dapat dilihat pada [Gambar 4.29](#), [Tabel 4.9](#) dan [Lampiran F](#).



Gambar 4.28 Gambaran Kondisi Temperatur Udara (Pukul 14:00) dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota, Surabaya: (a) Denah (b) Potongan (Hasil Simulasi, 2016)



Gambar 4.28 Lanjutan Gambaran Kondisi Temperatur Udara (Pukul 14:00) dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota, Surabaya: (a) Denah (b) Potongan (Hasil Simulasi, 2016)



Gambar 4.29 Gambaran Kondisi dan Kenyamanan Termal dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya (Hasil Simulasi, 2016)

Dari kedua gambar dan tabel ([Gambar 4.29](#) dan [Tabel 4.9](#)), terlihat bahwa kondisi termal (temperatur udara) cenderung berbanding lurus dengan kondisi durasi penyinaran dan atau jumlah beban panas yang dimiliki titik ukur. Titik- titik ukur dengan temperatur udara yang relatif tinggi, juga memiliki durasi penyinaran dan atau jumlah beban panas blok yang relatif besar, atau sebaliknya (Peneleh TU-3: $T_a = 30,2^\circ\text{C}$, $t = 10$, $(K^*+L^*) = 891 \text{ W/m}^2$, Peneleh TU-4: $T_a = 29,8^\circ\text{C}$, $t = 8$, $(K^*+L^*) = 987 \text{ W/m}^2$ dan Peneleh TU-2: $T_a = 29,5^\circ\text{C}$, $t = 5$, $(K^*+L^*) = 731 \text{ W/m}^2$). Demikian halnya dengan kondisi temperatur radian. Sementara, *PET*, selain memiliki kecenderungan dengan kondisi jumlah beban pans blok, juga terhadap kondisi kecepatan angin blok. Selanjutnya, hubungan antar faktor kenyamanan termal (variabel lingkungan) dan kondisi geometri lingkungan dengan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, ditunjukkan pada [Gambar 4.30](#) dan [Tabel 4.10](#).

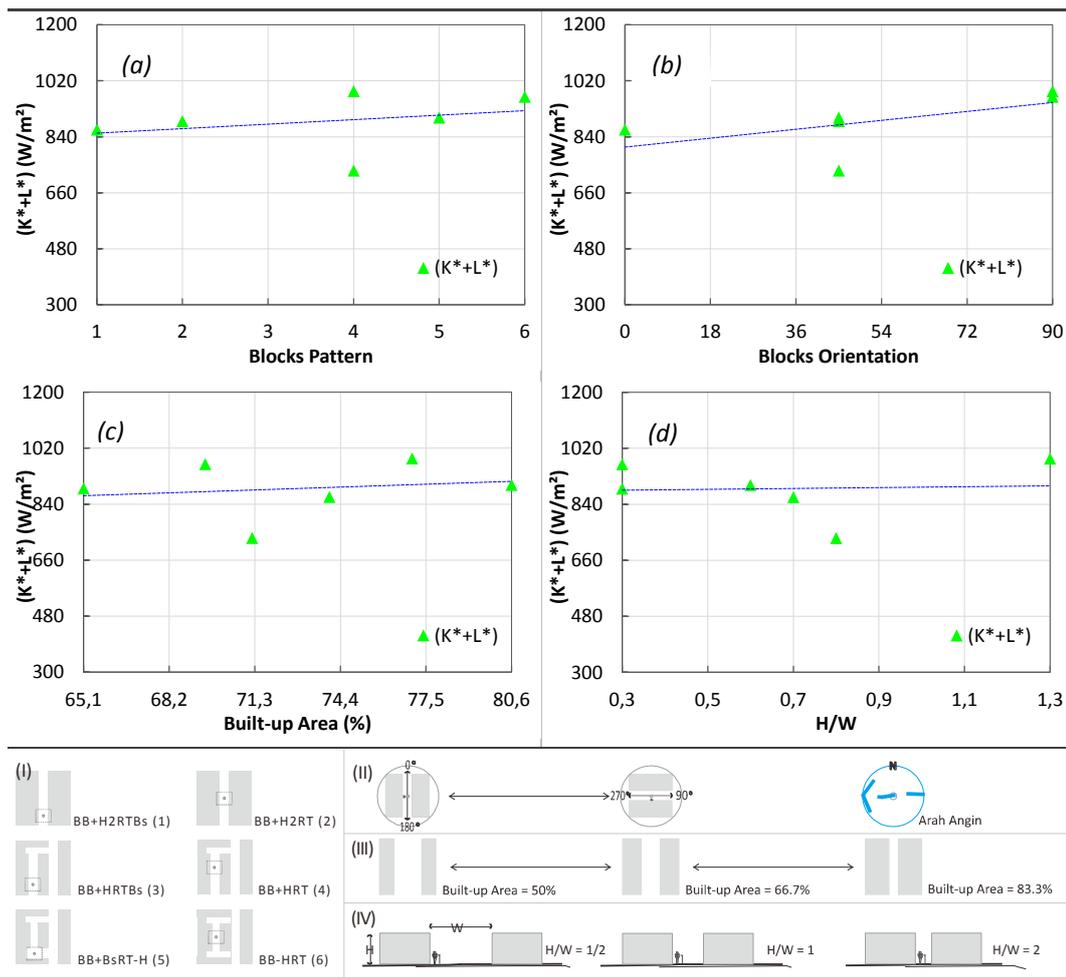
Tabel 4.9 Geometri, Rata- rata Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Siang Hari (06:00-16:00) dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota, Surabaya

	Satuan	Peneleh TU-1	Peneleh TU-2	Peneleh TU-3	Peneleh TU-4	Peneleh TU-5	Peneleh TU-6
		BP: 6	BP: 4	BP: 2	BP: 4	BP: 1	BP: 5
		BO: 90	BO: 45	BO: -45	BO: 90	BO: 0	BO: 45
		BA: 69.6	BA: 71.2	BA: 65.1	BA: 77.0	BA: 74.0	BA: 80.6
		H/W: 0.3	H/W: 0.8	H/W: 0.3	H/W: 1.3	H/W: 0.7	H/W: 0.6
Durasi Penyinaran (<i>t</i>)	jam	10	5	10	8	7	8
Rata-rata Radiasi Langsung (<i>K.dir</i>)		785	428	697	656	590	662
Rata-rata Radiasi Difus (<i>K.dif</i>)		74	48	74	73	55	61
Rata-rata Radiasi Pantul (<i>K.ref</i>)	W/m ²	33	77	34	35	66	54
Total Paparan Radiasi SW (<i>K*</i>)		893	554	804	764	710	777
Timbunan Radiasi LW (<i>L*</i>)		76	178	86	223	153	125
Jumlah Beban Panas (<i>K* + L*</i>)		969	731	891	987	863	902
Rata-rata Kecepatan Angin (<i>v</i>)	m/d	1,1	0,2	1,6	0,4	0,1	0,3
Rata-rata Temperatur Udara (<i>Ta</i>)	°C	29,6	29,5	30,2	29,8	29,6	29,6
Rata-rata Kelembaban Udara (<i>RH</i>)	%	53,1	56,5	55,5	56,3	57,1	56,1
Temperatur radian (<i>Tmrt</i>)	°C	64,8	44,5	56,6	58,0	52,4	56,9
PET (°C)		43,8	38,5	39,6	44,9	44,9	44,3

Ket.

BP	Pola blok bangunan (<i>blocks pattern</i>)
BO	Orientasi blok bangunan (<i>blocks orientation</i>)
BA	Persentase area terbangun (<i>built-up area</i>)
H/W	Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (<i>height-to-width ratio</i>)

Berdasarkan [Gambar 4.30](#), dapat diketahui bahwa kondisi beban panas blok memiliki kecenderungan relatif lebih kuat dengan orientasi blok bangunan, dibanding terhadap variabel desain lainnya. Hubungan antara keduanya yakni hubungan positif. Hal ini berarti, beban panas blok akan cenderung meningkat seiring dengan pergeseran orientasi blok, dari Utara- Selatan (0°) ke Timur- Barat (90°). Hal ini, menurut [Tabel 4.10](#), disebabkan oleh penambahan durasi penyinaran blok seiring dengan pergeseran orientasi blok (dari Utara- Selatan ke Timur- Barat). Demikian selanjutnya, beban panas blok memiliki hubungan terhadap faktor termal lainnya, yakni terutama hubungan kuat terhadap temperatur radian dan *PET*. Kecenderungan demikian ini, berlaku sama antara keseluruhan faktor kenyamanan termal dengan variabel- variabel desain. Dengan demikian, hal ini menunjukkan bahwa kondisi jumlah beban panas blok (penerimaan blok terhadap radiasi matahari ditambah timbunan radiasi gelombang panjang) dan kecepatan angin (dipengaruhi oleh kondisi variabel desain) dari blok/ titik- titik ukur tersebut, adalah faktor yang selanjutnya ikut menentukan kondisi termal lainnya dan atau kenyamanan termal dari titik ukur tersebut.



Gambar 4.30 Hubungan antara Beban Panas Blok dengan: a) Pola Blok Bangunan, (b) Orientasi Blok Bangunan, c) Persentase Area Tutupan Bangunan, dan d) Rasio antara Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan (H/W) dari Titik-titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

Tabel 4.10 Hubungan antara Geometri Lingkungan dengan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dan antar Variabel Lingkungan, pada Permukiman Tengah Kota (Kampung Peneleh), Surabaya.

	Hubungan Variabel														
	t		(K*+L*)		v		Ta		RH		Tmrt		PET		
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	
Pola Blok Bangunan (BP)		0,03		0,09		0		0,16						0,19	
Orientasi Blok Bangunan (BO)		0,18		0,35		0,1			0	0,44				0,34	
Luas Area Terbangun (BA)		0,12		0,03		0,56		0,31			0,16		0		
H/W		0,29		0		0,46		0,08			0,33		0,09		
Durasi Penyinaran (t)								0,46		0,51				0,79	0,06
Jumlah Beban Panas (K* + L*)								0,12		0,25				0,85	0,51
Rata-rata Kecepatan Angin (v)								0,64		0,42				0,28	0,11

Ket.

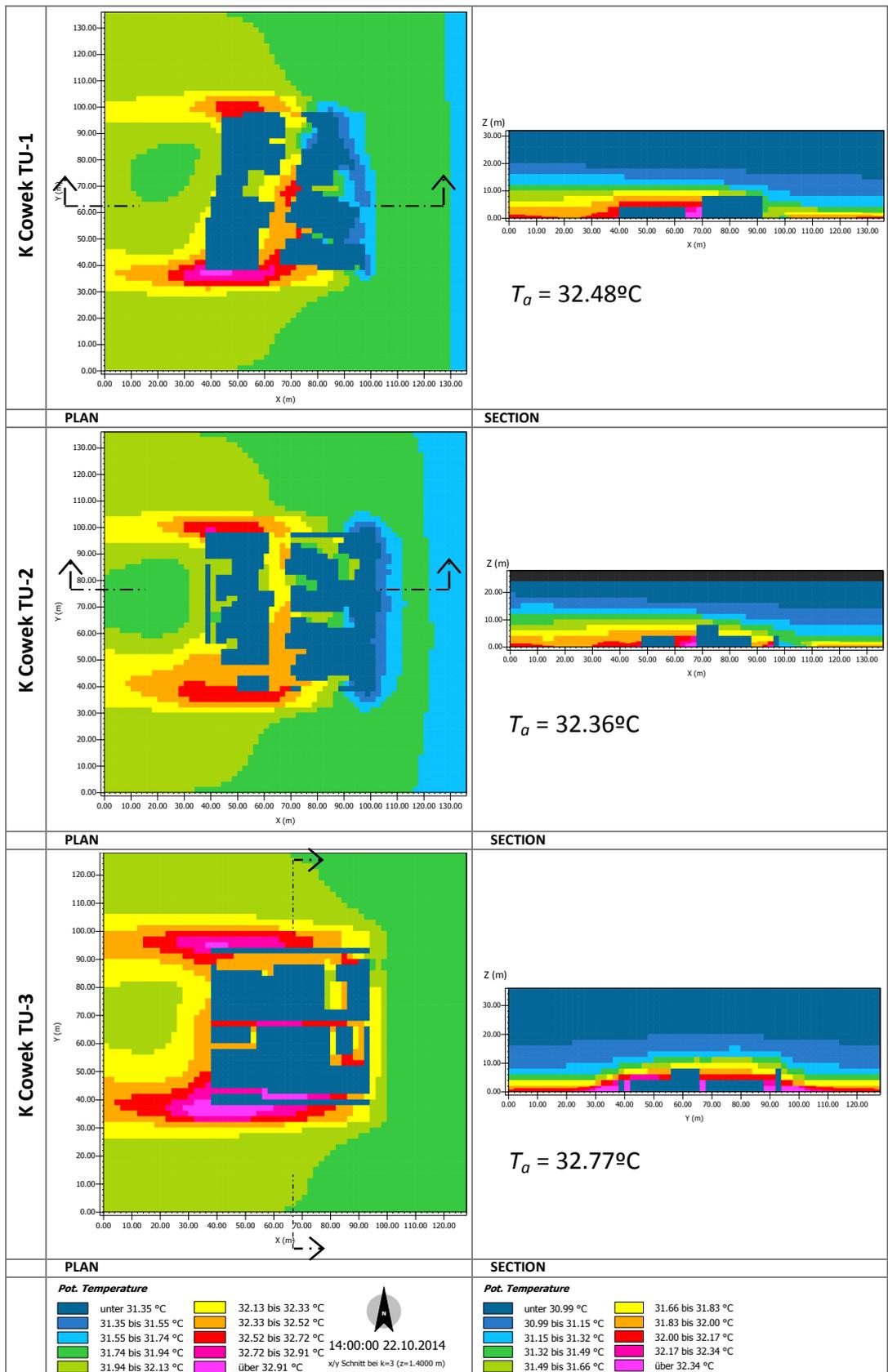
- Hubungan variabel dengan nilai korelasi tertinggi
- Hubungan variabel tidak mencerminkan fungsi variabel berpengaruh

4.4.3 Simulasi Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Pinggiran Kota, Surabaya

Pada [Gambar 4.31](#) berikut ini adalah gambaran temperatur udara dari tiga titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, pada kondisi puncak siang hari (pukul 14:00). Dari gambar diketahui, temperatur udara dari titik- titik ukur pada kondisi waktu tersebut yakni berkisar $T_{a-14:00} = 32,36- 33,77^{\circ}\text{C}$. Temperatur udara tertinggi terjadi pada titik ukur K Cowek TU-3, adalah titik ukur dengan orientasi Timur- Barat, dengan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan terbesar. Selanjutnya, keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar dari enam titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, ditunjukkan pada [Tabel 4.11](#) dan [Lampiran F](#). Sementara, hubungan antara Geometri Lingkungan dengan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dan antar Variabel Lingkungan, pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, dapat dilihat pada [Tabel 4.12](#).

Berdasarkan [Tabel 4.11](#), sebagaimana diungkap pada kondisi termal permukiman tengah kota, kondisi termal (temperatur udara) dari ketiga titik ukur pada permukiman pinggiran kota (Kampung Kedung Cowek) Surabaya, berbanding lurus dengan kondisi beban panas dari titik- titik ukur tersebut (Kedung Cowek TU TU-3: $T_a = 29,7^{\circ}\text{C}$, $t = 9$ jam, $(K^*+L^*) = 1127$ W/m², Kedung Cowek TU-1: $T_a = 29,6^{\circ}\text{C}$, $t = 6$ jam, $(K^*+L^*) = 741$ W/m² dan Kedung Cowek TU-2: $T_a = 29,5^{\circ}\text{C}$, $t = 5$ jam, $(K^*+L^*) = 683$ W/m². Demikian pula, berdasarkan [Tabel 4.12](#), kondisi beban panas berkorelasi kuat dengan orientasi blok bangunan.

Berdasarkan uraian kondisi termal dari kedua subyek di atas, kondisi termal permukiman tengah kota dan permukiman pinggiran kota, Surabaya, diungkap bahwa kondisi dan kenyamanan termal (temperatur udara, kelembaban udara, temperatur radian dan *PET*) berkorelasi kuat dengan kondisi tiga faktor termal utama, yakni: radiasi matahari dan timbunan radiasi gelombang panjang (beban panas blok) serta kecepatan angin. Hubungan positif antara beban panas (radiasi) dengan temperatur udara, senada dengan yang diungkap Ali-Toudert dan Mayer (2006) dan Taleghani dkk (2015). Demikian pula, hubungan negatif antara temperatur udara, mencerminkan yang diungkap oleh Eliasson (1996).



Gambar 4.31 Gambaran Kondisi Temperatur Udara (Pukul 14:00) dari Tiga Titik Ukur pada Permukiman Pinggiran Kota, Surabaya: (a) Denah (b) Potongan (Hasil Simulasi, 2016)

Tabel 4.11 Geometri, Rata- rata Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Siang Hari (06:00-16:00) dari Enam Titik Ukur pada Permukiman Tengah Kota, Surabaya

	Satuan	K Cowek	K Cowek	K Cowek
		TU-1 BP: 1 BO: 0 BA: 61.0 H/W: 0,4	TU-2 BP: 2 BO: 0 BA: 68.6 H/W: 0.6	TU-3 BP: 3 BO: 90 BA: 65.3 H/W: 2.1
Durasi Penyinaran (t)	jam	6	5	9
Rata-rata Radiasi Langsung ($K.dir$)		500	413	728
Rata-rata Radiasi Difus ($K.dif$)		69	55	28
Rata-rata Radiasi Pantul ($K.ref$)	W/m ²	43	65	113
Total Paparan Radiasi SW (K^*)		611	533	869
Timbunan Radiasi LW (L^*)		130	150	258
Jumlah Beban Panas ($K^* + L^*$)		741	683	1127
Rata-rata Kecepatan Angin (v)	m/d	0,1	0,1	1,8
Rata-rata Temperatur Udara (Ta)	°C	29,6	29,5	29,7
Rata-rata Kelembaban Udara (RH)	%	56,4	56,5	58,1
Temperatur radian ($Tmrt$)	°C	43,0	44,1	61,3
PET (°C)		39,1	39,5	41,2

Ket.

BP	Pola blok bangunan (blocks pattern)
BO	Orientasi blok bangunan (blocks orientation)
BA	Persentase area terbangun (built-up area)
H/W	Rasio ketinggian bangunan dan lebar jalan (height-to-width ratio)

Tabel 4.12 Hubungan antara Geometri Lingkungan dengan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dan antar Variabel Lingkungan, pada Permukiman Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya.

	Hubungan Variabel													
	t		(K*+L*)		v		Ta		RH		Tmrt		PET	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
Pola Blok Bangunan (BP)		0,52		0,64		0,75		0,10		0,83		0,80		0,90
Orientasi Blok Bangunan (BO)		0,94		0,99		1,00		0,58		0,99		1,00		0,99
Luas Area Terbangun (BA)	0,03		0	0		0,35		0,03		0,02		0,02		0,07
H/W	0,88		0,95	0,99		0,47		1,00		1,00		1,00		0,99
Durasi Penyinaran (t)								0,8		0,89		0,91		0,82
Jumlah Beban Panas ($K^* + L^*$)								0,69		0,95		0,97		0,90
Rata-rata Kecepatan Angin (v)								0,58		0,99		1,00		0,96

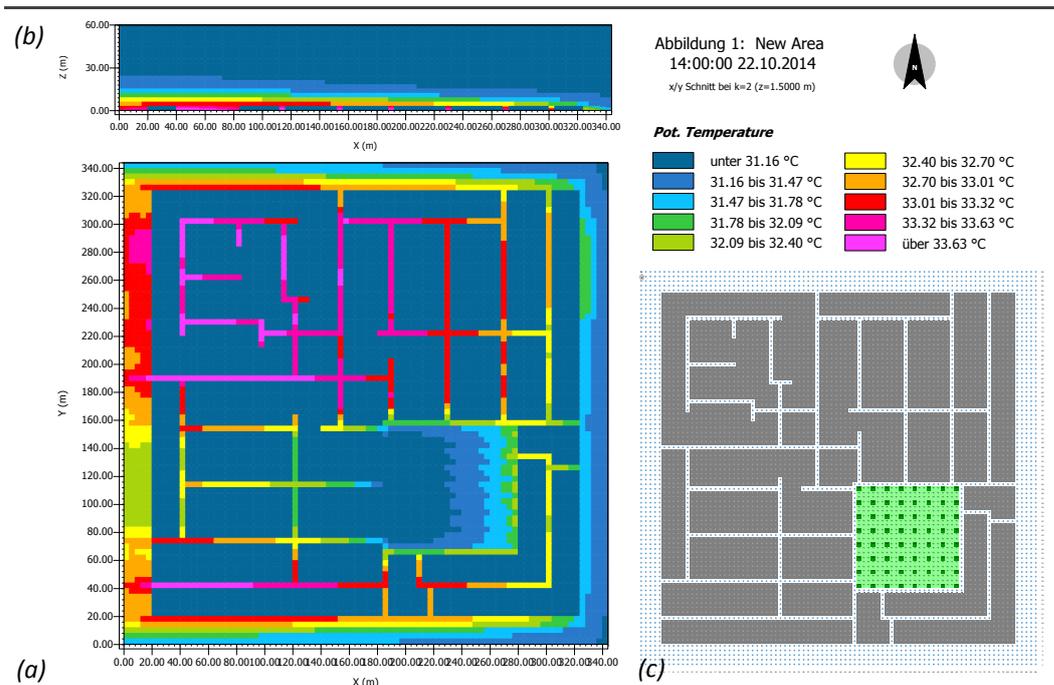
Ket.

	Hubungan variabel dengan nilai korelasi tertinggi
	Hubungan variabel tidak mencerminkan fungsi variabel berpengaruh
	Antaryama (2002)
	Blankenstein dan Kuttler (2004)
	Ali Toudert dan Mayer (2006)
	Hang dkk (2009)
	Asfour (2010)
	Rose dkk (2010)
	Hang dan Li (2010)
	Aini dkk (2013)
	Taleghani dkk (2015)

Dengan demikian, telah dapat disimpulkan bahwa, kondisi dan kenyamanan termal ruang luar dipengaruhi oleh kondisi geometri lingkungan (pola bok bangunan, orientasi blok bangunan, luas area terbangun dan H/W) melalui tiga faktor termal utama yakni penerimaan radiasi matahari blok, timbunan radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin blok. Jadi, seberapa besar pengaruh geometri lingkungan terhadap kondisi dan kenyamanan termal, sangat ditentukan dari seberapa pengaruh geometri terhadap ketiganya.

4.5 Pengaruh Pola dan Kepadatan Bangunan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Permukiman Perkotaan

Sebagaimana dijelaskan pada Tabel 3.6, pembahasan ini akan menganalisis data- data hasil simulasi dari model- model eksperimen (gambaran kondisi termal/ temperatur udara dari satu model eksperimen, $H/W= 3/4$, ditunjukkan pada Gambar 4.32). Fokus pembahasan ini, untuk mengetahui (bentuk dan nilai) pengaruh dari setiap variabel desain (pola dan kepadatan bangunan) terhadap variabel lingkungan (kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar) dalam penelitian ini. Pembahasan ini secara rinci, berikut ini.



Gambar 4.32 Gambaran Kondisi Temperatur Udara (Pukul 14:00) dari Model Eksperimen: a) Hasil Simulasi, X-Y, b) Pot, X-Z dan c) Model (Hasil Simulasi, 2016)

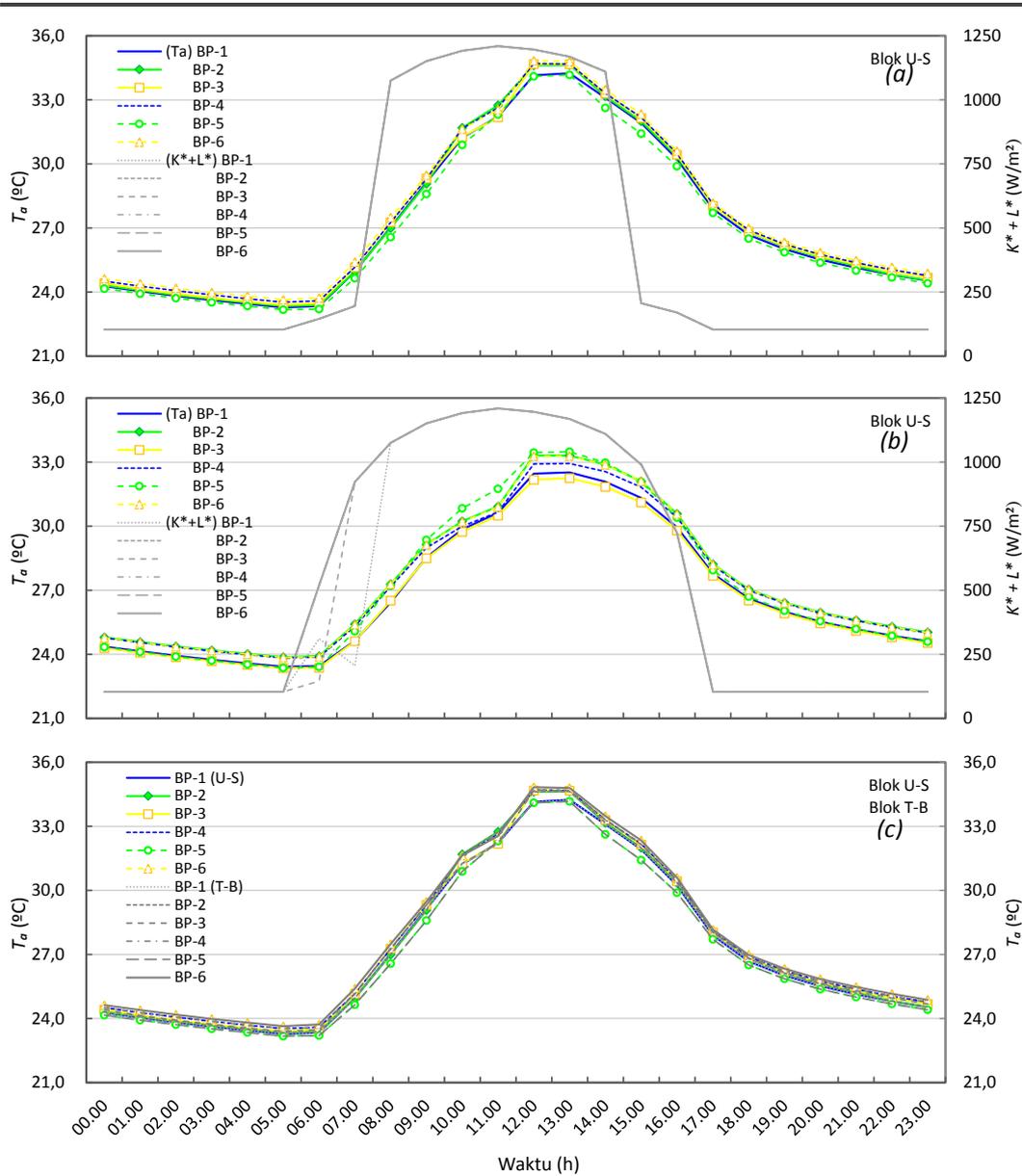
4.5.1 Pengaruh Pola Blok Bangunan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan

Diketahui dari pembahasan sebelumnya, pola blok bangunan adalah salah satu variabel desain yang berpengaruh terhadap aliran angin pada suatu blok. Semakin tinggi tingkat keterhubungan blok terhadap ruang terbuka, maka akan cenderung memiliki aliran angin yang lebih baik (kecepatan angin lebih tinggi) dan sebaliknya. Namun, terhadap penerimaan radiasi matahari, pola blok bangunan cenderung tidak berpengaruh atau tidak menunjukkan adanya korelasi antara kondisi keduanya. Dalam pembahasan ini, besar pengaruh pola blok bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, akan diuraikan.

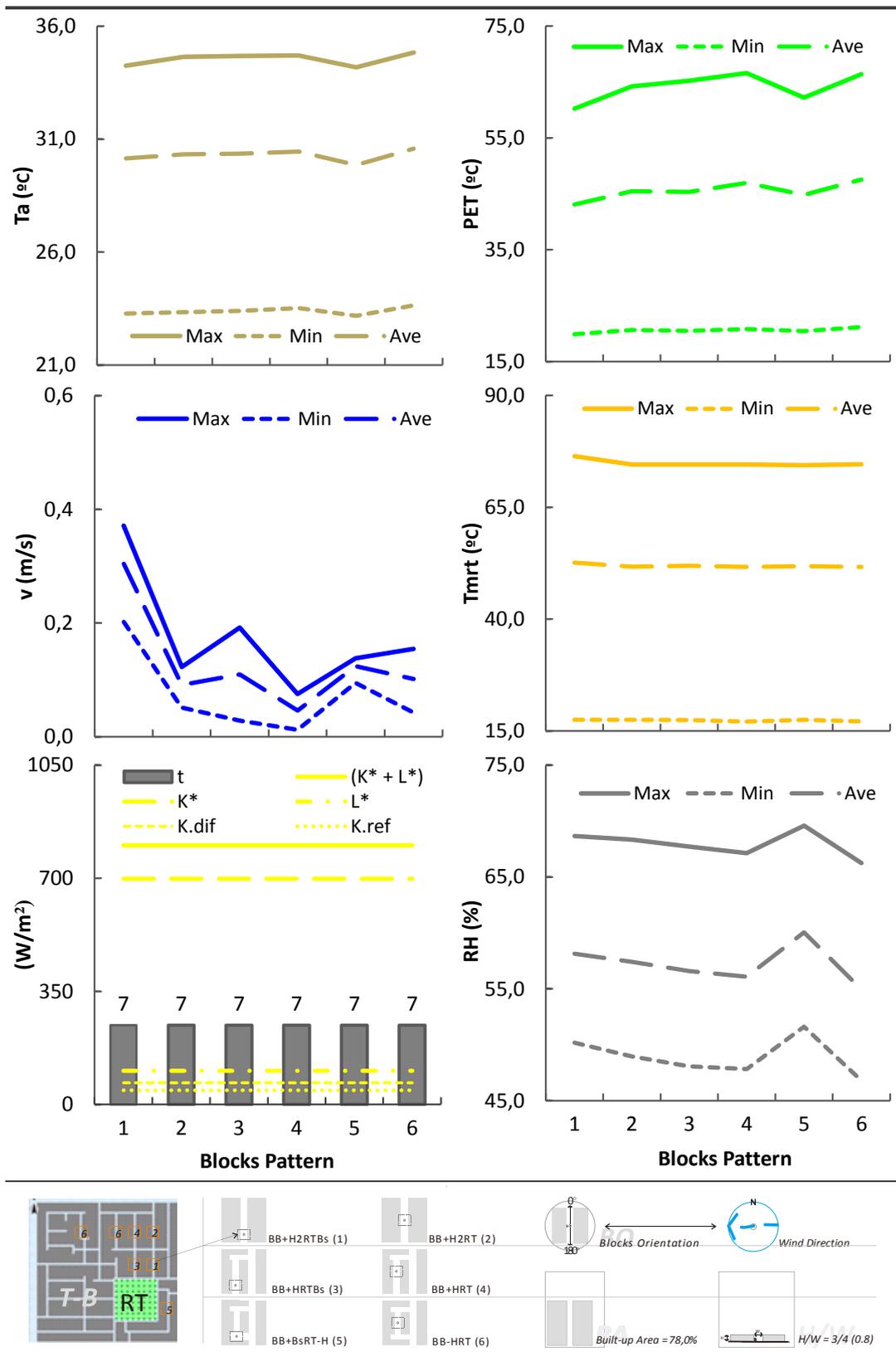
Gambaran kondisi temperatur udara dan beban panas dari enam titik ukur dengan pola blok yang berbeda ($BP= 1$ (BB+H2RTBs) - 2 (BB+H2RT) - 3 (BB+HBsRT) - 4 (BB+HRT)- 5 (BB+BsRT-H) - 6 (BB-HRT)) pada dua orientasi blok, Utara- Selatan dan Timur- Barat, ditunjukkan pada [Gambar 4.33](#). Dari gambar terlihat bahwa kondisi beban panas blok relatif sama dari keenam blok ($BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6$). Sementara, kondisi temperatur udara dari keenam blok, relatif berimpit. Hal ini menegaskan hasil pembahasan sebelumnya, bahwa pola blok bangunan (posisi blok bangunan terhadap ruang terbuka) tidak berpengaruh terhadap kondisi penerimaan radiasi matahari blok. Demikian selanjutnya, pola blok bangunan tidak (secara dominan) berpengaruh terhadap kondisi temperatur udara blok.

Selanjutnya, keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar dari keenam blok ($BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6$), dapat dilihat pada [Gambar 4.34](#), [35](#) dan [Tabel 4.13](#). Dari [Gambar 4.34](#) dan [Tabel 4.13](#) (blok Utara- Selatan), terlihat bahwa kondisi pola blok bangunan (pola menurut tingkat keterhubungan dan kedekatan/ jarak blok dengan ruang terbuka) cenderung berbanding lurus dengan kondisi kecepatan angin blok. Pola menurut jarak terhadap ruang terbuka, menunjukkan bahwa blok- blok dengan jarak yang lebih dekat dengan ruang terbuka ($BP = 1- 3- 5$), cenderung memiliki kecepatan angin yang lebih tinggi (berturut- turut dari ketiga blok, $v-max= 0,4 - 0,2 - 0,1$ m/d atau $v-ave= 0,3 - 0,1 - 0,1$ m/d) dibanding dengan blok- blok yang lebih jauh dengan ruang terbuka ($BP= 2- 4- 6$, dari masing- masing yakni $v-max= 0,1 - 0,1 - 0,2$ m/d atau $v-ave= 0,1-$

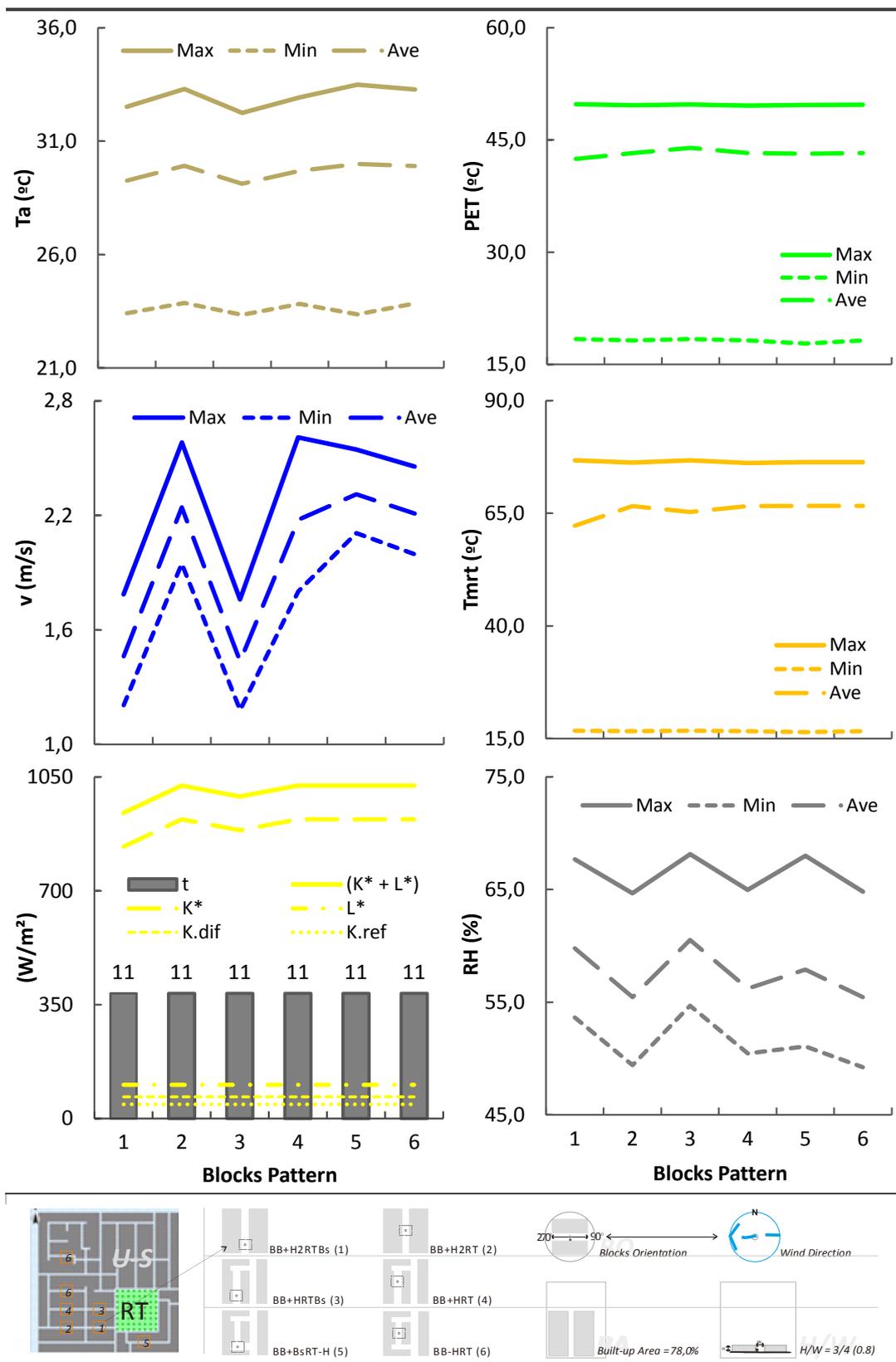
0,0- 0,1 m/d). Demikian pula, pola menurut tingkat keterhubungan dengan ruang terbuka, pola blok cenderung berbanding lurus dengan kecepatan angin yang dimiliki. Hal ini, sebagaimana kecepatan angin berturut- turut pada blok $BP= 1- 3- 5$ dan blok $BP= 2- 4- 6$.



Gambar 4.33 Pola Blok Bangunan ($BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6$) dan Temperatur Udara dan Beban Panas yang Dimiliki: a) Blok Utara- Selatan, b) Blok Timur- Barat dan c) Blok Utara- Selatan dan Timur- Barat (Hasil Simulasi, 2016)



Gambar 4.34 Pola Blok Bangunan (BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Bangunan Utara- Selatan.



Gambar 4.35 Pola Blok Bangunan ($BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6$) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Bangunan Timur- Barat.

Demikian selanjutnya, pola blok bangunan menurut kondisi kecepatan angin yang dimiliki, berbanding lurus pengaruhnya terhadap kondisi temperatur udara dan atau *PET* blok. Terlihat pada kedua gambar dan tabel ([Gambar 4.34](#) dan [Tabel 4.13](#)) bahwa blok- blok dengan kecepatan angin yang relatif lebih tinggi ($BP = 1- 3- 5$), memiliki temperatur udara yang cenderung lebih rendah ($T_{a-max}= 34,2- 34,7- 34,2^{\circ}\text{C}$ atau $T_{a-ave}= 30,1- 30,4- 29,9^{\circ}\text{C}$) dibanding ketiga blok lainnya ($BP= 2- 4- 6$, $T_{a-max}= 34,6- 34,7- 34,8^{\circ}\text{C}$ atau $T_{a-ave}= 30,3- 30,5- 30,6^{\circ}\text{C}$). Demikian pula, *PET* dari ketiga blok ($BP = 1- 3- 5$, $PET-max= 60,2- 65,2- 62,2^{\circ}\text{C}$ atau $PET-ave= 43,1- 45,3- 44,8^{\circ}\text{C}$), relatif lebih rendah dari *PET* tiga blok lainnya ($BP= 2- 4- 6$, $PET-max= 64,2- 66,6- 66,4^{\circ}\text{C}$ atau $PET-ave= 45,5- 46,9- 47,5^{\circ}\text{C}$).

Sementara itu, pada blok Timur- Barat ([Gambar 4.35](#) dan [Tabel 4.13](#)), kondisi penerimaan radiasi matahari dan kondisi kecepatan angin blok, terlihat berbeda dengan kondisi keduanya pada blok Utara- Selatan. Terjadi penurunan intensitas penerimaan radiasi matahari dan kecepatan angin, khususnya pada dua titik ukur, $BP = 1$ dan 3 . Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh faktor lain (terbayangi oleh pohon/ vegetasi yang ada pada ruang terbuka). Terhadap kondisi penerimaan radiasi matahari, penurunan intensitas radiasi terjadi dalam beberapa jam, pada pagi hari (secara rinci, ditunjukkan pada [Lampiran G](#)). Sementara, terhadap kondisi kecepatan angin, terjadi penurunan kecepatan angin yakni lebih dari 30% (rata- rata kecepatan angin pada masing-masing titik ukur, $BP = 1$ dan 3 adalah sekitar $v-ave= 1,5- 1,4$ m/d, sedangkan rata- rata kecepatan angin pada empat titik ukur lainnya, sekitar $v-ave = 2,2$ m/d). Kondisi ini mencerminkan hal yang diungkap oleh Ali-Toudert dan Mayer (2007), bahwa pohon dapat menghambat laju angin dengan menurunkan kecepatannya hingga sekitar 30-40% dari kecepatan semestinya.

Akibat lanjut dari kondisi keduanya tersebut, kondisi termal (temperatur udara), juga ikut mengalami penurunan. Seperti terlihat pada [Gambar 4.35](#) dan [Tabel 4.13](#), rata- rata temperatur udara dari kedua blok, $BP= 1$ dan 3 ($T_{a-ave}= 29,3- 29,1^{\circ}\text{C}$), relatif lebih rendah dari rata- rata temperatur udara empat blok lainnya ($T_{a-ave}= 29,9- 29,7- 30,0- 29,9^{\circ}\text{C}$, untuk masing- masing $BP= 2- 4- 5- 6$).

Sementara itu, kenyamanan termal (*PET*) dari keenam blok, relatif berimpit, (berkisar $PET-ave = 42,5-43,9^{\circ}C$).

Dari uraian di atas, sebagaimana gambaran pengaruh pola blok bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, khususnya kondisi yang ditunjukkan pada blok Utara- Selatan, menunjukkan bahwa pola blok bangunan relatif berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal, melalui pengaruhnya terhadap kondisi kecepatan angin. Hal ini, bagaimanapun, sesuai yang diungkap pada pembahasan sebelumnya dalam penelitian ini (pembahasan data- data hasil pengukuran lapangan). Hal ini juga sejalan dengan kondisi yang diungkap dalam penelitian terdahulu, oleh Antaryama (2012), bahwa tingkat akses pencapaian suatu lingkungan, berbanding lurus dengan tingkat aliran udara/ ventilasi alam pada lingkungan tersebut. Demikian selanjutnya, tingkat aliran udara, berbanding lurus dengan tingkat pendinginan temperatur udara. Hal ini, sebagaimana diungkap oleh Eliasson (1996), Morris dan Simmonds (2001) dan Memon dkk (2010), bahwa tingkat aliran udara yang tercipta pada suatu lingkungan akan ikut berpengaruh pada tingkat pendinginan udara alami pada lingkungan tersebut. Semakin tinggi aliran udara, maka akan semakin besar derajat penurunan temperatur (temperatur udara semakin rendah), atau keduanya saling berbanding terbalik.

Dengan demikian, pengaruh pola blok bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pola blok bangunan yakni tingkat keterhubungan suatu blok terhadap ruang terbuka, berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal di sekitar blok tersebut (termal ruang luar) yakni melalui pengaruhnya terhadap kondisi kecepatan angin. Semakin tinggi tingkat keterhubungan suatu blok terhadap ruang terbuka, maka aliran udara yang dimiliki akan cenderung lebih baik. Demikian pula, tingkatan pola blok bangunan akan berbanding lurus tingkat pendinginan (temperatur udara) atau peningkatan kenyamanan termal pada blok tersebut.
2. Intesitas pengaruh pola blok bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, tidak terlepas dari pengaruh orientasi blok bangunan. Hal ini terkait kondisi kecepatan angin pada blok.

Tabel 4.13 Pola Blok Bangunan ($BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6$) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar yang Dimiliki, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat

	Blok Bangunan Utara-Selatan (U-S)																	
	Min						Max						Ave (*)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Pola Blok Bangunan, BP	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan, HW	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Luas Area Terbangun, BA (%)	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
Durasi Penyinaran (t, jam)													7	7	7	7	7	7
Rata-rata Radiasi Lansung ($K.dir$, W/m^2)							966	966	966	966	966	966	587	587	587	587	587	587
Rata-rata Radiasi Difus ($K.dif$, W/m^2)							88	88	88	88	88	88	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
Rata-rata Radiasi Pantul ($K.ref$, W/m^2)							52	52	52	52	52	52	44	44	44	44	44	44
Total Radiasi SW (K^*, W/m^2)							1106	1106	1106	1106	1106	1106	698	698	698	698	698	698
Radiasi LW (L^*, W/m^2)	103	103	103	103	103	103	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104
Beban Panas ($K^* + L^*$, W/m^2)	103	103	103	103	103	103	1210	1210	1210	1210	1210	1210	802	802	802	802	802	802
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Rata-rata Temperatur Udara (Ta, °C)	23,3	23,3	23,4	23,5	23,2	23,6	34,2	34,6	34,7	34,7	34,2	34,8	30,1	30,3	30,4	30,5	29,9	30,6
Rata-rata Kelembaban Udara (RH, %)	50,2	48,9	48,1	47,8	51,6	46,8	68,7	68,3	67,7	67,1	69,6	66,2	58,1	57,4	56,6	56,1	60,1	54,9
Temperatur radian ($Tmrt$, °C)	17,5	17,5	17,4	17,1	17,5	17,1	76,4	74,6	74,5	74,6	74,4	74,6	52,6	51,7	51,9	51,6	51,8	51,7
PET (°C)	19,9	20,6	20,5	20,8	20,5	21,2	60,2	64,2	65,2	66,6	62,2	66,4	43,1	45,5	45,3	46,9	44,8	47,5

Tabel 4.13 Lanjutan Pola Blok Bangunan ($BP = 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6$) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar yang Dimiliki, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat

	Blok Bangunan Timur-Barat (T-B)																	
	Min						Max						Ave (*)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Pola Blok Bangunan, BP	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan, HW	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Luas Area Terbangun, BA (%)	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
Durasi Penyinaran (t, jam)													11	11	11	11	11	11
Rata-rata Radiasi Lansung (K_{dir}, W/m^2)							966	966	966	966	966	966	725	809	775	809	809	809
Rata-rata Radiasi Difus (K_{dif}, W/m^2)							88	88	88	88	88	88	67	67	67	67	67	67
Rata-rata Radiasi Pantul (K_{ref}, W/m^2)							52	52	52	52	52	52	44	44	44	44	44	44
Total Radiasi SW (K^*, W/m^2)							1106	1106	1106	1106	1106	1106	836	920	886	920	920	920
Radiasi LW (L^*, W/m^2)	103	103	103	103	103	103	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104
Beban Panas ($K^* + L^*$, W/m^2)	103	103	103	103	103	103	1210	1210	1210	1210	1210	1210	939	1024	990	1024	1024	1024
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1,2	1,9	1,2	1,8	2,1	2,0	1,8	2,6	1,8	2,6	2,5	2,5	1,5	2,2	1,4	2,2	2,3	2,2
Rata-rata Temperatur Udara (T_a, °C)	23,4	23,9	23,3	23,8	23,4	23,8	32,5	33,3	32,3	32,9	33,5	33,3	29,3	29,9	29,1	29,7	30,0	29,9
Rata-rata Kelembaban Udara (RH, %)	53,6	49,4	54,7	50,4	51,1	49,2	67,7	64,7	68,1	65,0	68,0	64,8	59,8	55,5	60,5	56,2	57,9	55,4
Temperatur radian (T_{mrt}, °C)	16,7	16,6	16,7	16,6	16,4	16,6	76,8	76,3	76,7	76,1	76,4	76,4	62,2	66,6	65,3	66,6	66,6	66,6
PET (°C)	18,4	18,2	18,4	18,2	17,8	18,2	49,8	49,7	49,8	49,6	49,7	49,7	42,5	43,3	43,9	43,2	43,2	43,3

Ket.

(*) : Rata-rata siang hari (06:00-16:00)

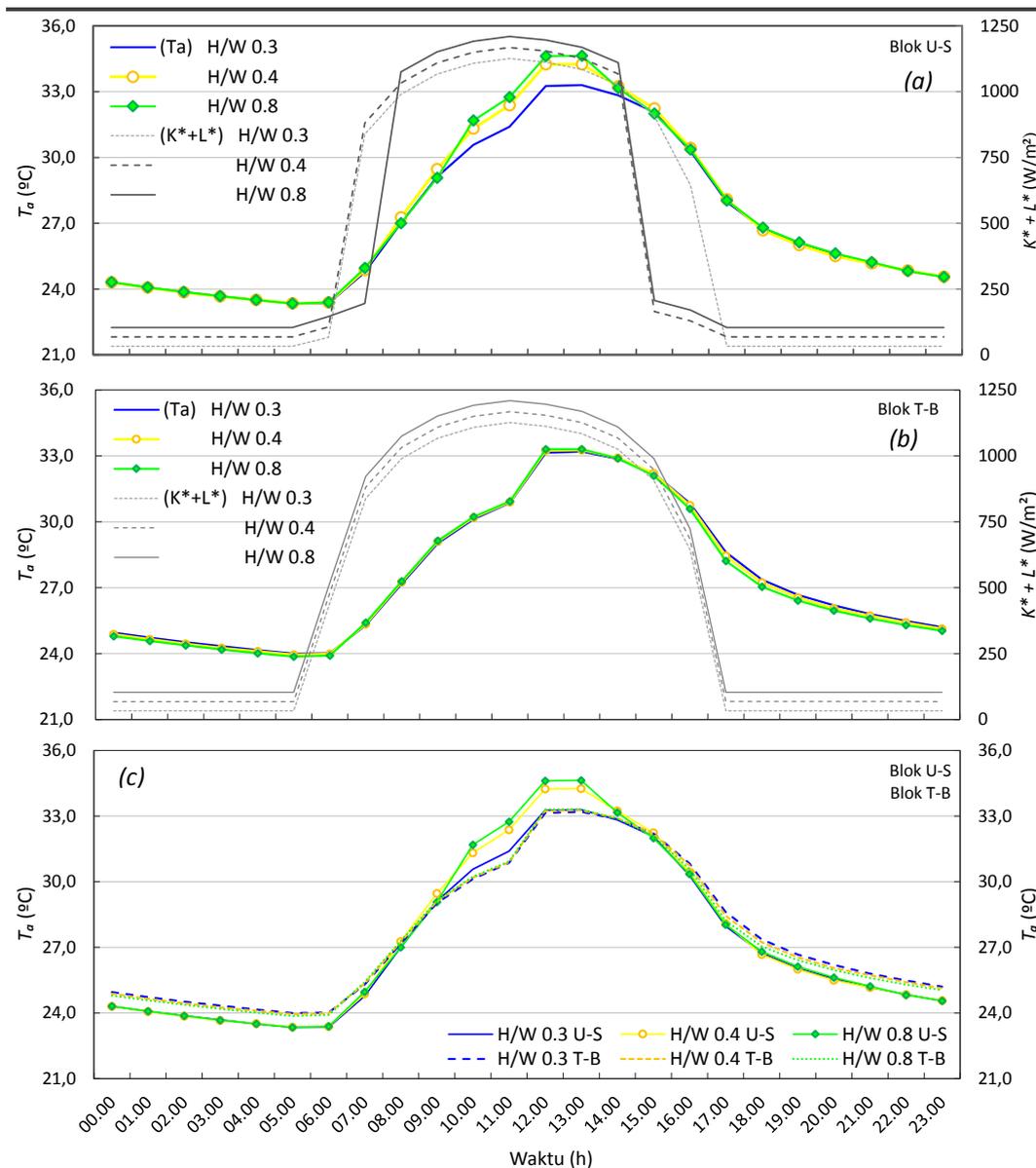
4.5.2 Pengaruh Luas Area Terbangun terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan

Dari hasil pembahasan sebelumnya, diketahui bahwa luas area terbangun adalah salah satu faktor berpengaruh (secara dominan) terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar pada permukiman perkotaan. Pengaruh luas area terbangun terutama terhadap penerimaan radiasi matahari (pada siang hari) dan tingkat pelepasan panas ataupun timbunan radiasi gelombang panjang (pada sepanjang hari). Terhadap penerimaan radiasi matahari, luas area terbangun berpengaruh pada lama waktu penyinaran blok dan atau total penerimaan radiasi gelombang pendek. Antara luas area terbangun dan penerimaan radiasi matahari adalah saling berbanding terbalik (hubungan negatif). Kondisi sebaliknya terhadap timbunan radiasi gelombang panjang, luas area terbangun berpengaruh positif atau terjadi hubungan berbanding lurus antara keduanya. Namun demikian, luas area terbangun juga relatif berpengaruh terhadap kondisi kecepatan angin. Peningkatan persentase area terbangun akan mengakibatkan penurunan kecepatan angin blok. Antara kondisi luas area terbangun dan kondisi kecepatan angin blok adalah berbanding terbalik (terjadi hubungan negatif). Pengaruh luas area terbangun terhadap kondisi ketiganya (penerimaan radiasi matahari/ radiasi gelombang pendek, radiasi gelombang panjang dan kondisi kecepatan angin) adalah pengaruh secara langsung.

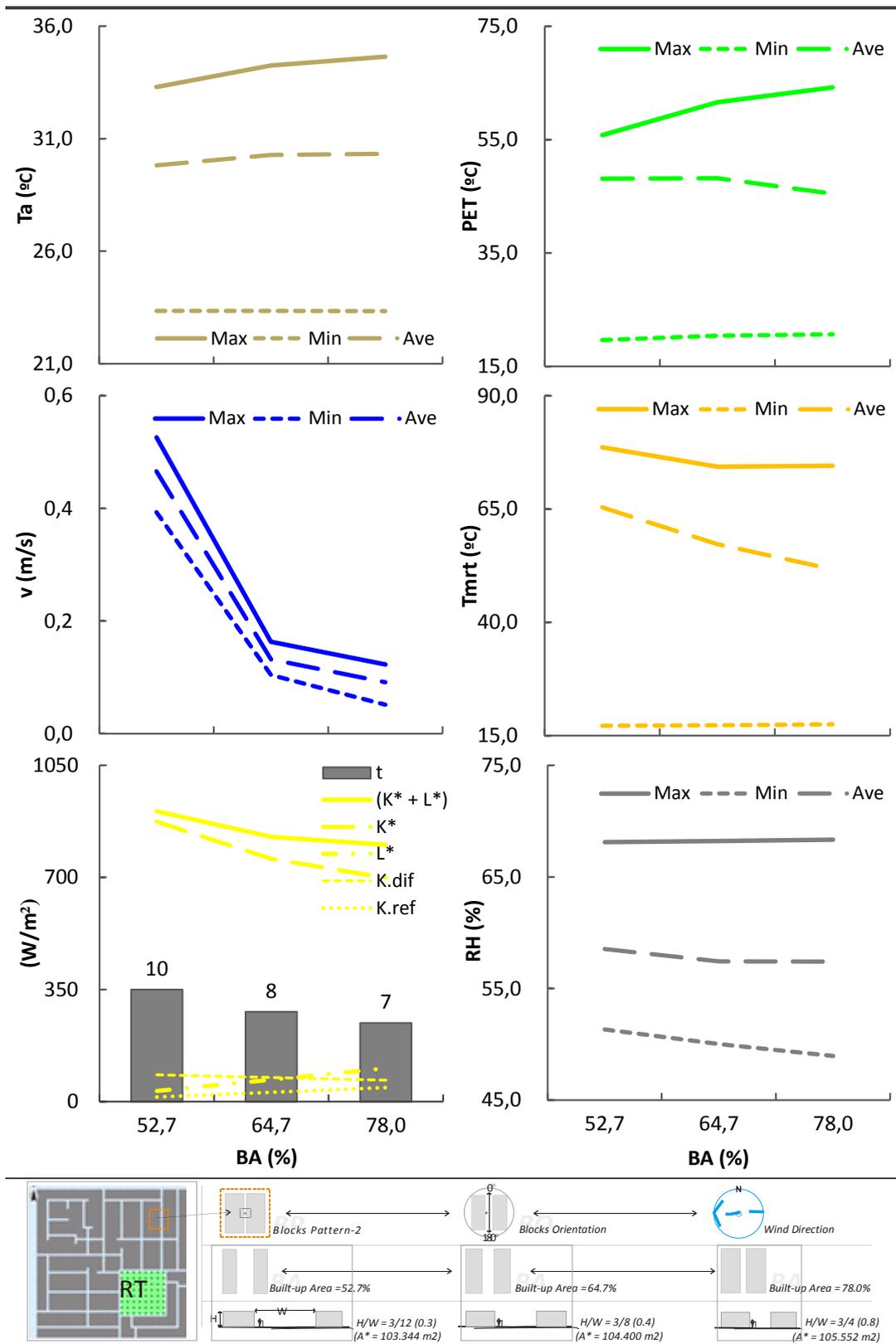
Selanjutnya, terhadap kondisi termal lainnya dan atau kenyamanan termal: temperatur udara, kelembaban udara, temperatur radian dan *PET*, luas area terbangun juga berpengaruh yakni melalui pengaruhnya terhadap ketiga faktor termal utama (radiasi matahari/ radiasi gelombang pendek, pelepasan radiasi gelombang panjang dan kondisi kecepatan angin), berpengaruh secara tidak langsung (pengaruh lanjutan). Khususnya terhadap kondisi temperatur udara, diketahui, luas area terbangun berpengaruh dalam dua bentuk, berpengaruh positif (selama siang hari) dan negatif (pada malam hari).

Dalam pembahasan ini, dari hasil eksperimen yang dilakukan terhadap aspek luas area terbangun ([Tabel 3.6, Eksperimen Pola-2](#)), maka diketahui (bentuk dan nilai) pengaruh luas area terbangun terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar. Pertambahan luas area terbangun ($BA (H/W) =$

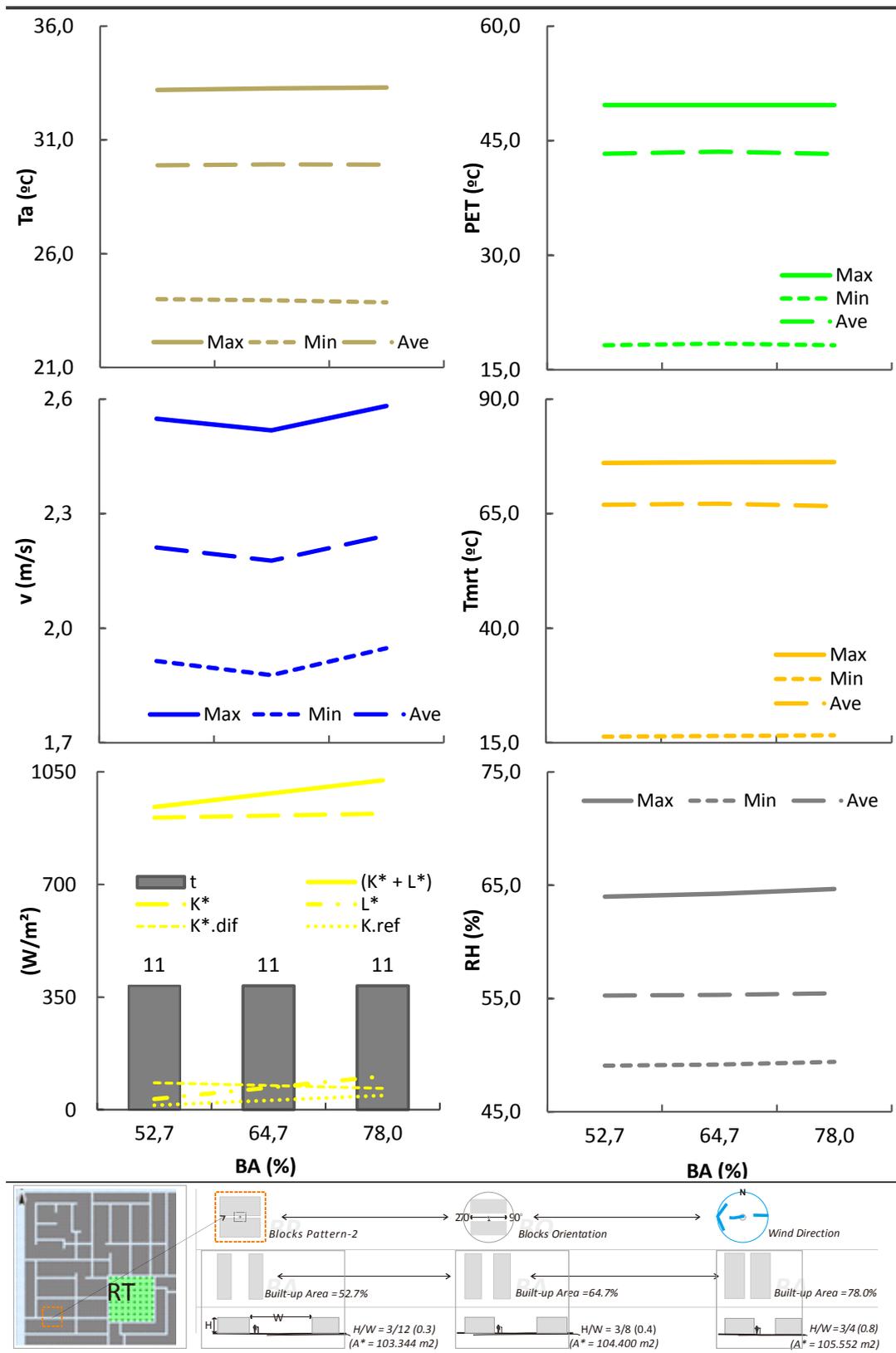
52,7% (0.3); 64,7% (0.4) dan 78,0% (0.8)) dan perubahan kondisi temperatur udara dan beban panas blok, pada blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat, ditunjukkan pada [Gambar 4.36](#). Sementara, pengaruh perubahan kondisi (pertambahan) luas area terbangun ($BA = 52,7 - 64,7 - 78,0\%$) terhadap keseluruhan kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar, pada blok Utara-Selatan dan blok Timur- Barat, ditunjukkan pada [Gambar 4.37](#), dan [38](#).



Gambar 4.36 Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3); 64,7% (0,4) dan 78,0% (0,8)) dan Perubahan Kondisi Temperatur Udara dan Beban Panas Blok pada: a) Blok Utara- Selatan, b) Blok Timur- Barat dan c) Blok Utara- Selatan dan Timur- Barat (Hasil Simulasi, 2016)



Gambar 4.37 Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3); 64,7% (0,4) dan 78,0% (0,8)) dan Perubahan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Blok Utara- Selatan.



Gambar 4.38 Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3); 64,7% (0,4) dan 78,0% (0,8)) dan Perubahan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Blok Timur-Barat.

Tabel 4.14 Pertambahan Luas Area Terbangun (BA (H/W) = 52,7% (0,3) - 64,7% (0,4) - 78,0% (0,8)) dan Perubahan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat

Blok H/W = 0,3; 0,4; 0,8	Blok Bangunan Utara-Selatan (U-S)									Blok Bangunan Timur-Barat (T-B)								
	Min			Max			Ave (*)			Min			Max			Ave (*)		
Luas Area Terbangun, BA (%)	52,7	64,7	78,0	52,7	64,7	78,0	52,7	64,7	78,0	52,7	64,7	78,0	52,7	64,7	78,0	52,7	64,7	78,0
Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan, HW (Tinggi Bangunan/ Lebar Jalan (m))	0,3 (3/12)	0,4 (3/8)	0,8 (3/4)	0,3 (3/12)	0,4 (3/8)	0,8 (3/4)	0,3 (3/12)	0,4 (3/8)	0,8 (3/4)	0,3 (3/12)	0,4 (3/8)	0,8 (3/4)	0,3 (3/12)	0,4 (3/8)	0,8 (3/4)	0,3 (3/12)	0,4 (3/8)	0,8 (3/4)
Total Luas Permukaan, A* (%)	111,8	113,0	114,2	111,8	113,0	114,2	111,8	113,0	114,2	111,8	113,0	114,2	111,8	113,0	114,2	111,8	113,0	114,2
Durasi Penyinaran (t, jam)							10	8	7							11	11	11
Rata-rata Radiasi Lansung (K.dir, W/m ²)				966	966	966	776	654	587				966	966	966	810	810	809
Rata-rata Radiasi Difus (K.dif, W/m ²)				110	99	88	84	75	67				110	99	88	84	75	67
Rata-rata Radiasi Pantul (K.ref, W/m ²)				17	35	52	14	29	44				17	35	52	14	29	44
Total Paparan Radiasi SW (K*, W/m ²)				1093	1099	1106	873	758	698				1093	1099	1106	908	914	920
Timbunan Radiasi LW (L*, W/m ²)	33	68	103	33	68	104	33	68	104	33	68	103	33	68	104	33	68	104
Jumlah Beban Panas (K* + L*, W/m ²)	33	68	103	1126	1168	1210	906	826	802	33	68	103	1126	1168	1210	941	982	1024
Rata-rata Kecepatan Angin (v, m/d)	0,4	0,1	0,1	0,5	0,2	0,1	0,5	0,1	0,1	1,9	1,9	1,9	2,5	2,5	2,6	2,2	2,2	2,2
Rata-rata Temperatur Udara (Ta, °C)	23,3	23,4	23,3	33,3	34,3	34,6	29,8	30,3	30,3	24,0	23,9	23,9	33,2	33,3	33,3	29,9	29,9	29,9
Rata-rata Kelembaban Udara (RH, %)	51,3	50,0	48,9	68,3	68,5	68,7	58,5	57,4	57,4	49,1	49,2	49,4	64,3	64,6	65,1	55,3	55,3	55,5
Temperatur radian (Tmrt, °C)	17,2	17,3	17,5	78,6	74,4	74,6	65,4	57,2	51,7	16,3	16,5	16,6	76,1	76,2	76,3	66,9	67,2	66,6
PET (°C)	19,7	20,4	20,6	55,8	61,6	64,2	48,1	48,2	45,5	18,2	18,4	18,2	49,7	49,7	49,7	43,3	43,6	43,3

Ket.

(*) : Rata-rata siang hari (06:00-16:00)

Dari [Gambar 4.36](#), diketahui akibat dari penambahan luas area terbangun ($BA (H/W) = 52,7\% (0.3) - 64,7\% (0.4) - 78,0\% (0.8)$) terhadap kondisi temperatur udara di dua orientasi blok (Utara- Selatan dan Timur- Barat), relatif berbeda. Pada blok Utara- Selatan ([Gambar 4.36a](#)), penambahan luas area terbangun cenderung mengakibatkan perubahan (peningkatan) temperatur udara blok, khususnya pada siang hari. Sementara, dengan penambahan persentase area terbangun pada blok Timur- Barat ([Gambar 4.36b](#)), temperatur udara blok cenderung tetap, baik siang maupun malam hari.

Sementara itu, berdasarkan [Gambar 4.37](#) dan [38](#), akibat lanjut dari penambahan luas area terbangun yakni terhadap kondisi keempat faktor termal dan atau kenyamanan termal: temperatur udara, kelembaban udara, temperatur radian dan *PET*, sangat ditentukan oleh akibat dari kondisi luas area terbangun terhadap kondisi tiga faktor termal utama: radiasi matahari, radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin. Diketahui pada blok Utara- Selatan ([Gambar 4.37](#)), perubahan yang terjadi pada kondisi ketiga faktor termal utama (akibat dari perubahan kondisi luas area terbangun), selanjutnya mengakibatkan perubahan pada kondisi keempat faktor termal lainnya dan atau kenyamanan termal (khusus pada kondisi waktu siang hari). Demikian pula kecenderungan yang terjadi pada blok Timur- Barat ([Gambar 4.38](#)), kondisi ketiga faktor termal utama serta empat faktor termal lainnya dan atau kenyamanan termal, cenderung tetap (perubahan relatif kecil) dengan adanya perubahan kondisi luas area terbangun. Bentuk dan nilai keseluruhan kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar dari tiga blok ($BA (H/W) = 52,7\% (0.3) - 64,7\% (0.4) - 78,0\% (0.8)$), pada blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat, dapat dilihat pada [Tabel 4.14](#).

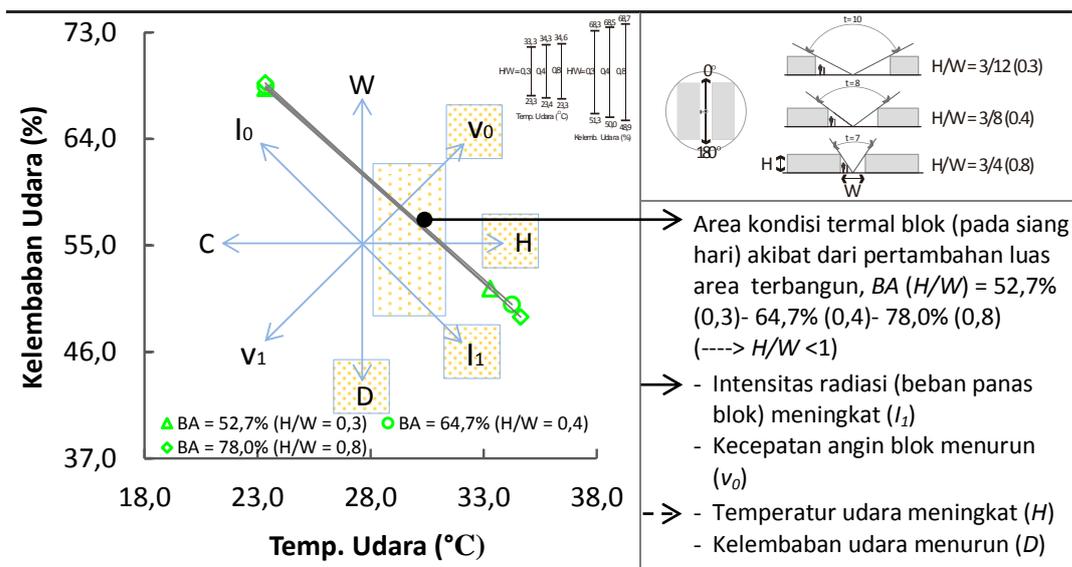
Berdasarkan [Tabel 4.14](#) atau [Gambar 4.37](#) (blok Utara- Selatan), akibat dari adanya penambahan luas area terbangun ($BA (H/W) = 52,7\% (0.3) - 64,7\% (0.4) - 78,0\% (0.8)$) atau pengurangan luas area jalan (lebar jalan, $W = 12 - 8 - 4$ m), durasi penyinaran blok mengalami penurunan yakni sekitar 2 dan 3 jam penyinaran ($t = 10 - 8 - 7$ jam) atau terjadi penurunan rata- rata penerimaan radiasi matahari, sekitar 116 dan 175 W/m^2 ($K^*_{-ave} = 873 - 758 - 698 W/m^2$). Namun, penerimaan radiasi matahari pada jam- jam penyinaran, cenderung meningkat ($K^*_{-max} = 1093 - 1099 - 1106 W/m^2$, ditunjukkan secara rinci pada [Lampiran G](#)).

Demikian pula dengan kondisi timbunan radiasi gelombang panjang, juga cenderung meningkat ($L^*_{-max} = 33- 68- 104 \text{ W/m}^2$). Akibatnya, jumlah beban panas blok, meningkat sejalan dengan penambahan luas area terbangun ($(K^*+L^*_{-max}) = 1126-1168-1210 \text{ W/m}^2$ atau $(K^*+L^*_{-ave}) = 906-826-802 \text{ W/m}^2$). Sementara, kecepatan angin, cenderung menurun ($v_{-max} = 0,5- 0,2- 0,1 \text{ m/d}$ atau $v_{-ave} = 0,5 - 0,1 - 0,1 \text{ m/d}$).

Terjadinya penurunan durasi penyinaran blok namun relatif kecil (durasi penyinaran blok masih relatif lama) dengan adanya penambahan luas area terbangun sebagaimana tersebut, dapat memicu terjadinya peningkatan temperatur permukaan blok serta intensitas pancaran radiasi dari permukaan (*sensible heat*). Di kondisi lain, terjadi peningkatan beban panas blok serta penurunan kecepatan angin blok akibat dari penambahan luas area terbangun blok tersebut. Ketiga hal tersebut selanjutnya menjadi faktor yang mengakibatkan laju peningkatan temperatur udara blok relatif cepat dan temperatur udara cenderung meningkat sejalan dengan penambahan luas area terbangun ($T_{a-max} = 33,3- 34,3- 34,6^\circ\text{C}$ atau $T_{a-ave} = 29,8- 30,3- 30,3^\circ\text{C}$), sebaliknya, kelembaban udara cenderung menurun ($RH_{-min} = 51- 50- 49\%$ atau $RH_{-ave} = 59- 57- 57\%$) (digambarkan pada [Gambar 4.39](#)). Demikian pula, temperatur radian menurun ($T_{mrt-max} = 78,6- 74,4- 74,6^\circ\text{C}$ atau $T_{a-ave} = 65,4- 57,2- 51,7^\circ\text{C}$), terutama disebabkan oleh penurunan durasi penyinaran blok (pengurangan waktu pinyinaran setelah puncak siang hari). Sementara, *PET* meningkat (kenyamanan termal blok menurun) sejalan dengan peningkatan luas area terbangun blok tersebut ($PET_{-max} = 55,8- 61,6- 64,2^\circ\text{C}$ atau $PET_{-ave} = 48,1- 48,2- 45,5^\circ\text{C}$), selain disebabkan oleh penambahan beban panas blok, juga karena terjadinya penurunan kecepatan angin blok.

Sementara itu, pada blok Timur- Barat, penambahan luas area terbangun ($BA (H/W) = 52,7\% (0.3)- 64,7\% (0.4)- 78,0\% (0.8)$) tidak menyebabkan perubahan (penurunan) durasi penyinaran blok dari kondisi maksimum ($t = 11 \text{ jam}$) ataupun beban panas blok cenderung tetap ($(K^* + L^*_{-ave}) = 941- 982- 1024 \text{ W/m}^2$). Hal ini selanjutnya menjadi faktor utama yang menyebabkan kondisi keempat faktor termal lainnya dan atau kenyamanan termal blok (temperatur udara, kelembaban udara, temperatur radian dan *PET*, cenderung tetap (Lihat [Tabel 4.14](#)) (kondisi durasi penyinaran/ beban panas blok dan temperatur udara, pada [Gambar 4.36b](#)).

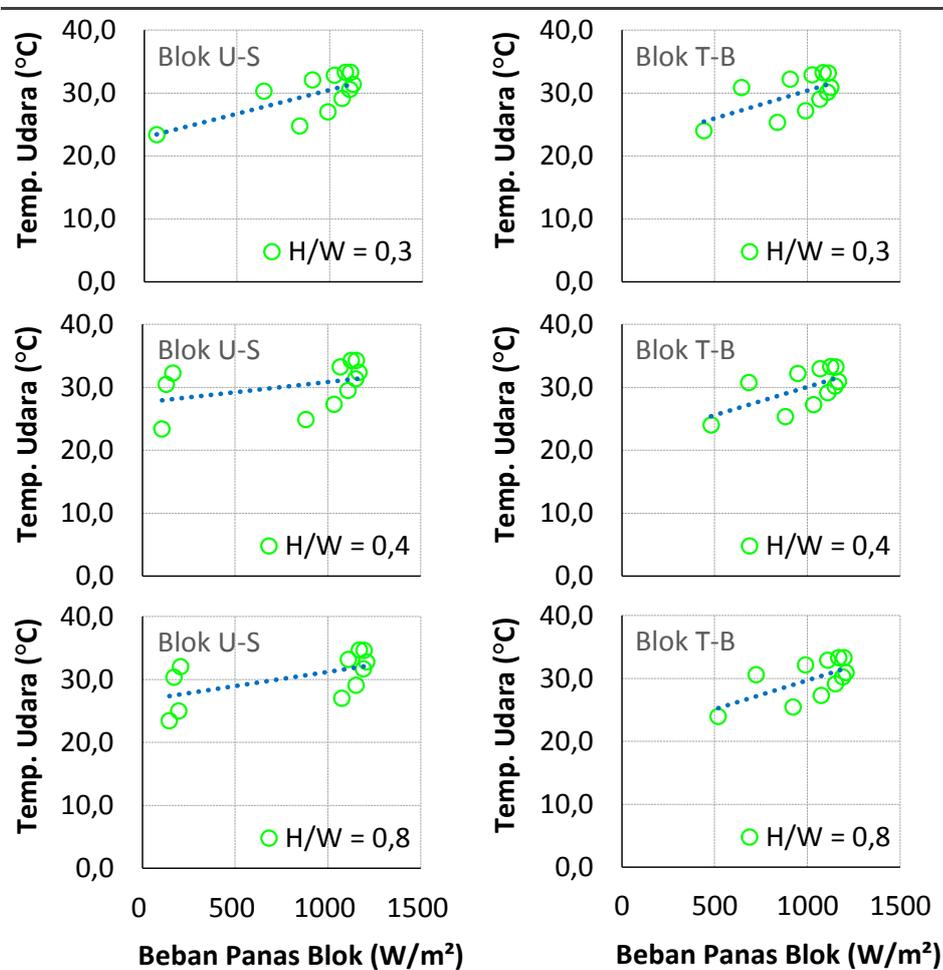
Namun demikian, pengaruh kecepatan angin blok (blok Timur- Barat), tidak terlepas dari kondisi keempat faktor termal lainnya dan atau kenyamanan termal blok tersebut. Hal ini sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4.36c dan 38, temperatur udara (juga kondisi termal lainnya dan atau kenyamanan termal blok) pada blok Timur- Barat relatif lebih rendah dibanding pada blok Utara- Selatan. Hal ini direnakan kondisi kecepatan angin pada blok Timur- Barat relatif lebih tinggi dari kecepatan angin pada blok Utara- Selatan ($v_{max} = 2,5- 2,5- 2,6$ m/d atau $v_{ave} = 2,2- 2,2- 2,2$ m/d).



Gambar 4.39 Pengaruh Pertambahan Luas Area Terbangun BA (H/W) = 52,7% (0,3)- 64,7% (0,4)- 78,0% (0,8) terhadap Kondisi Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan.

Uraian di atas menunjukkan bahwa pengaruh pertambahan luas area (BA (H/W) = 52,7% (0.3)- 64,7% (0.4)- 78,0% (0.8)) terhadap kondisi penerimaan radiasi matahari dan atau beban panas blok adalah faktor utama yang selanjutnya menentukan kondisi termal lainnya dan atau kenyamanan termal blok (temperatur udara, kelembaban udara, temperatur radian dan PET). Hal ini terjadi sama pada kedua orientasi blok, Utara- Selatan dan Timur- Barat. Namun, dari hubungan antara beban panas dengan temperatur udara dari blok- blok tersebut (lihat Gambar 4.40) menunjukkan bahwa antara keduanya terjadi hubungan positif lemah, baik pada blok Utara- Selatan maupun pada blok Timur- Barat. Hal ini

berarti, kondisi beban panas blok berbanding lurus dengan kondisi temperatur udara blok. Namun, intensitas beban panas blok tidak dominan berpengaruh terhadap derajat temperatur udara blok- blok tersebut.



Gambar 4.40 Grafik Hubungan antara Beban Panas dan Temperatur Udara dari Tiga Blok dengan Luas Area Terbangun yang Berbeda, $BA (H/W) = 52,7\% (0,3) - 64,7\% (0,4) - 78,0\% (0,8)$, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat.

Memahami kondisi hubungan antara beban panas dan kondisi temperatur udara tersebut, maka diketahui bahwa selain beban panas blok, faktor lain (*sensible heat* yang diakibatkan oleh penerimaan radiasi matahari) adalah faktor berpengaruh (secara dominan) terhadap kondisi termal (temperatur udara) pada blok- blok tersebut. Hal ini sesuai dijelaskan oleh Lechner (2007), terkait fungsi dari suhu dan massa properties. Hal serupa juga dijelaskan oleh Oke (1987) dan

Arnfield (2003) (dalam [Persamaan 2.9](#)), serta Johansson (2006) (pada [Gambar 2.14](#)), bahwa energi *sensible heat* adalah komponen panas (radiasi) yang berpengaruh secara dominan terhadap kondisi termal di perkotaan, khususnya pada siang hari. Sementara itu, Andreou (2013) dan Bahar dkk (2017), mengungkapkan bahwa pengaruh properties (albedo permukaan penutup lahan) terhadap kondisi (kenyamanan) termal ruang luar, sangat besar pada area dengan H/W rendah, terkait penerimaan radiasi matahari.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pengaruh luas area terbangun (*built-up area, BA*) terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar tidak terlepas dari pengaruh orientasi blok (*blocks orientation*), terkait penerimaan panas/ radiasi matahari dan tingkat pelepasan panas blok.
2. Pertambahan luas area terbangun ($BA = 52,7 - 64,7 - 78,0\%$) dengan rata-rata ketinggian bangunan, $H = 3$ meter (estimasi tinggi bangunan satu lantai) ($H/W < 1$), cenderung menambah beban panas blok pada blok Utara- Selatan, sementara cenderung tetap pada blok Timur- Barat. Pertambahan beban panas blok (blok Utara- Selatan) disebabkan oleh faktor penerimaan panas (durasi penyinaran blok) yang relatif panjang ($t = 10 - 8 - 7$ jam) dan peningkatan timbunan radiasi gelombang panjang ($L^*_{ave} = 33- 68- 104 \text{ W/m}^2$) serta penurunan kecepatan angin blok ($v_{ave} = 0,5 - 0,1 - 0,1 \text{ m/d}$). Di kondisi lain, terjadi peningkatan *sensible heat*, terutama disebabkan oleh kondisi penerimaan radiasi matahari. Akibatnya, terjadi peningkatan temperatur udara blok, yakni sekitar $1,0$ dan $1,3^\circ\text{C}$, pada puncak siang hari atau sekitar $0,5$ dan $0,5^\circ\text{C}$, pada rata-rata siang hari atau peningkatan nilai *PET* (penurunan tingkat kenyamanan) yakni sekitar $5,8$ dan $8,4^\circ\text{C}$, pada puncak siang hari. Sementara, pada blok Timur- Barat, kondisi dan kenyamanan termal blok cenderung tetap, terutama oleh faktor penerimaan radiasi ($t = 11- 11- 11$ jam).
3. Sekaligus menunjukkan bahwa pengaruh luas area terbangun (dengan $BA = 52,7- 64,7- 78,0\%$ atau $H/W < 1$) terhadap penerimaan panas radiasi matahari (durasi penyinaran blok) adalah faktor utama yang memicu terjadinya peningkatan beban panas blok serta peningkatan kondisi termal (temperatur udara) atau penurunan tingkat kenyamanan termal (peningkatan *PET*) blok.

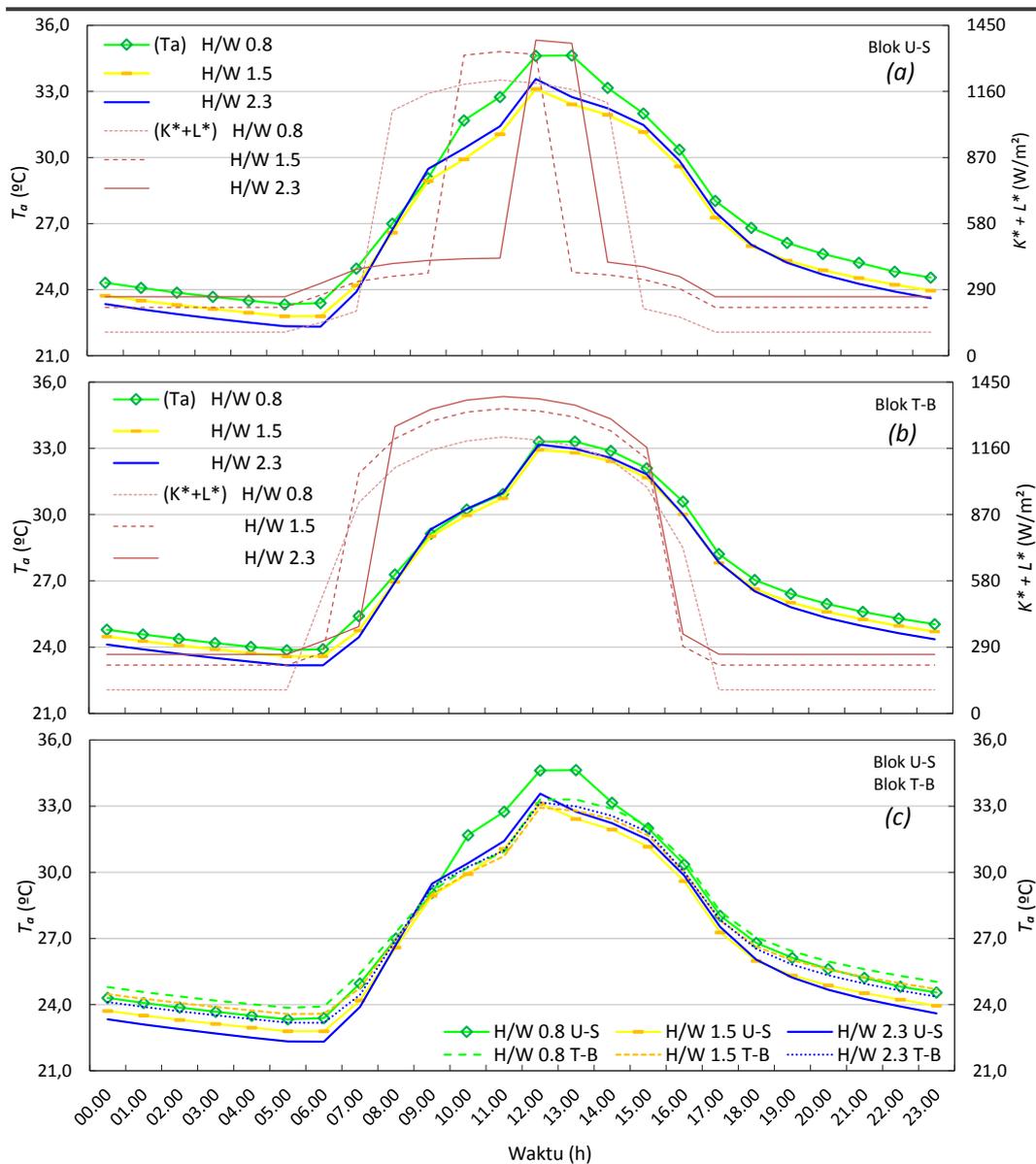
4.5.3 Pengaruh Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan

Telah diketahui, geometri jalan (rasio antara tinggi bangunan terhadap lebar jalan, H/W) adalah faktor (faktor selain luas area terbangun) yang dominan berpengaruh terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar permukiman perkotaan. Pengaruh geometri jalan terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal, juga relatif sama dengan pengaruh luas area terbangun. Terhadap penerimaan radiasi matahari dan kecepatan angin, geometri jalan (H/W) berpengaruh negatif. Semakin tinggi nilai H/W blok, maka penerimaan radiasi matahari akan semakin kecil dan kecepatan angin semakin rendah (terjadi hubungan berbanding terbalik). Sementara, terhadap timbunan radiasi gelombang panjang, geometri jalan berpengaruh positif atau terjadi hubungan berbanding lurus antara keduanya. Demikian selanjutnya, geometri jalan juga berpengaruh terhadap keempat faktor kondisi dan atau kenyamanan termal (temperatur udara, kelembaban udara, temperatur radian dan PET) yakni melalui pengaruhnya terhadap ketiga faktor termal utama (radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin).

Pada pembahasan ini, (bentuk dan nilai) pengaruh geometri jalan (H/W) terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar, akan dilihat, yakni melalui dua pola eksperimen, [Tabel 3.6](#), [Eksperimen Pola-3](#) dan [4](#). Masing-masing dari kedua pola eksperimen tersebut yakni blok dengan rasio tinggi bangunan- lebar jalan (H/W) yang berbeda tetapi dengan tinggi $H1$, $H2$, sama dan blok dengan rasio tinggi bangunan- lebar jalan yang sama, tetapi dengan tinggi $H1$, $H2$, berbeda. Secara rinci, kedua pola eksperimen tersebut, akan diuraikan sebagai berikut.

- a) Rasio tinggi bangunan- lebar jalan, $H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$ dan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar

Blok- blok dengan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan yang berbeda ([Eksperimen Pola-3](#): $H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$) pada dua orientasi (Utara-Selatan dan Timur- Barat) dan kondisi temperatur udara yang dimiliki, ditunjukkan pada [Gambar 4.41](#) berikut ini.

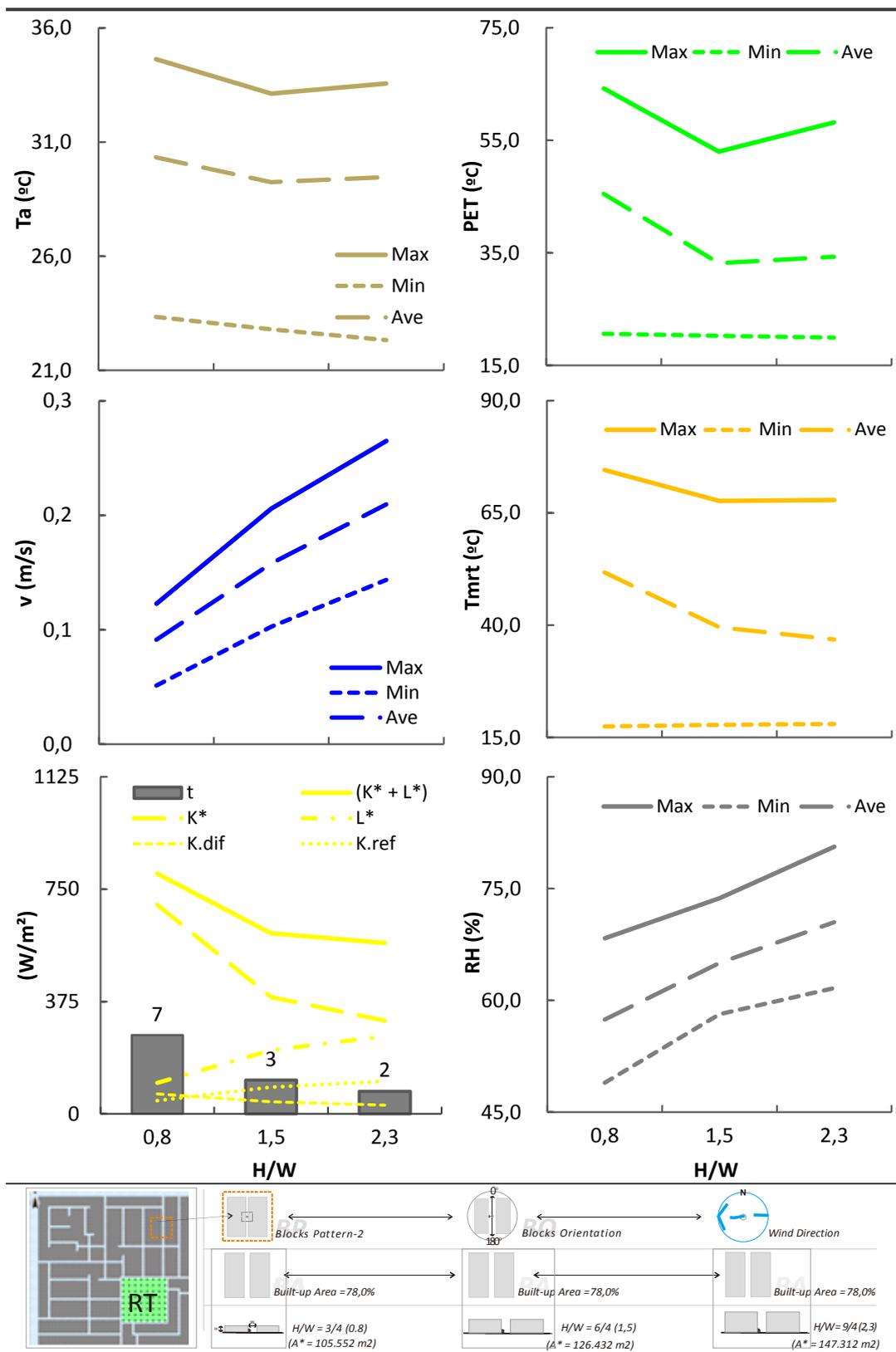


Gambar 4.41 Peningkatan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan (H/W (BA) = 0,8 (93,3); 1,5 (93,3) dan 2,3 (93,3)) dan Perubahan Kondisi Temperatur Udara dan Beban Panas Blok pada: a) Blok Utara- Selatan, b) Blok Timur- Barat dan c) Blok Utara- Selatan dan Timur- Barat (Hasil Simulasi, 2016)

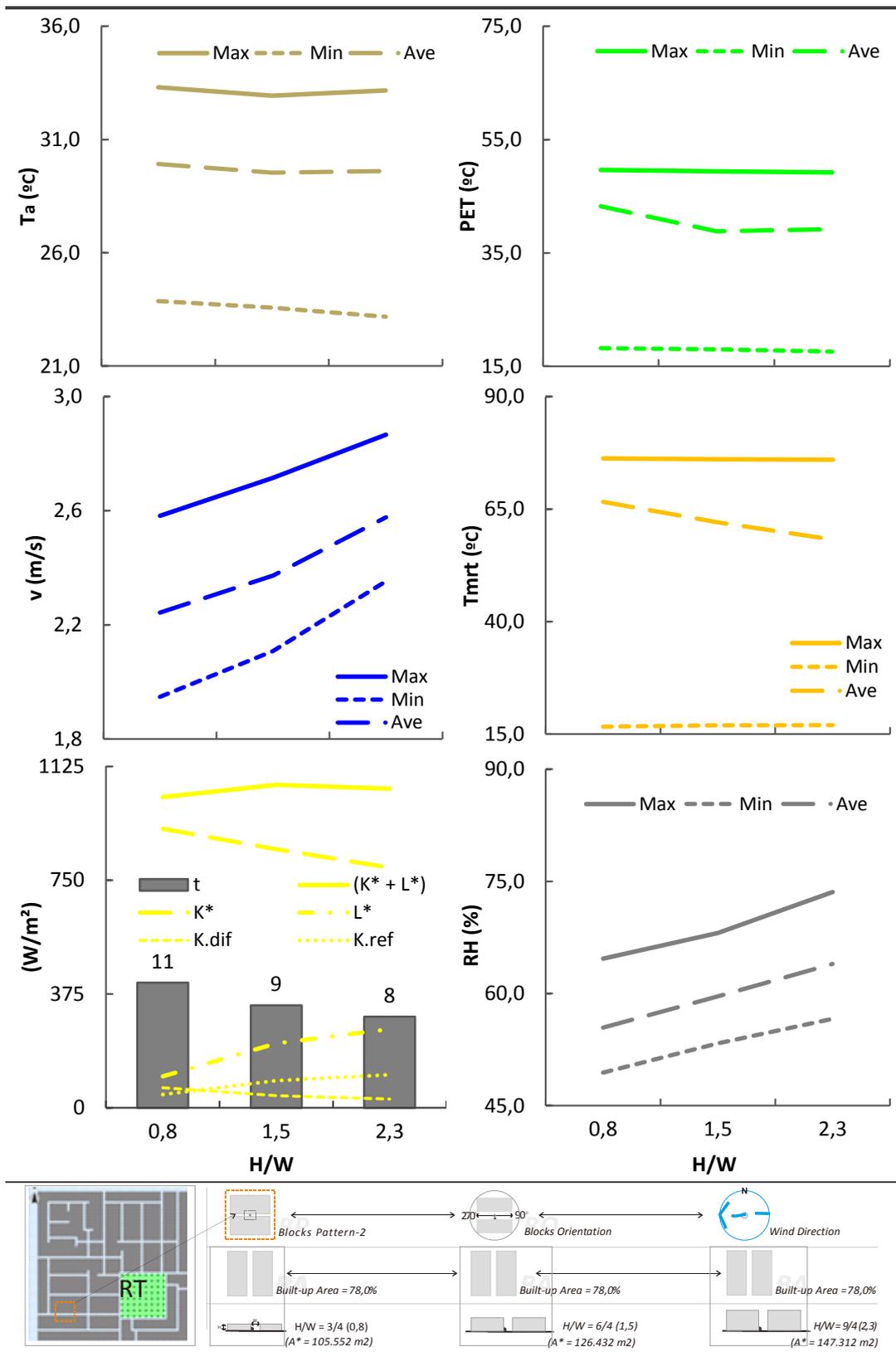
Diketahui dari **Gambar 4.41a** dan **b** (blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat), pada siang hari, temperatur udara tertinggi terjadi pada blok $H/W = 0,8$, sementara temperatur udara terendah, pada blok $H/W = 2,3$. Hal itu berarti, adanya peningkatan H/W blok, dari $H/W = 0,8$ menjadi $H/W = 1,5$, mengakibatkan temperatur udara menurun. Namun, dengan peningkatan H/W blok selanjutnya, dari $H/W = 1,5$ menjadi $H/W = 2,3$, temperatur udara cenderung meningkat.

Sementara itu, pada malam hari, temperatur udara cenderung menurun dengan adanya peningkatan H/W blok, berturut- turut pada $H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$. Kedua kondisi tersebut (bentuk perubahan temperatur udara akibat dari perubahan kondisi H/W blok, pada siang dan malam hari), relatif berbeda dengan kondisi yang terjadi akibat adanya perubahan kondisi luas area terbangun, sebagaimana pada bahasan sebelumnya. Keseluruhan kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar dari ketiga blok ($H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$), pada blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat, digambarkan pada [Gambar 4.42 dan 43](#) dan atau [Tabel 4.15](#).

Ketiga gambar dan tabel, [Gambar 4.42, 43](#) dan [Tabel 4.15](#) menunjukkan bahwa akibat dari peningkatan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan ($H/W = 0,8- 1,5- 2,3$), keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar mengalami perubahan, terjadi sepanjang siang dan malam, terjadi relatif sama pada kedua orientasi blok (Utara- Selatan dan Timur- Barat). Diketahui, durasi penyinaran blok, menurun seiring dengan peningkatan H/W blok, yakni sekitar 4 dan 5 jam ($t= 7- 3- 2$ jam), pada blok Utara- Selatan dan 2 dan 3 jam ($t= 11- 9- 8$ jam), pada blok Timur- Barat atau terjadi penurunan rata- rata penerimaan radiasi matahari, yakni sekitar 308 dan 387 W/m^2 ($K^*= 698- 390- 311$ W/m^2) dan 67 dan 128 W/m^2 ($K^*= 920- 853- 792$ W/m^2), untuk masing- masing blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat. Namun, penerimaan radiasi matahari pada jam- jam penyinaran, cenderung meningkat ($K^*-max= 1106- 1122- 1127$ W/m^2 atau meningkat sekitar 16 dan 21 W/m^2). Demikian pula dengan timbunan radiasi gelombang panjang pada sepanjang hari, meningkat sejalan dengan peningkatan H/W blok tersebut ($L^*-ave= 104- 212- 259$ W/m^2 atau meningkat sekitar 108 dan 156 W/m^2), terjadi sama pada kedua blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat (secara rinci, ditunjukkan pada [Lampiran G](#)). Demikian selanjutnya, jumlah beban panas blok, juga cenderung meningkat, berturut- turut dari ketiga blok (K^*+L^*-max)= 1210- 1334- 1386 W/m^2 atau (K^*+L^*-ave)= 802- 603- 571 W/m^2 , pada blok Utara- Selatan dan (K^*+L^*-max)= 1210- 1333- 1386 W/m^2 atau (K^*+L^*-ave) = 1024- 1065- 1051 W/m^2 , pada blok Timur- Barat. Sementara itu, rata- rata kecepatan angin blok, juga meningkat sejalan dengan peningkatan H/W blok ($v-ave = 0,1- 0,2- 0,2$ m/d dan $v-ave = 2,2- 2,4- 2,6$ m/d, untuk masing- masing blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat).



Gambar 4.42 Peningkatan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan ($H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$) dan Perubahan pada Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan.



Gambar 4.43 Peningkatan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan ($H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$) dan Perubahan pada Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar, pada Blok Timur- Barat.

Tabel 4.15 Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dari Tiga Blok dengan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$) pada Blok Bangunan Utara- Selatan dan Timur- Barat

Blok H/W = 1,5; 1,5'; 1,5"	Blok Bangunan Utara-Selatan (U-S)									Blok Bangunan Utara-Selatan (T-B)								
	Min			Max			Ave (*)			Min			Max			Ave (*)		
Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan, HW (Tinggi Bangunan/Lebar Jalan, H1,H2/ W (m))	1,5	1,5'	1,5"	1,5	1,5'	1,5"	1,5	1,5'	1,5"	1,5	1,5'	1,5"	1,5	1,5'	1,5"	1,5	1,5'	1,5"
Luas Area Terbangun, BA (%)	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
Durasi Penyinaran (t, jam)							3	4	5							9	8	11
Rata-rata Radiasi Lansung ($K.dir, W/m^2$)				962	959	958	260	338	420				962	959	958	723	654	801
Rata-rata Radiasi Difus ($K.dif, W/m^2$)				53	62	63	41	47	48				53	62	63	41	47	48
Rata-rata Radiasi Pantul ($K.ref, W/m^2$)				107	92	91	90	77	76				106	92	91	89	77	76
Total Paparan Radiasi SW ($K^*, W/m^2$)				1122	1113	1112	390	462	543				1121	1113	1112	853	778	925
Timbunan Radiasi LW ($L^*, W/m^2$)	212	182	181	212	183	182	212	183	182	212	182	181	212	183	182	212	183	182
Jumlah Beban Panas ($K^* + L^*, W/m^2$)	212	182	181	1334	1296	1294	603	644	725	212	182	181	1333	1296	1294	1065	961	1107
Rata-rata Kecepatan Angin (v, m/d)	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,1	2,3	2,6	2,7	2,9	3,0	2,4	2,6	2,8
Rata-rata Temperatur ($^{\circ}C$)	22,8	22,3	22,3	33,1	33,3	33,4	29,2	29,5	29,5	23,6	23,1	23,2	32,9	33,2	33,2	29,5	29,7	29,7
Rata-rata Kelembaban (%)	58,1	60,7	62,1	73,7	80,3	80,8	65,0	69,8	70,1	53,3	56,3	56,1	68,1	74,0	73,4	59,6	64,0	63,4
Temperatur radian ($^{\circ}C$)	17,8	17,7	17,7	67,7	73,8	70,1	39,5	42,3	46,2	17,0	16,7	16,7	76,1	75,8	75,7	62,0	57,8	66,3
PET ($^{\circ}C$)	20,3	19,8	19,9	53,0	60,8	58,2	33,2	38,2	40,5	18,0	17,8	17,8	49,4	48,6	48,4	38,8	38,8	41,4

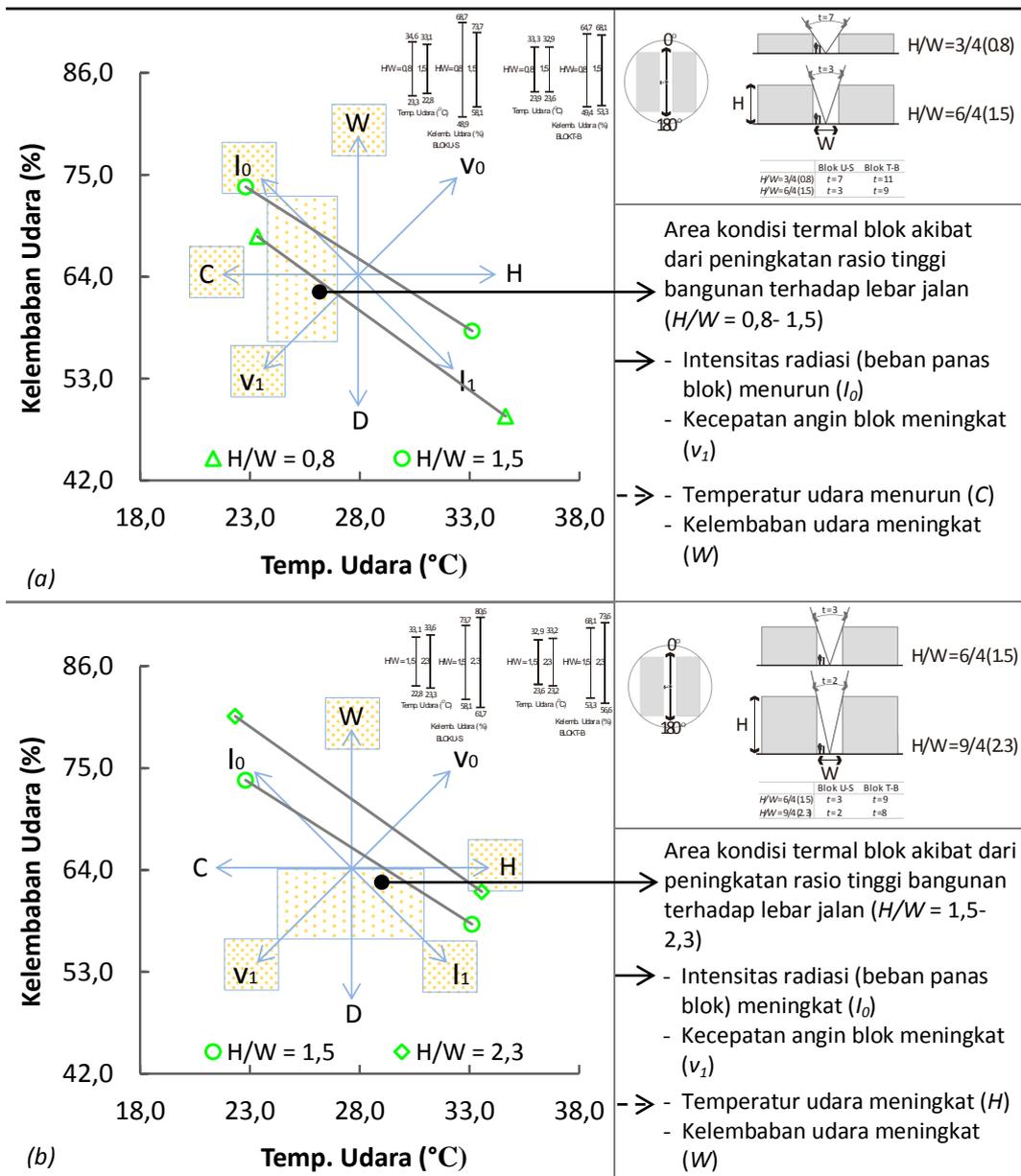
Ket.

(*) : Rata-rata siang hari (06:00-16:00)

Akibat dari peningkatan H/W blok, dari $H/W= 0,8$ ke $H/W= 1,5$, pada blok Utara- Selatan, terjadi pengurangan durasi penyinaran blok, $t= 4$ jam atau penurunan rata- rata penerimaan radiasi matahari, $K^*_{-ave}= 308$ W/m² atau penurunan rata-rata beban panas blok, $(K^*+L^*_{-ave})= 199$ W/m² serta peningkatan rata- rata kecepatan angin, $v_{-ave}= 0,1$ m/d. Akibatnya, temperatur udara blok menurun yakni rata- rata sekitar $1,1^{\circ}\text{C}$ ($T_{a-ave}= 30,3- 29,2^{\circ}\text{C}$) atau terjadi penurunan nilai PET , sekitar $12,3^{\circ}\text{C}$ ($PET_{-ave}= 45,5- 33,2^{\circ}\text{C}$). Sebaliknya, kelembaban udara blok meningkat, sekitar 8% ($RH_{-ave} = 57 - 65\%$). Demikian halnya pada blok Timur- Barat, durasi penyinaran blok menurun, $t= 2$ jam atau terjadi penurunan rata- rata penerimaan radiasi matahari, $K^*_{-ave}= 67$ W/m² serta peningkatan rata- rata kecepatan angin, $v_{-ave}= 0,1$ m/d, selanjutnya mengakibatkan terjadinya penurunan temperatur udara blok, yakni rata- rata sekitar $0,4^{\circ}\text{C}$ ($T_{a-ave}= 29,9- 29,5^{\circ}\text{C}$) atau penurunan nilai PET , sekitar $4,4^{\circ}\text{C}$ ($PET_{-ave}= 43,3- 38,8^{\circ}\text{C}$). Sementara, kelembaban udara blok meningkat, sekitar 4% ($RH_{-ave} = 60 - 64\%$). Pengaruh peningkatan rasio ketinggian bangunan- lebar jalan ($H/W = 0,8- 1,5$) terhadap kondisi termal ruang luar, pada blok Utara- Selatan dan Timur- Barat, selanjutnya diilustrasikan pada [Gambar 4.44a](#).

Sementara itu, peningkatan H/W blok selanjutnya, dari $H/W = 1,5$ ke $H/W = 2,3$, mengakibatkan penurunan durasi penyinaran blok yaitu sekitar 1 jam ($t= 3- 2$ jam dan $t= 9- 8$ jam, pada masing- masing blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat) atau penurunan rata- rata beban panas blok, sekitar 32 W/m² ($(K^*+L^*_{-ave})= 603- 571$ W/m², pada blok Utara- Selatan) dan sekitar 13 W/m² ($(K^*+L^*_{-ave})= 1065- 1051$ W/m², pada blok Timur- Barat) serta peningkatan kecepatan angin blok ($v_{-ave} = 0,2- 0,2$ m/d) dan ($v_{-ave} = 2,4- 2,6$ m/d), untuk masing- masing blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat. Namun, di kondisi lain, terjadi peningkatan beban panas blok pada sepanjang jam penyinaran blok, yakni rata- rata sekitar 53 W/m² ($(K^*+L^*_{-max})= 1333- 1386$ W/m², pada kedua blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat). Akibatnya, terjadi peningkatan temperatur udara blok sejalan dengan peningkatan H/W blok, yakni rata- rata sekitar $0,2^{\circ}\text{C}$ ($T_{a-ave}= 29,2-29,5^{\circ}\text{C}$), pada blok Utara- Selatan dan $0,1^{\circ}\text{C}$ ($T_{a-ave}= 29,5-29,6^{\circ}\text{C}$), pada blok Timur- Barat atau peningkatan nilai PET , sekitar $1,1^{\circ}\text{C}$ ($PET_{-ave}= 33,2- 34,3^{\circ}\text{C}$) dan $0,4^{\circ}\text{C}$ ($PET_{-ave}= 38,8- 39,2^{\circ}\text{C}$, untuk masing-

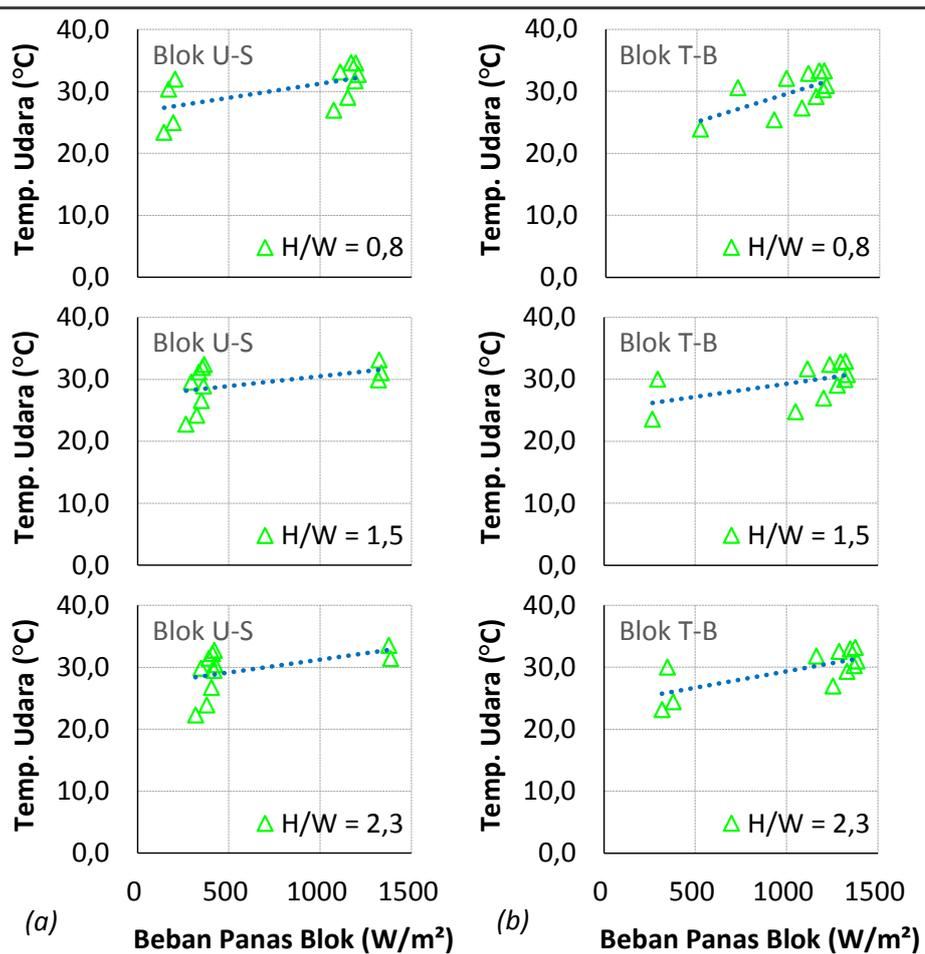
masing blok Utara- Selatan dan Timur- Barat. Kondisi beban panas dan temperatur udara dari ketiga blok ($H/W = 0,8 - 1,5 - 2,3$), pada dua orientasi (Utara- Selatan dan Timur- Barat), ditunjukkan pada Gambar 4.41a dan b. Sementara, pengaruh peningkatan rasio ketinggian bangunan- lebar jalan ($H/W= 1,5- 2,3$) terhadap kondisi termal ruang luar, pada kedua blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat, diilustrasikan pada Gambar 4.44b.



Gambar 4.44 Pengaruh Peningkatan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan: a) (H/W) = 0,8- 1,5 dan b) (H/W) = 1,5- 2,3 terhadap Kondisi Termal Ruang Luar, pada Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat

Untuk kondisi malam hari, temperatur udara ataupun *PET* blok diketahui cenderung menurun akibat adanya peningkatan *H/W* blok, berturut-turut dari ketiga blok ($H/W = 0,8- 1,5- 2,3$) yakni $T_{a-min} = 23,3- 22,8- 22,3^{\circ}\text{C}$ (menurun sekitar $0,5$ dan $1,0^{\circ}\text{C}$) dan $PET-min = 20,6- 20,3- 19,9^{\circ}\text{C}$ (menurun sekitar $0,3$ dan $0,7^{\circ}\text{C}$), pada blok Utara- Selatan dan $T_{a-min} = 23,9- 23,6- 23,2^{\circ}\text{C}$ (menurun sekitar $0,3$ dan $0,7^{\circ}\text{C}$) dan $PET-min = 18,2- 18,0- 17,6^{\circ}\text{C}$ (menurun sekitar $0,2$ dan $0,6^{\circ}\text{C}$), pada blok Timur- Barat. Hal ini, selain disebabkan oleh kondisi kecepatan angin (kecepatan angin meningkat seiring dengan peningkatan *H/W* blok), juga dikarenakan oleh pembacaan program, ENVI-met tidak memperhitungkan penyimpanan panas pada struktur. Terkait ini, diungkap oleh Ali-Toudert dan Mayer (2006) bahwa ENVI-met 3.1 tidak memperhitungkan penyimpanan panas struktur, sehingga pembacaan temperatur udara cenderung lebih rendah dari kondisi lapangan, khususnya temperatur udara pada malam hari.

Dengan demikian, berdasarkan uraian di atas, telah dapat dipahami bahwa pengaruh peningkatan rasio tinggi bangunan tersebut terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, terjadi dalam dua kondisi yakni kondisi dan kenyamanan termal ruang luar cenderung menurun (dari blok $H/W = 0,8$ ke blok $H/W = 1,5$) dan cenderung meningkat (dari blok $H/W = 1,5$ ke blok $H/W = 2,3$). Hal ini, terjadi relatif sama pada kedua orientasi blok, Utara- Selatan dan Timur Barat. Lebih lanjut, juga diketahui bahwa faktor pembeda diantara keduanya adalah faktor penerimaan panas radiasi matahari dan timbunan radiasi gelombang panjang di sekitar blok ataupun jumlah beban panas blok. Namun, sebagaimana pada bahasan sebelumnya, hubungan antara beban panas dan temperatur udara dari blok- blok tersebut, juga menunjukkan hubungan yang relatif lemah (hubungan positif lemah, lihat [Gambar 4.45](#)), baik pada blok Utara- Selatan maupun blok Timur- Barat. Kondisi ini relatif sama dengan kondisi yang diungkap oleh Kruger dkk (2011). Dalam studi yang mereka lakukan pada koridor di pusat kota Curitiba, Brazil, diungkap bahwa SVF sebagai parameter perkotaan, sangat berpengaruh terhadap penerimaan radiasi matahari pada koridor. Namun, hubungan antara penerimaan radiasi matahari dengan temperatur udara pada siang hari, relatif lemah.

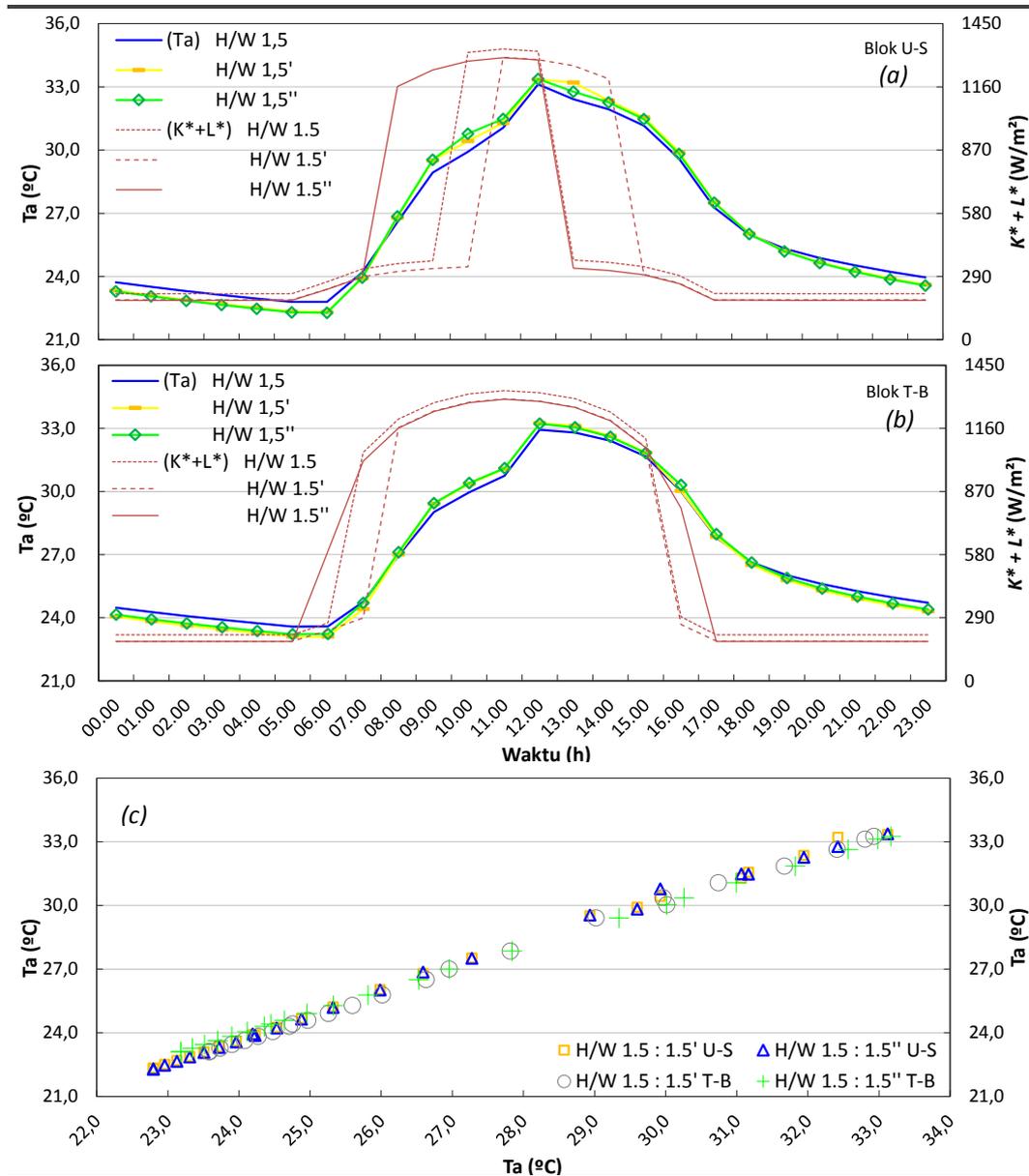


Gambar 4.45 Grafik Hubungan antara Beban Panas dan Temperatur Udara dari Tiga Blok dengan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda, (H/W) = 0,8 - 1,5 - 2,3, pada: a) Blok Utara- Selatan dan b) Blok Timur- Barat.

- b) Rasio tinggi bangunan- lebar jalan, $H/W = 1,5 - 1,5' - 1,5''$ dan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar

Pada **Gambar 4.46** berikut ini adalah gambaran kondisi temperatur udara dari tiga blok dengan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan yang sama, namun dengan tinggi sisi- sisi, berbeda (H/W ($H1,H2/W$)= 1,5 (6,6/4)- 1,5' (3,9/4)- 1,5'' (9,3/4)). Dari kedua **Gambar 4.46a** dan **b**, diketahui bahwa kondisi temperatur udara dari ketiga blok, relatif berimpit. Sementara, dari **Gambar 4.46c**, kecenderungan (*trend*) temperatur udara dari blok- blok tersebut, relatif sama. Hal ini menunjukkan, perubahan yang terjadi pada tinggi sisi- sisi blok ($H1,H2$) namun dengan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W) yang tetap, cenderung tidak mengakibatkan perubahan pada kondisi temperatur udara blok.

Gambaran keseluruhan kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar dari ketiga blok (H/W ($H1, H2/W$) = 1,5 (6,6/4)- 1,5' (3,9/4)- 1,5'' (9,3/4)), ditunjukkan pada Gambar 4.47, 47 dan Tabel 4.16.

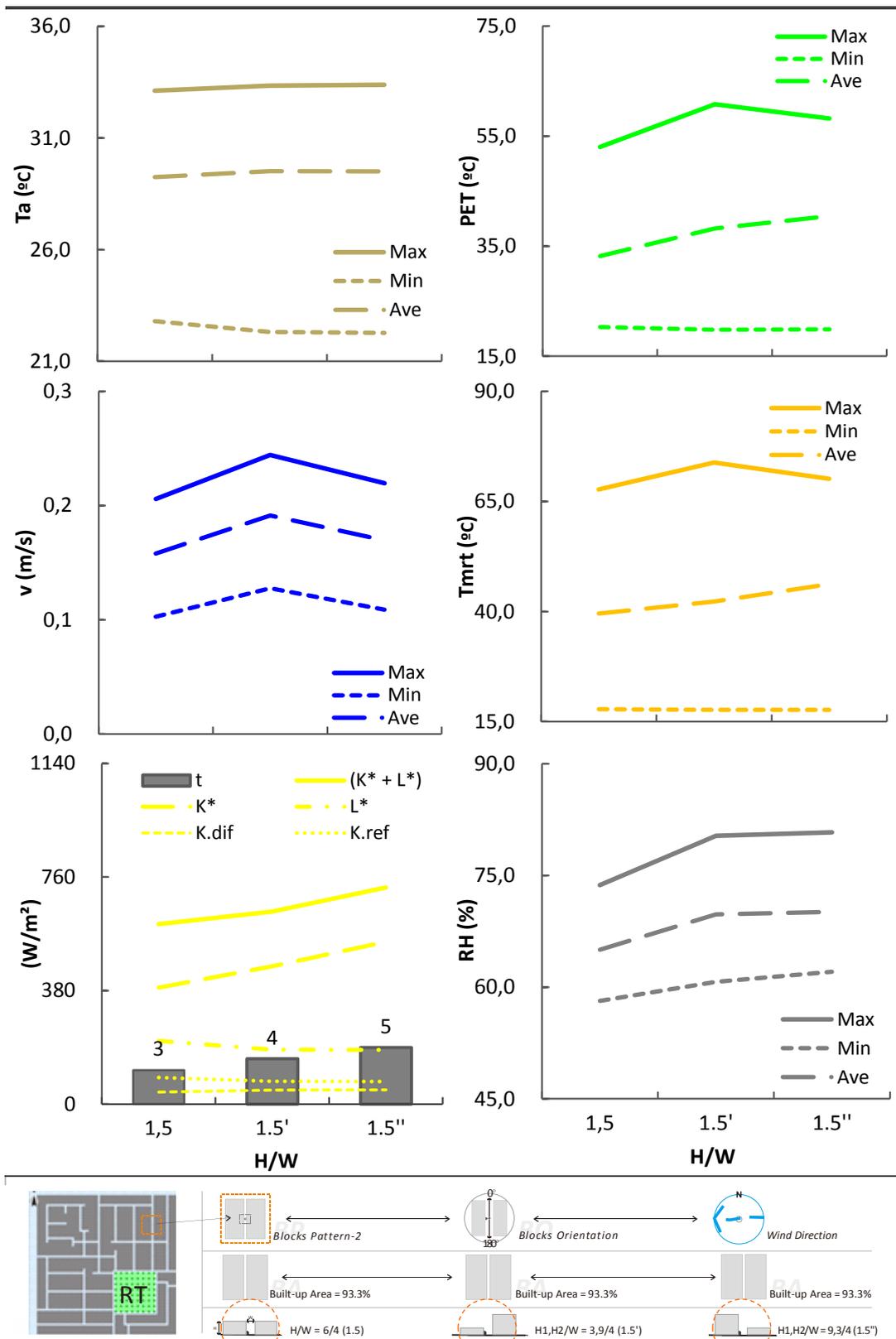


Gambar 4.46 Temperatur Udara dan Beban Panas dari Tiga Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Sama, namun dengan Tinggi Sisi- sisi, Berbeda (H/W ($H1, H2/W$) = 1,5 (6,6/4); 1,5' (3,9/4) dan 1,5'' (9,3/4)): a) Blok Utara- Selatan dan b) Blok Timur- Barat (Hasil Eksperimen, 2016)

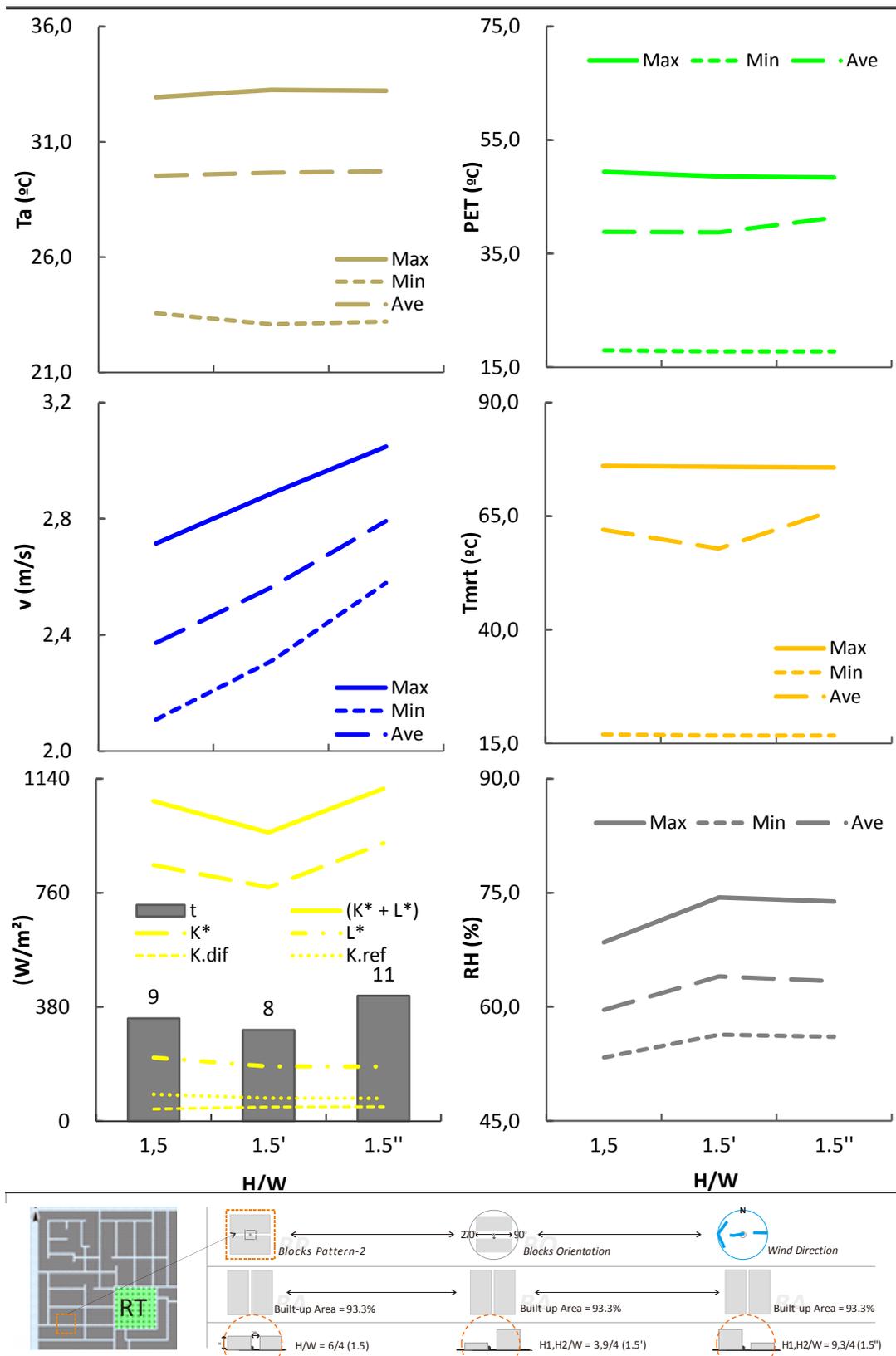
Relatif berbeda dengan kondisi temperatur udara, kondisi faktor- faktor termal dan atau kenyamanan termal (selain temperatur udara) dari ketiga blok

seperti ditunjukkan pada [Gambar 4.47, 48](#) dan [Tabel 4.16](#), di dua orientasi (Utara-Selatan dan Timur- Barat), relatif berbeda (mengalami perubahan kondisi sejalan dengan perubahan ketinggian sisi- sisi blok). Diketahui, kondisi penerimaan radiasi matahari (t, K^*), pada blok $H/W = 1,5$ (6/4) relatif lebih kecil dibanding pada dua blok lainnya, $H/W = 1,5'$ (3,9/4) dan $H/W = 1,5''$ (9,3/4) ($t= 3- 4- 5$ jam atau $K^*-ave= 390- 462- 543$ W/m², pada blok Utara- Selatan dan $t= 9- 8- 11$ jam atau $K^*-ave= 853- 778- 925$ W/m², pada blok Timur- Barat). Sebaliknya, rata-rata timbunan radiasi gelombang panjang, relatif lebih besar pada blok $H/W= 1,5$ (6/4) dibanding pada dua blok lainnya tersebut ($L^*-ave = 212- 183- 182$ W/m², sama pada kedua orientasi blok, Utara- Selatan dan Timur- Barat). Selanjutnya diketahui, rata- rata beban panas relatif sama dari ketiga blok ($K^*+L^*-ave= 603- 644- 725$ W/m² dan $K^*+L^*-ave= 1065- 961- 1107$ W/m², untuk masing- masing blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat). Sementara itu, kecepatan angin, pada blok $H/W= 1,5$ (6/4) relatif lebih kecil dibanding pada dua blok lainnya ($v-ave= 0,2- 0,2- 0,2$ m/d, pada blok Utara- Selatan dan $v-ave= 2,4- 2,6- 2,8$ m/d, pada blok Timur- Barat).

Kondisi faktor penerimaan panas/ radiasi matahari atau jumlah beban panas (relatif sama) dan faktor pelepasan panas (kecepatan angin, cenderung meningkat) dari ketiga blok tersebut, selanjutnya mengakibatkan temperatur udara dari blok- blok tersebut juga relatif sama ($T_a-ave = 29,2- 29,5- 29,5^{\circ}\text{C}$, pada blok Utara- Selatan dan $T_a-ave = 29,5- 29,7- 29,7^{\circ}\text{C}$, pada blok Timur- Barat). (Kondisi beban panas dan temperatur udara dari ketiga blok, pada kedua orientasi blok, ditunjukkan pada [Gambar 4.46a](#) dan [b](#)). Namun, adanya perbedaan waktu penerimaan radiasi matahari dari ketiga blok (khusus pada blok Utara- Selatan), kedua blok $H/W= 1,5''$ (9,3/4) dan blok $H/W= 1,5'$ (3,9/4) terpapar radiasi lebih awal pada pagi- siang hari (5 jam, 08:00-12:00) dan setelah siang hari (4 jam, 11:00-14:00), sedang blok $H/W= 1,5$ (6/4) pada siang hari (3 jam, 10:00-12:00). Akibatnya, PET dari kedua blok tersebut juga relatif lebih tinggi dari satu blok lainnya (berturut- turut dari ketiga blok, $H/W (H1,H2/W)= 1,5$ (6,6/4)- $1,5'$ (3,9/4)- $1,5''$ (9,3/4), $PET-max= 53,0- 60,8- 58,2^{\circ}\text{C}$, pada puncak siang hari dan $PET-ave= 33,2- 38,2- 40,5^{\circ}\text{C}$, pada rata- rata siang hari).



Gambar 4.47 Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Sama namun dengan Tinggi Sisi- sisi Berbeda (H/W ($H1,H2/W$)= 1,5 (6,6/4)- 1,5' (3,9/4)- 1,5'' (9,3/4) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar yang Dimiliki, pada Blok Utara- Selatan.



Gambar 4.48 Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Sama namun dengan Tinggi Sisi- sisi Berbeda (H/W ($H1,H2/W$)= 1,5 (6,6/4)- 1,5' (3,9/4)- 1,5'' (9,3/4)) dan Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar yang Dimiliki, pada Blok Timur- Barat.

Tabel 4.16 Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dari Tiga Blok dengan Rasio Ketinggian Bangunan- Lebar Jalan yang Sama, namun dengan $H1, H2$ Berbeda H/W ($H1, H2/ W$) = 1,5 (6,6/ 4) – 1,5' (3,9/ 4) – 1,5'' (9,3/ 4)) pada Blok Bangunan Utara- Selatan dan Timur- Barat

Blok H/W = 1,5; 1,5'; 1,5''	Blok Bangunan Utara-Selatan (U-S)									Blok Bangunan Utara-Selatan (T-B)								
	Min			Max			Ave (*)			Min			Max			Ave (*)		
Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan, HW	1,5	1,5'	1,5''	1,5	1,5'	1,5''	1,5	1,5'	1,5''	1,5	1,5'	1,5''	1,5	1,5'	1,5''	1,5	1,5'	1,5''
(Tinggi Bangunan/Lebar Jalan, H1,H2/ W (m))	(6,6/ 4)	(3,9/ 4)	(9,3/ 4)	(6,6/ 4)	(3,9/ 4)	(9,3/ 4)	(6,6/ 4)	(3,9/ 4)	(9,3/ 4)	(6,6/ 4)	(3,9/ 4)	(9,3/ 4)	(6,6/ 4)	(3,9/ 4)	(9,3/ 4)	(6,6/ 4)	(3,9/ 4)	(9,3/ 4)
Luas Area Terbangun, BA (%)	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
Durasi Penyinaran (t, jam)							3	4	5							9	8	11
Rata-rata Radiasi Lansung (K_{dir} , W/m ²)				962	959	958	260	338	420				962	959	958	723	654	801
Rata-rata Radiasi Difus (K_{dif} , W/m ²)				53	62	63	41	47	48				53	62	63	41	47	48
Rata-rata Radiasi Pantul (K_{ref} , W/m ²)				107	92	91	90	77	76				106	92	91	89	77	76
Total Paparan Radiasi SW (K^* , W/m ²)				1122	1113	1112	390	462	543				1121	1113	1112	853	778	925
Timbunan Radiasi LW (L^* , W/m ²)	212	182	181	212	183	182	212	183	182	212	182	181	212	183	182	212	183	182
Jumlah Beban Panas ($K^* + L^*$, W/m ²)	212	182	181	1334	1296	1294	603	644	725	212	182	181	1333	1296	1294	1065	961	1107
Rata-rata Kecepatan Angin (v, m/d)	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,1	2,3	2,6	2,7	2,9	3,0	2,4	2,6	2,8
Rata-rata Temperatur (°C)	22,8	22,3	22,3	33,1	33,3	33,4	29,2	29,5	29,5	23,6	23,1	23,2	32,9	33,2	33,2	29,5	29,7	29,7
Rata-rata Kelembaban (%)	58,1	60,7	62,1	73,7	80,3	80,8	65,0	69,8	70,1	53,3	56,3	56,1	68,1	74,0	73,4	59,6	64,0	63,4
Temperatur radian (°C)	17,8	17,7	17,7	67,7	73,8	70,1	39,5	42,3	46,2	17,0	16,7	16,7	76,1	75,8	75,7	62,0	57,8	66,3
PET (°C)	20,3	19,8	19,9	53,0	60,8	58,2	33,2	38,2	40,5	18,0	17,8	17,8	49,4	48,6	48,4	38,8	38,8	41,4

Ket.

(*) : Rata-rata siang hari (06:00-16:00)

Dari uraian di atas, pengaruh rasio tinggi bangunan- lebar jalan (H/W) terhadap kondisi dan kenyamanan termal dapat disimpulkan, sebagai berikut:

1. Hasil studi menunjukkan bahwa relatif sama antara pengaruh rasio tinggi bangunan- lebar jalan (H/W) dan luas area terbangun terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar. Hal ini terkait pengaruh langsung keduanya terhadap tiga faktor termal utama, penerimaan radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang atau beban panas dan kecepatan angin.
2. Sebagaimana pola blok bangunan dan luas area terbangun, pengaruh rasio tinggi bangunan tidak terlepas dari pengaruh orientasi blok bangunan.
3. Pada kasus peningkatan kepadatan bangunan/ peningkatan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan, dari $H/W= 0,8$ ke $H/W= 1,5$, mengakibatkan penurunan beban panas blok (terutama akibat penurunan penerimaan radiasi matahari) serta peningkatan kecepatan angin blok. Hal ini terjadi relatif sama pada kedua orientasi blok, Utara- Selatan dan blok Timur- Barat. Pada blok Utara- Selatan, peningkatan H/W mengakibatkan penurunan rata- rata beban panas blok, ($K^*+L^*_{-ave}$)= 199 W/m² (penurunan rata- rata penerimaan radiasi matahari, K^*_{-ave} = 308 W/m²) serta peningkatan rata- rata kecepatan angin, v_{-ave} = 0,1 m/d. Selanjutnya mengakibatkan temperatur udara blok menurun yakni rata- rata sekitar 1,1°C (T_{a-ave} = 30,3- 29,2°C) atau terjadi penurunan nilai PET , sekitar 12,3°C (PET_{-ave} = 45,5- 33,2°C). Sementara, pada blok Timur- Barat, penurunan rata- rata penerimaan radiasi matahari, K^*_{-ave} = 67 W/m² serta peningkatan kecepatan angin, v_{-ave} = 0,1 m/d, selanjutnya mengakibatkan temperatur udara blok menurun, yakni sekitar 0,4°C (T_{a-ave} = 29,9- 29,5°C) atau penurunan PET , sekitar 4,4°C (PET_{-ave} = 43,3- 38,8°C).
4. Pada kasus selanjutnya, peningkatan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan, dari $H/W= 1,5$ ke $H/W= 2,3$, cenderung meningkatkan temperatur udara blok, yakni rata- rata sekitar 0,2°C (T_{a-ave} = 29,2-29,5°C), pada blok Utara- Selatan dan 0,1°C (T_{a-ave} = 29,5-29,6°C), pada blok Timur- Barat atau peningkatan nilai PET , sekitar 1,1°C (PET_{-ave} = 33,2- 34,3°C) dan 0,4°C (PET_{-ave} = 38,8- 39,2°C), untuk masing- masing blok Utara- Selatan dan Timur- Barat. Hal ini terutama disebabkan oleh terjadinya peningkatan beban

panas blok (oleh peningkatan timbunan radiasi gelombang panjang pada sepanjang jam penyinaran) sebagai akibat dari peningkatan H/W blok.

5. Selanjutnya, dari kasus studi rasio tinggi bangunan- lebar jalan dengan tinggi sisi- sisi berbeda ($H1, H2/W$), diungkap bahwa perubahan yang terjadi pada tinggi sisi- sisi blok namun dengan rasio tinggi bangunan- lebar jalan (H/W) yang tetap, cenderung tidak mengakibatkan perubahan pada kondisi temperatur udara, namun terjadi perubahan kondisi pada faktor termal lainnya dan atau kenyamanan termal ruang luar. Hal ini menegaskan fungsi H/W sebagai parameter perkotaan.

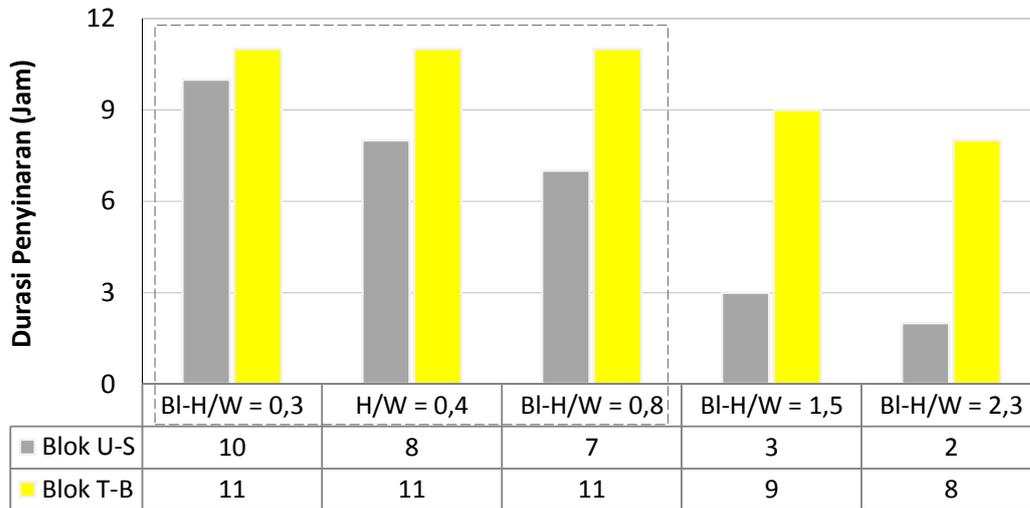
4.5.4 Pengaruh Orientasi Blok Bangunan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan

Orientasi blok bangunan sebagaimana pada pembahasan sebelumnya adalah salah satu variabel/ parameter desain yang berpengaruh terhadap penerimaan panas radiasi matahari dan kondisi kecepatan angin blok. Blok- blok dengan orientasi Timur- Barat, cenderung terpapar radiasi matahari lebih lama dibanding blok- blok yang berorientasi Utara- Selatan. Demikian pula, blok- blok yang sejajar dengan arah sumber angin, memiliki rata- rata kecepatan angin yang relatif lebih tinggi dibanding dengan blok- blok yang tegak- lurus dengan arah sumber angin. Selanjutnya, kondisi kedua hal tersebut akan menentukan kondisi termal (temperatur udara) dan atau kenyamanan termal blok (PET). Dalam pembahasan ini, besar pengaruh orientasi blok bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, akan dilihat.

- a) Pengaruh orientasi blok bangunan terhadap penerimaan radiasi matahari

Digambarkan pada [Gambar 4.49](#), rata- rata durasi penyinaran blok- blok Timur- Barat relatif lebih besar dibanding dengan rata- rata durasi penyinaran blok- blok Utara- Selatan. Intensitas (rasio) durasi penyinaran dari kedua blok, terlihat berbeda- beda seiring dengan perubahan kondisi rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan atau H/W blok. Semakin besar H/W blok, rasio antara keduanya semakin kecil ($t(U-S/T-B) = 10/11- 8/11- 7/11- 1/3- 1/4$, berturut- turut pada blok $H/W = 0,3- 0,4- 0,8- 1,5- 2,3$). Hal ini, sebagaimana terlihat, bahwa laju

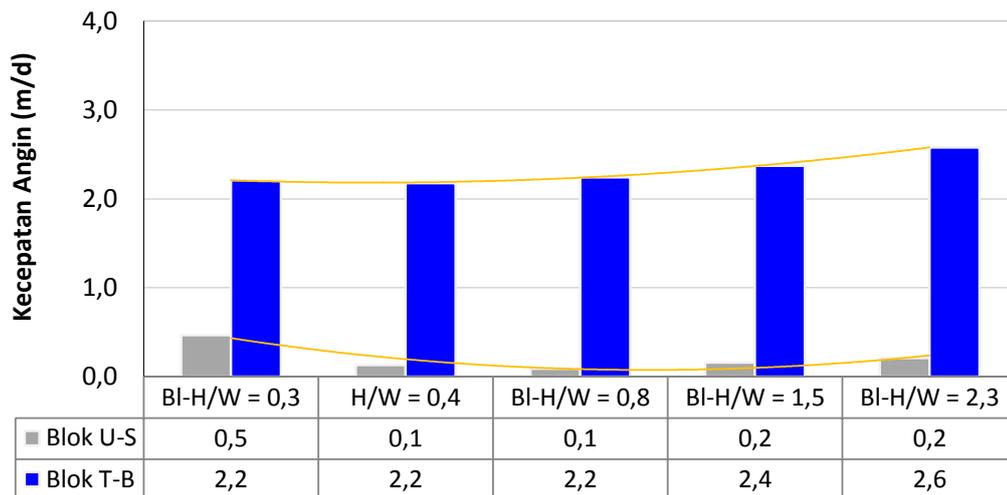
penurunan durasi penyinaran blok akibat adanya peningkatan H/W blok, pada blok- blok Utara- Selatan relatif lebih cepat (besar) dibanding pada blok- blok Timur- Barat atau sebaliknya. Khususnya pada tiga blok pertama ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8$ atau $H/W < 1$), pada blok Timur- Barat, bahkan terlihat tidak terjadi penurunan durasi penyinaran blok dengan adanya peningkatan H/W blok tersebut.



Gambar 4.49 Durasi Penyinaran dari Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat pada Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).

b) Pengaruh orientasi blok bangunan terhadap kecepatan angin

Senada dengan kondisi penerimaan radiasi matahari, kondisi kecepatan angin dari blok- blok Utara- Selatan dan blok- blok Timur- Barat, relatif berbeda (lihat [Gambar 4.50](#)). Rata- rata kecepatan angin dari blok- blok Utara- Selatan (blok- blok dengan orientasi tegak- lurus terhadap arah sumber angin) adalah sekitar 1/25- 1/5 (rata- rata 1/11) dari rata- rata kecepatan blok- blok Timur- Barat (blok- blok dengan orientasi sejajar terhadap arah sumber angin) ($v(U-S/T-B) = 0,5/2,2- 0,1/2,2- 0,1/2,2- 0,2/2,4- 0,2/2,6$). Pada sisi lainnya (bentuk perubahan), kecepatan angin pada blok Utara- Selatan, cenderung menurun pada suatu kondisi (dari $H/W = 0,3- 0,4- 0,8$ atau $H/W < 1$), serta meningkat pada kondisi lain (dari $H/W = 0,8- 1,5- 2,3$). Sementara pada blok Timur- Barat, kecepatan angin cenderung meningkat sejalan dengan peningkatan H/W blok.

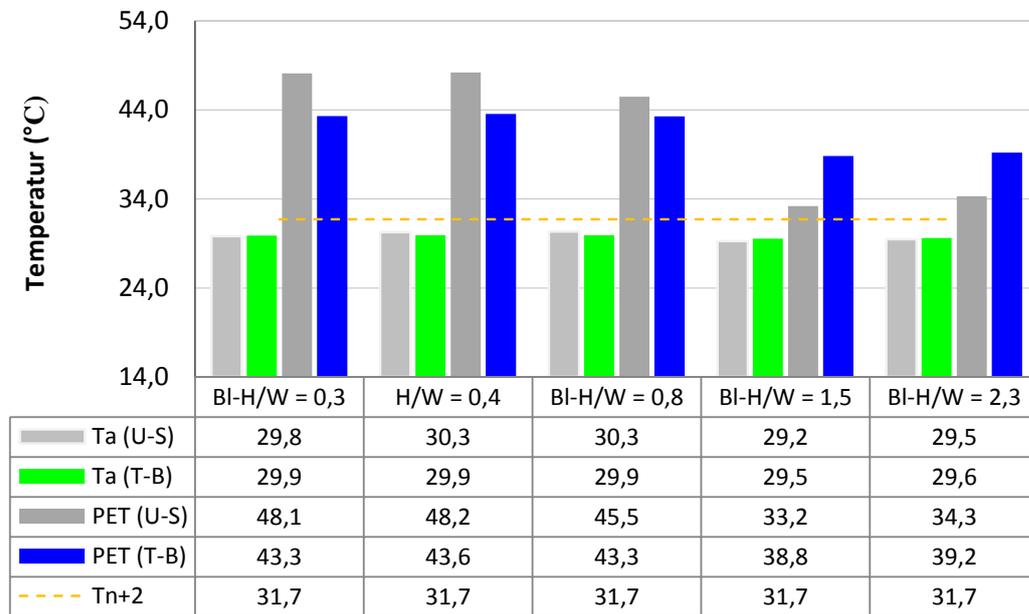


Gambar 4.50 Rata- rata Kecepatan Angin dari Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat pada Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).

c) Pengaruh orientasi blok bangunan terhadap temperatur udara dan *PET*

Gambaran kondisi temperatur udara dan *PET* dari blok- blok Utara- Selatan dan Timur- Barat pada kelima blok ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8- 1,5- 2,3$), ditunjukkan pada [Gambar 4.51](#). Dari gambar, pada tiga blok ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8$), diketahui rata- rata temperatur udara dan *PET* blok- blok Timur- Barat secara umum lebih rendah dari blok- blok Utara- Selatan. Kondisi sebaliknya terjadi pada dua blok lainnya ($H/W = 1,5- 2,3$), rata- rata temperatur udara dan *PET* pada blok- blok Timur- Barat relatif lebih tinggi dibanding pada blok- blok Utara- Selatan. Hal ini telah dapat dipahami, bahwa perbedaan durasi penyinaran yang relatif kecil serta kondisi kecepatan angin yang relatif besar antara kedua blok (blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat), pada tiga blok tersebut, mengakibatkan blok- blok Timur- Barat relatif lebih dingin dan atau relatif lebih nyaman dibanding blok- blok Utara- Selatan. Sementara, kondisi pada dua blok lainnya ($H/W = 1,5- 2,3$, temperatur udara dan *PET* pada blok Timur- Barat relatif lebih tinggi dibanding pada blok- blok Utara- Selatan), terutama disebabkan oleh kondisi durasi penyinaran dari kedua blok (durasi penyinaran blok Timur- Barat jauh lebih besar dari duarasi penyinaran blok Utara- Selatan). Namun demikian, kondisi secara umum dari kedua blok (blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat), menunjukkan bahwa blok- blok dengan H/W rendah ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8$ atau $H/W < 1$) memiliki rata- rata temperatur udara dan *PET* yang relatif lebih

tinggi (tingkat kenyamanan termal lebih rendah) dibanding blok- blok dengan H/W yang lebih tinggi ($H/W= 1,5- 2,3$). Akan tetapi, rata- rata derajat temperatur (PET) dari blok- blok tersebut, masih berada di atas ambang atas kenyamanan termal.



Gambar 4.51 Rata- rata Temperatur Udara dan PET dari Blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat pada Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).

Dari uraian di atas, maka pengaruh orientasi blok bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, dapat disimpulkan, berikut ini.

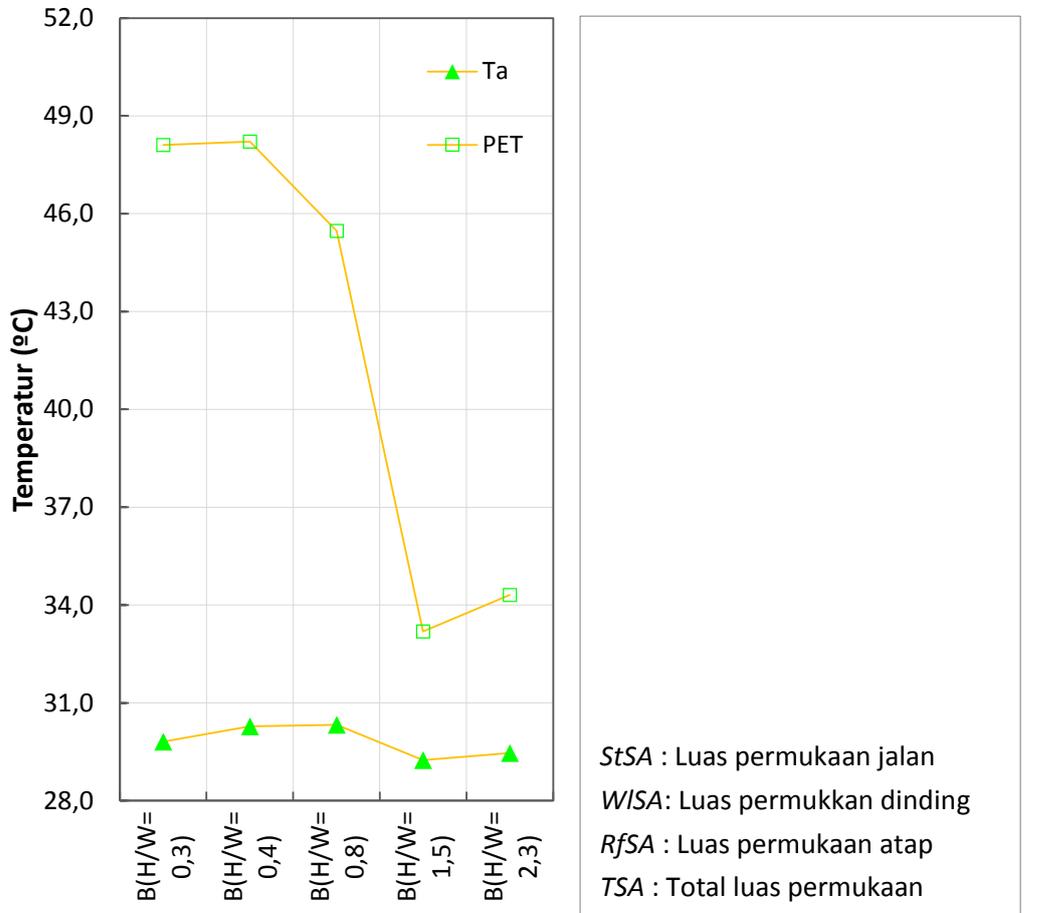
1. Nilai (rasio) perbedaan kondisi penerimaan radiasi matahari dan kondisi kecepatan angin antara kedua blok, blok Utara- Selatan dan blok Timur- Barat, menunjukkan dominasi pengaruh orientasi blok terhadap keduanya. Hal ini sekaligus menunjukkan bahwa orientasi blok bangunan dominan berpengaruh terhadap keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar.
2. Rasio kondisi penerimaan radiasi matahari dan kecepatan angin yang cenderung berubah sejalan dengan perubahan nilai H/W blok, menunjukkan bahwa pengaruh orientasi blok bangunan tidak terlepas dari pengaruh H/W blok.

3. Nilai rasio penerimaan radiasi matahari dari kedua blok, blok Utara- Selatan dan Blok Timur- Barat yakni $t_{(U-S/T-B)} = 1-4$ (berturut- turut pada blok $H/W = 0,3- 2,3$). Blok Timur- Barat terpapar 1-4 kali lebih lama dibanding banding pada blok Utara- Selatan (berdasarkan konteks tersebut). Semakin besar H/W blok, maka akan semakin besar perbedaan durasi penyinaran dari kedua blok. Hal ini menambahkan hasil yang diungkap oleh Taleghani dkk (2015). Dalam penelitian yang mereka lakukan yakni menguji pengaruh bentuk perkotaan (*urban form*) terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, diungkap bahwa durasi penyinaran matahari blok (*linear blocks*) yang berorientasi Timur- Barat adalah sekitar 3 kali lebih besar dari blok Utara- Selatan.
4. Terhadap kecepatan angin, diungkap bahwa blok- blok dengan orientasi tegak- lurus terhadap arah sumber angin (blok Utara- Selatan) memiliki rata- rata kecepatan angin, sekitar 1/25- 1/5 blok- blok yang berorientasi sejajar dengan arah sumber angin (blok Timur- Barat). Hasil ini menegaskan hasil penelitian yang diungkap oleh Hang dkk (2009) dan Asfour (2010), bahwa kecepatan rata- rata angin di sekitar blok bangunan, akan relatif lebih tinggi bila blok bangunan dan arah sumber angin relatif sejajar (membentuk sudut $\pm 0^\circ$) dibanding bila blok bangunan dan arah sumber angin saling menyamping dan atau tegak lurus (membentuk sudut $\geq 45-90^\circ$).

4.5.5 Pengaruh Luas Permukaan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar Permukiman Perkotaan

Mengacu pada hasil pembahasan sebelumnya (kondisi dan kenyamanan termal ruang luar permukiman perkotaan hasil simulasi), bahwa ada kecenderungan berbanding lurus antara kondisi luas area permukaan dengan kondisi termal (temperatur udara). Sementara, dalam Lechner (2007) dinyatakan bahwa massa termal adalah salah satu faktor dari *sensible heat*, selanjutnya dapat berperaruh pada kondisi termal di sekitarnya. Pada pembahasan ini, pengaruh luas area permukaan (*surface area, SA*) terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, akan dilihat. Berdasarkan kondisi dari lima blok pada pembahasan sebelumnya (Blok $H/W = 0,3 - 0,4 - 0,8 - 1,5 - 2,3$), kondisi luas permukaan dan

kondisi dan kenyamanan termal ruang luar (temperatur udara dan *PET*) dari blok-blok tersebut, dapat digambarkan seperti pada [Gambar 4.52](#) berikut ini.



Blocks (U-S)	StSA		WISA		RfSA		TSA		Ta	PET
	(m ²)	(%)	(°C)	(°C)						
B(H/W=0,3)	35952	38,9	18672	20,2	48720	52,7	103344	111,8	29,8	48,1
B(H/W=0,4)	24874	26,9	19728	21,3	59798	64,7	104400	113,0	30,3	48,2
B(H/W=0,8)	12576	13,6	20880	22,6	72096	78,0	105552	114,2	30,3	45,5
B(H/W=1,5)	12576	13,6	41760	45,2	72096	78,0	126432	136,8	29,2	33,2
B(H/W=2,3)	12576	13,6	62640	67,8	72096	78,0	147312	159,4	29,5	34,3

[Gambar 4.52](#) Luas Tutupan Permukaan, Temperatur Udara dan *PET* dari Lima Blok dengan Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan yang Berbeda ($H/W = 0,3- 0,4- 0,8, 1,5- 2,3$).

[Gambar 4.52](#) menunjukkan, H/W blok berbanding terbalik dengan luas area jalan (*StSA*) serta berbanding lurus dengan luas permukaan dinding (*WISA*),

luas permukaan atap ($RfSA$) dan luas total permukaan (TSA). Selanjutnya, terhadap kondisi temperatur udara (kondisi termal) dan PET (kenyamanan termal), H/W blok tidak menunjukkan kecenderungan tertentu, berbanding lurus pada suatu kondisi serta berbanding terbalik pada kondisi H/W lainnya, sebagaimana juga telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya. Maka, hal ini juga dapat berarti bahwa relatif tidak ada kecenderungan antara kondisi luas permukaan (area jalan dan atau total luas permukaan) dengan kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar (hubungan lemah). Dengan kata lain, kondisi luas permukaan tidak berpengaruh (secara dominan) terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar.

4.6 Rangkuman Hasil Pembahasan

Dari gambaran pengaruh geometri lingkungan: pola blok bangunan, luas area terbangun, rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W) dan luar area permukaan terhadap kondisi dan kenyamanan termal di atas, dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini, sebagaimana dirangkum pada [Tabel 4.17](#).

1. Secara umum, geometri lingkungan berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar.
2. Pengaruh geometri lingkungan terhadap keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, yakni melalui tiga faktor termal utama: radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin. Dalam hal ini, geometri lingkungan berpengaruh dengan mekanisme yang berbeda-beda. Pola blok bangunan berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal melalui pengaruhnya terhadap kecepatan angin. Luas area terbangun dan rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W), berpengaruh melalui pengaruhnya terhadap ketiga faktor termal utama: radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin. Orientasi blok bangunan, berpengaruh melalui pengaruhnya yang dominan terhadap radiasi matahari dan kecepatan angin. Sementara, luas permukaan tidak menunjukkan kecenderungan tertentu terhadap kondisi dan kenyamanan termal.
3. Menurut mekanisme pengaruhnya terhadap keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal sebagaimana tersebut, maka pengaruh ketiga geometri,

luas area terbangun, rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W) (sama berpengaruh melalui tiga faktor termal utama) dan luas permukaan (tidak menunjukkan kecenderungan terhadap kondisi dan kenyamanan termal), menegaskan fungsi H/W sebagai parameter geometri perkotaan.

4. Demikian selanjutnya, geometri menurut intensitas pengaruhnya, menunjukkan bahwa kepadatan bangunan dan orientasi blok bangunan, adalah dua variabel desain yang dominan berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar.

Tabel 4.17 Rangkuman Pengaruh Geometri Lingkungan terhadap Kondisi dan Kenyamanan Termal Ruang Luar

Geometri Lingkungan		Radiaisi Matahari	Timbunan Radiasi Gelombang Panjang	Kecepatan Angin	Temperatur Udara	Kelembaban Udara	Temperatur Radian	PET
4.5.1	Pola Blok Bangunan			✓	✓	✓	✓	✓
4.5.2	Luas Area Terbangun	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4.5.3	Rasio Tinggi Bangunan- Lebar Jalan (H/W)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4.5.4	Orientasi Blok Bangunan	✓		✓	✓	✓	✓	✓
4.5.5	Luas Permukaan							

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Untuk memahami hubungan sebab- akibat antara geometri lingkungan (pola blok bangunan, luas area terbangun, rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan/ H/W dan orientasi blok bangunan) dengan kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar yang tercipta, rangkaian studi (tiga tahap studi) telah dilakukan dalam penelitian ini, yakni studi terhadap data- data hasil pengukuran lapangan, studi terhadap data- data hasil simulasi dan studi data- data hasil eksperimen dengan menggunakan program komputer, ENVI-met.3.1

Penelitian ini termasuk dalam kajian iklim mikro (iklim di sekitar bangunan) (dijelaskan dalam Oke, 2004). Konteks penelitian adalah bangunan berlantai rendah (*low-rise bulding*), termasuk dalam zona *compact housing* (Stewart dan Oke, 2009), dilakukan pada dua kawasan permukiman informal di Surabaya, Kampung Peneleh (permukiman tangan kota) dan Kampung Kedung Cowek (permukiman pinggiran kota). Waktu penelitian, ditentukan pada bulan terpanas (Oktober- Nopember, untuk lokasi studi, Surabaya), saat kondisi termal kasawan mencapai kondisi maksimum (kenyamanan minimum).

Dari rangkaian studi yang dilakukan, diungkap bahwa geometri lingkungan: pola blok bangunan, rasio tinggi bangunan- lebar jalan/ H/W dan orientasi blok bangunan, sangat berpengaruh terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar. Hal ini sesuai yang diungkap dalam penelitian-penelitian terdahulu, diantaranya Oke (1981), Oke (1987), Eliasson (1996), Arnfield (2003), Ali-Toudert dan Mayer (2006), Rose dkk (2011), Kruger dkk (2011), Xi dkk (2012), dan Taleghani dkk, 2015). Lebih lanjut, dalam penelitian ini juga diungkap bahwa geometri lingkungan berpengaruh terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar melalui pengaruhnya terhadap tiga faktor termal utama, penerimaan radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang (beban panas blok) dan kecepatan angin. Secara rinci, pengaruh geometri lingkungan (pola blok bangunan, luas area terbangun, rasio tinggi bangunan- lebar

jalan/ H/W dan orientasi blok bangunan) terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar permukiman perkotaan, akan diuraikan berikut ini.

- Pola blok bangunan yakni tingkat keterhubungan suatu blok terhadap ruang terbuka, berpengaruh terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal ruang luar melalui pengaruhnya terhadap aliran angin. Semakin tinggi tingkat keterhubungan suatu blok dengan ruang terbuka, maka kecenderungan aliran angin pada blok tersebut akan semakin baik (tingkat aliran semakin tinggi). Hal ini mengkonfirmasi hasil penelitian yang ungkap oleh Antaryama (2012), bahwa tingkat akses pencapaian suatu lingkungan, berbanding lurus dengan tingkat aliran udara/ ventilasi alam pada lingkungan tersebut. Dengan demikian, pola blok bangunan menurut kecepatan angin yang dimiliki, akan berbanding lurus dengan tingkat pendinginan lingkungan (penurunan temperatur udara) dan atau peningkatan kenyamanan termal ruang luar yang dapat diakibatkan.
- Pengaruh kepadatan bangunan terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, dinyatakan sebagai fungsi rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W). Dalam hal ini, rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan berpengaruh pada keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal lingkungan/ termal ruang luar melalui pengaruhnya terhadap tiga faktor termal utama: penerimaan radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin. Hal ini menguatkan hasil yang diungkap oleh Oke (1981), bahwa H/W adalah parameter geometri perkotaan dalam memperhitungkan kondisi termal kota, terkait pengaruhnya terhadap tingkat pelepasan radiasi gelombang panjang (*long-wave radiative heat loss*).

Pengaruh kondisi rasio tinggi bangunan- lebar jalan (H/W) terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar (temperatur udara dan PET), terjadi dalam dua kondisi yakni terjadi peningkatan temperatur udara dan PET (dari $H/W= 0,3- 0,8$ atau dari $H/W= 1,5- 2,3$) dan penurunan temperatur udara dan PET (dari $H/W= 0,8- 1,5$). Hasil ini menambahkan hasil yang diungkap oleh beberapa penelitian terdahulu, Ali-Toudert dan Mayer (2006) Rose dkk (2011) dan Kruger dkk (2011), yang mengungkap bahwa kondisi atau kenyamanan termal berbanding terbalik dengan kondisi H/W . Semakin besar rasio tinggi

bangunan terhadap lebar jalan, maka akan semakin rendah kondisi termal atau semakin tinggi tingkat kenyamanan termal ruang luar. Namun demikian, juga diungkap dalam penelitian ini bahwa blok- blok dengan relatif lebih besar, $H/W > 1$ ($H/W = 1,5; 2,3$) memiliki rata- rata temperatur udara dan PET yang lebih rendah dibanding blok- blok dengan H/W yang lebih kecil, $H/W < 1$. Dalam hal ini, diungkap bahwa blok dengan $H/W = 0,8$, merupakan blok dengan kondisi terpanas atau tingkat kenyamanan terendah (rata- rata temperatur udara dan PET tertinggi).

Selain itu, dalam penelitian ini juga dikaji blok- blok dengan rasio tinggi bangunan- lebar jalan (H/W) yang sama tetapi dengan tinggi sisi- sisi ($H1, H2/W$), berbeda. Dari hasil kajian diungkap bahwa perubahan yang terjadi pada tinggi sisi- sisi blok namun dengan rasio tinggi bangunan- lebar jalan (H/W) yang tetap, cenderung tidak mengakibatkan perubahan pada kondisi temperatur udara, namun terjadi perubahan kondisi pada faktor termal lainnya dan atau kenyamanan termal ruang luar. Hal ini menegaskan fungsi H/W sebagai parameter geometri perkotaan, sebagaimana dinyatakan oleh Oke (1981).

Pada kondisi malam hari, diungkap kondisi H/W blok berbanding lurus dengan kondisi temperatur udara. Semakin besar H/W blok, maka akan semakin tinggi temperatur udara pada malam hari. Hal ini sesuai yang diungkap oleh Oke (1981), Oke (1988) dan Rose dkk (2010), bahwa geometri jalan (H/W) yang relatif lebih besar di kota (urban), menyebabkan pelepasan panas/ radiasi gelombang panjang (*long-wave radiation loss*) jadi relatif lebih kecil/ lambat dibanding di pinggiran kota (rural). Hasil ini menjelaskan hal kondisi termal di tengah kota (dengan kepadatan yang tinggi) yang relatif lebih panas dibanding di pinggiran kota (dengan kepadatan yang lebih rendah) pada malam hari, diantaranya disebabkan oleh perbedaan kondisi timbunan radiasi gelombang panjang (tingkat pelasan panas) antara kedua tempat.

- Orientasi blok bangunan dominan berpengaruh terhadap kondisi penerimaan radiasi matahari dan kondisi kecepatan angin. Hal ini sekaligus menunjukkan bahwa orientasi blok bangunan merupakan variabel desain yang dominan berpengaruh terhadap keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang

luar. Nilai rasio penerimaan radiasi matahari antara dua blok, blok Utara-Selatan dan Blok Timur- Barat, dengan rasio ketinggian bangunan terhadap lebar jalan, $H/W = 0,3 - 2,3$, yakni sekitar $t_{(U-S/T-B)} = 1-4$. Hal ini, menambahkan hasil yang diungkap oleh Taleghani dkk (2015), bahwa durasi penyinaran matahari blok (*linear blocks*) yang berorientasi Timur- Barat adalah sekitar 3 kali lebih besar dari blok Utara- Selatan.

Terhadap kecepatan angin, diungkap bahwa rata- rata kecepatan angin dari blok- blok bangunan yang tegak lurus dengan arah sumber angin (blok Utara- Selatan) adalah sekitar $1/25 - 1/5$ dari blok- blok yang sejajar dengan arah sumber angin (blok Timur- Barat). Hal ini menegaskan hasil yang diungkap oleh Hang dkk (2009) dan Asfour (2010), bahwa kecepatan rata- rata angin di sekitar blok bangunan, akan relatif lebih tinggi bila blok bangunan dan arah sumber angin relatif sejajar (membentuk sudut $\pm 0^\circ$) dibanding bila blok bangunan dan arah sumber angin saling menyamping dan atau tegak lurus (membentuk sudut $\geq 45-90^\circ$).

Melalui pengaruh orientasi blok bangunan terhadap kedua faktor, penerimaan panas radiasi dan kecepatan angin, berdasarkan kondisi iklim pada subyek, maka diketahui bahwa antara beban panas blok (oleh radiasi) dan faktor pelepasan panas blok (oleh kecepatan angin), pada kedua blok (blok Utara-Selatan dan blok Timur- Barat), berbading lurus. Hal ini selanjutnya menyebabkan rata- rata kondisi termal (temperatur udara) dan atau kenyamanan termal antara kedua blok, pada siang hari, relatif sama.

- Dengan pengaruhnya secara langsung terhadap kondisi penerimaan radiasi matahari, timbunan radiasi gelombang panjang dan kecepatan angin, pengaruh geometri perkotaan (pola blok bangunan, H/W dan orientasi blok bangunan) terhadap keseluruhan kondisi dan kenyamanan termal ruang luar, saling terkait antara satu dengan lainnya. Dalam hal ini, rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan (H/W) dan orientasi blok bangunan adalah dua variabel desain yang dominan berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal. Hasil ini senada dengan yang diungkap oleh Ali-Toudert dan Mayer (2006), bahwa aspek rasio (H/W) dan orientasi blok bangunan, dominan berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal ruang luar.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, beberapa hal yang dapat menjadi pertimbangan dalam pengembangan kawasan perkotaan, khususnya pada kawasan bangunan berlantai rendah (*low-rise bulding*) atau termasuk dalam zona *compact housing*.

1. Melalui mekanisme pengaruh penerimaan radiasi matahari (faktor beban panas) dan kecepatan angin (faktor pelepasan panas), dengan konteks iklim subyek (Surabaya), diungkap bahwa kondisi termal blok yang berorientasi Utara- Selatan (tegak lurus dengan arah sumber angin) dan blok Timur- Barat (sejajar arah sumber angin), relatif sama, khususnya pada siang hari. Besar pengaruh keduanya (radiasi matahari dan kecepatan angin), tidak secara rinci diungkap dalam penelitian ini. Penelitian selanjutnya terhadap pengaruh keduanya, radiasi matahari dan kecepatan angin pada konteks tertentu (pesisir, perbukitan, permukiman padat, dll), dapat dilakukan.
2. Penelitian ini mengungkap pengaruh geometri lingkungan terhadap kondisi dan atau kenyamanan termal lingkungan/ ruang luar melalui data- data keduanya yang diwujudkan dalam angka- angka, selanjutnya dianalisis dengan metode regresi serta dikomparasikan dengan hasil penelitian terdahulu. Metode analisis dengan penjabaran kuantifikasi keseimbangan termal yang ada, dapat dilakukan untuk melihat serta mengungkap lebih banyak fenomena termal, khususnya termal mikro perkotaan.
3. Untuk mengoptimalkan potensi aliran angin pada ruang- ruang terbuka meningkatkan aliran udara pada kawasan, disarankan:
 - Penataan bangunan mempertimbangkan keterhubungan blok terhadap ruang terbuka.
 - Melalui model blok, dengan menerapkan model blok dengan beda ketinggian pada sisi kiri- kanan blok (model blok bangunan kampung), terutama untuk kawasan padat dengan tingkatan pola bangunan rendah terhadap ruang terbuka.
 - Melalui orientasi, penataan blok atau jalan dengan orientasi sejajar dengan arah sumber angin. Dengan ini dapat meningkatkan kenyamanan termal lingkungan, terutama pada malam hari.

4. Hasil studi menunjukkan bahwa tingkat kepadatan bangunan dengan rasio $H/W= 0,8$, adalah kepadatan dengan kondisi termal terpanas. Dalam hal ini, penambahan kepadatan bangunan (hingga $H/W= 2,3$, dalam studi ini), dapat dipertimbangkan dan cenderung menurunkan kondisi termal kawasan, khususnya siang hari.
5. Dalam hal lain, dalam penggunaan program (ENVI-met 3.1), untuk data input program, disarankan untuk menggunakan data iklim setempat (site) atau data kawasan terbaru, guna memperoleh hasil simulasi yang lebih baik (mendekati kondisi iklim sebenarnya pada site)

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, Q., Ekasiwi, S.N.N, Antaryama, I G.N, (2013), “Aliran Udara pada Perumahan Berpola Grid di Lahan Berbukit yang Dipengaruhi oleh Perbedaan Orientasi Kelompok Massa”, *Seminar Nasional Pascasarjana, XI- ITS*, Surabaya.
- Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H., (2001), “Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas”, *Solar Energy*, Vol. 70, hal 295-310.
- Alberti, M., (2005), “The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function”, *International Regional Science Review*, 28 (2), hal 168–192.
- Ali-Toudert, F., Mayer, H., (2006), “Numerical Study on the Effects of Aspect Ratio and Orientation of an Urban Street Canyon on Outdoor Thermal Comfort in Hot and Dry Climate”, *Building and Environment*, Vol. 41, hal 94–108.
- Ali-Toudert, F., Mayer, H., (2007), “Effects of Asymmetry, Galleries, Overhanging Facades and Vegetation on Thermal Comfort in Urban Street Canyons”, *Solar Energy*, Vol. 81, hal 742-754.
- Allard, (1998), *Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook*, James & James, UK.
- Andreou, (2013), “Thermal Comfort in Outdoor Spaces and Urban Canyon Microclimate”, *Renewable Energy*, Vol. 55, hal 182-188
- Antaryama, I G.N., (2002), “Permeability Map of Residential Settlements in the Tropics”, *Dimensi Teknik Arsitektur*, Vol. 30, hal 152-158.
- Antaryama, I G.N., Ekasiwi, S.N.N., Cahyono, B.C., Samodra, FX. T.B.S, (2010), *Penataan Bangunan Perumahan Perkotaan untuk Mengurangi Panas Lingkungan Akibat Pemanasan Global di Jawa Timur*, ITS, Surabaya.
- Arnfield, A. J., Grimmond, C.S.B., (1998), “An Urban Canyon Energy Budget Model and Its Application to Urban Storage Heat Flux Modeling”, *Energy and Building*, Vol. 27, hal 61-68.
- Arnfield, A. J., (2003), “Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and The Urban Heat Island”, *International Journal of Climatology*, Vol. 23, hal 1-26.
- Asfour, O.S., (2010), “Prediction of Wind Environment in Different Grouping Patterns of Housing Blocks”, *Energy and Buildings*, Vol. 42, hal 2061-2069.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Perak-Surabaya, Data Iklim Surabaya 2011-2014.
- Bahar, F.F., Ekasiwi, S.N.N., Santosa, H.R., Antaryama, I G.N., (2017), *Model Pembayangan dan Lansekap Ruang Kota dalam Sistem Lingkungan Termal Perkotaan di Daerah Tropis Lembab*, ITS, Surabaya.
- Blankenstein, S. dan Kuttler, W., (2004), “Impact of Street Geometry on Downward Longwave Radiation and Air Temperature in an Urban Environment”, *Meteplogische Zeitschrift*, Vol. 13, hal. 373-379.
- Boutet, S.T., (1987), *Controlling Air Movement, Manual for Architect and Builders*, McGraw Hill, USA.
- Bruse, M., (2006), *ENVI-met website*. <http://www.envi-met.com>

- BSR/ASHRAE Addendum d to ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, First Public Review Draft (Shows Independent Substantive Changes to Current Standard). the U.S. or Canada <http://www.ashrae.org>.
- Eliasson, I., (1996), "Intra-Urban Nocturnal Temperature Differences: A Multivariate Approach", *Climate Research*, Vol.7, hal. 21-30.
- Evans, M., (1980), *Housing, Climate and Comfort*, The Architecture Press. London.
- Executive Summary Rencana Tata Ruang Wilayah Surabaya 2015.
- Frick, H., Ardiyanto, A., Darmawan, AMS. (2008), *Ilmu Fisika Bangunan*, Seri Konstruksi Arsitektur 8, Kanisius, Yogyakarta.
- Givoni, B., (1992), "Climatic Aspects of Urban Design in Tropical Regions", *Atmospheric Environment*, Vol. 26B, hal. 397-406.
- Groat, L, David, W, (2002), *Architectural Research Methods*, John Wiley & Sons INC, Canada.
- Guneralp, B., McDonald, R.I., Fragkias, M., Goodness, J., Marcotullio, P.J., Seto, K.C., (2013), "Urbanization Forecasts, Effects on Land Use, Biodiversity, and Ecosystem Services", dalam *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*, eds. Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P.J., McDonald, R.I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K.C., Wilkinson, C., Springer, London, hal. 437-452.
- Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., (2009), "Effect of Urban Morphology on Wind Condition in Idealized City Models", *Atmospheric Environment*, Vol. 43, hal 869–878.
- Hang, J., Li, Y., (2010), "Ventilation Strategy and Air Change Rates in Idealized High-rise Compact Urban Areas", *Building and Environment*, Vol. 45, hal 2754-2767.
- Hedquist, B.C., Brazel, A.J., (2014), "Seasonal Variability of Temperatures and Outdoor Human Comfort in Phoenix, Arizona, U.S.A", *Building and Environment*, Vol. 72, hal 377-388.
- Heerwagen, D., (2004), *Passive and Active Environmental Controls: Informing the Schematic Designing of Buildings*, 1st ed, McGraw-Hill, New York.
- Johansson, E., (2006), *Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm Climates: Studies in Fez and Colombo*, Lund University, Sweden.
- Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R., Kruger, E., (2014), "Instrument and Methods in Outdoor Thermal Comfort Studies- The Need for Standardization", *Urban Climate*, Vol. 10, hal 346-366.
- Koenigsberger O.H, Ingersoll T.G, Mayhew A., Szokolay S.V., (1973), *Manual of Tropical Housing and Building Design*, Part One: Climate Design, Longman, London.
- Krishan, A., Baker, N., Yannas, S., Szokolay, S.V., (2001), *Climate Responsive Architecture: A Design Handbook for Energy Efficient Building*, Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- Kruger, E.L., Minella, F.O., Rasia F., (2011), "Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort and Air Quality from Field Measurements in Curitiba, Brazil", *Building and Environment*, Vol. 46, hal 621-634.

- Lechner, N., (2007), *Heating, Cooling, and Lighting: Metode Desain untuk Arsitektur Edisi Kedua*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Lippsmeier, G. (1980), *Bangunan Tropis*, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta.
- Littlefair, P.J., Santamouris, M., Alvarez, S., Dupagne, A., Hall, D., Teller, J., Coronel J.F, dan Papanikolaou, N., (2000), *Environmental Site Layout Planning: Solar Access, Microclimate and Passive Cooling in Urban Areas*, Construction Research Communications Ltd, London.
- McMullan, R., (2007), *Environmental Science in Building*, Palgrave Macmillan, London.
- Memon, R.A., Leung, D.Y.C., (2010), “Impacts of Environmental Factors on Urban Heating”, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 22 (12), Hal. 1903–1909.
- Memon, R.A., Leung, D.Y.C., Liu, C-H, (2010), “Effects of Building Aspect Ratio and Wind Speed on Air Temperatures in Urban-Like Street Canyons”, *Building and Environment*, Vol. 45, hal 176-188.
- Morris C.J.G., Simmonds, I., Plummer, N., (2001), “Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City”, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 40, hal 169-182.
- Ng E., Chen L., Wang Y., Yuan C., (2012), “A Study on the Cooling Effects of Greening in A High-Density City: An Experience from Hong Kong”, *Building and Environment*, Vol. 47, hal 256-271.
- Nugroho, A.C., (2009), “Kampung Kota sebagai Sebuah Titik Tolak dalam Membentuk Urbanitas dan Ruang Kota Berkelanjutan”, *Jurnal Rekayasa*, Vol. 13, hal 209-218.
- Oke T.R., (1973), “City Size and the Urban Heat Island”, *Atmospheric Environment*, Vol. 7, hal 769-779.
- Oke T.R., (1981), “Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations”, *Journal of Climatology*, Vol. 1, hal 237-254.
- Oke T.R., (1982), “The Energetic Basis of the Urban Heat Island”, *Journal of Climatology*, Vol. 108, hal 1-24.
- Oke, T.R., (1987), *Boundary Layer Climates*. 2nd Edition, Routledge, London.
- Oke, T.R., (1988), “Street Design and Urban Canopy Layer Climate”, *Energy and Buildings*, Vol. 11, hal 103-113.
- Oke, T.R., (2004), *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*, world Meteorological Organization, Canada.
- Olgay, V., (1992), *Design with Climate*, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Rapoport, A., (1977), *Human Aspects of Urban Form*, Toward a Man-Environment Approach to Urban Form and Design, Pergamon Press Ltd, England.
- Rose, L., Horrison, E., Venkatachalam, J., (2011), “Influence of Built Form on the Thermal Comfort of Outdoor Urban Spaces”, *The 5th International Conference of the International Forum on Urbanism (IFoU)*, Singapore.
- Samodra, FX T.B. B.H., Santosa, M., (2006), “Pola Penghunian dalam Transformasi Altitude dan Kontribusinya dalam Sistim Ventilasi Rumah Tinggal Pedesaan”, Seminar Nasional Transformasi Teknologi untuk

- Peningkatan Kualitas Hidup Manusia, Universitas Teknologi Yogyakarta-Yogyakarta, 49-59, Yogyakarta.
- Sangkertadi, (2013), *Kenyamanan Termis di Ruang Luar Beriklim Tropis Lembab*, Alfabeta, Bandung.
- Silas, J., Setyawan, W., Ernawati, R., Okitasari, M., (2013), *Kampung Surabaya Menuju Abad 21*, Kajian Penataan dan Revitalisasi Kampung di Surabaya, Badan Perencanaan Pembangunan Kota, Surabaya.
- Stewart, I.D., and T.R. Oke, 2009. “Newly Developed “Thermal Climate Zones” for Defining and Measuring Urban Heat Island Magnitude in the Canopy Layer”. *Preprints, T.R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment, 11–15*, Phoenix, AZ.
- Szokolay, S.V., (2004), *Introduction to Architectural Science: The Basic of Sustainable Design*, Oxford.
- Taleghani, M, Kleerekoper, L., Tenpierik, M., Dobbelsteen A.v.d., (2015), “Outdoor Thermal Comfort within Five Different Urban Forms in the Netherlands”, *Building and Environment*, Vol. Xxx, hal 1-14.
- Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I., Holmer, B., (2007), “Different Methods for Estimating the Mean Radiant Temperature in an Outdoor Urban Setting”, *International Journal of Climatology*, Vol. 27, hal 1983–1993.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 1992, Tentang Perumahan dan Permukiman.
- United Nations, (2012), *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*, New York: United Nations.
- Xi, T., Li, Q., Mochida, A., Meng, Q., (2012), “Study on the Outdoor Thermal Environment and Thermal Comfort Around Campus Clusters in Subtropical Urban Area”, *Building and Environment*, Vol. 52, hal 162-170.
- Yunus, H. S., (2000), *Struktur Tata Ruang Kota*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- http://id.wikipedia.org/wiki/Kota_Surabaya, (2015).

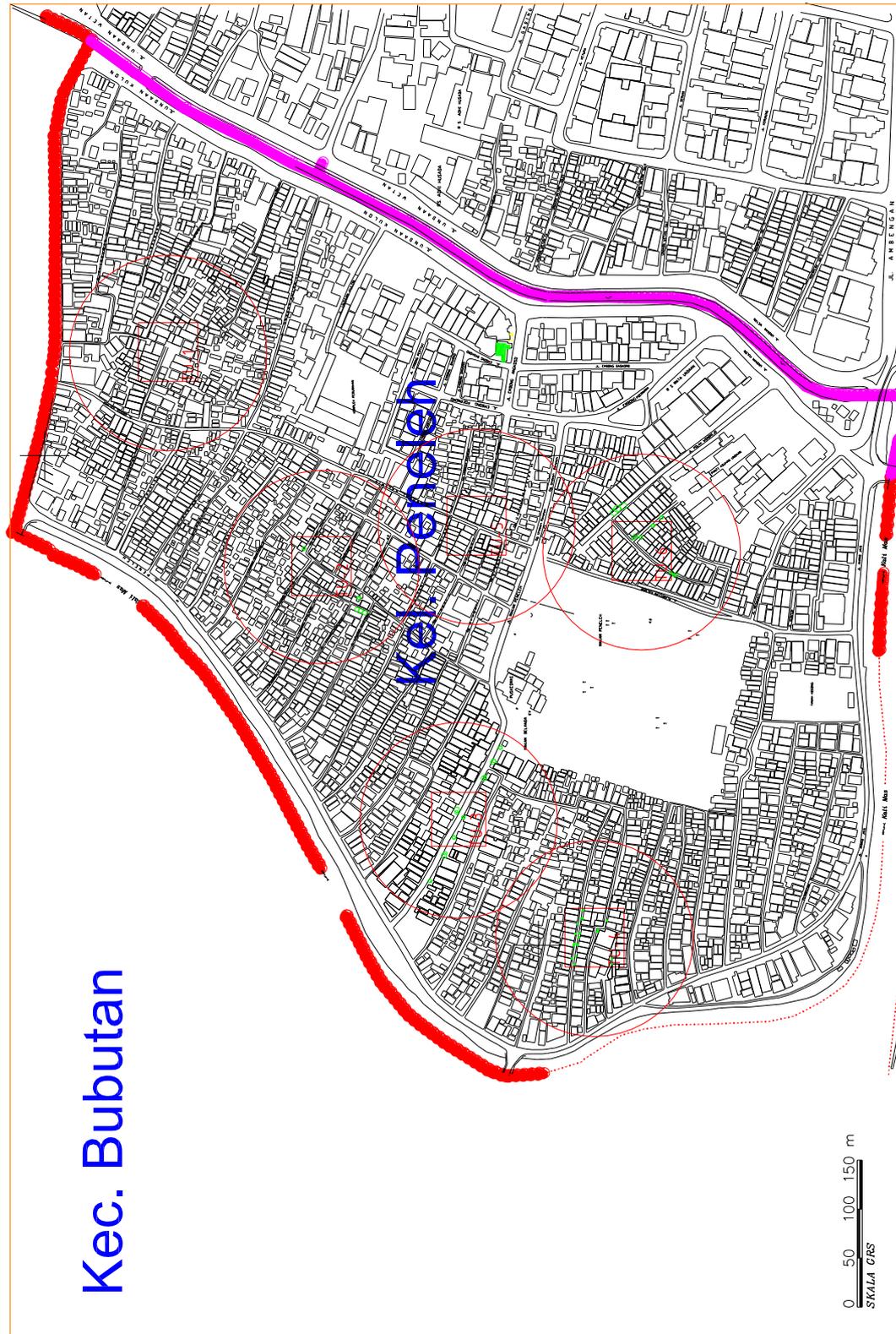
LAMPIRAN

Lampiran A. Albedo of Typical Urban Materials and Areas

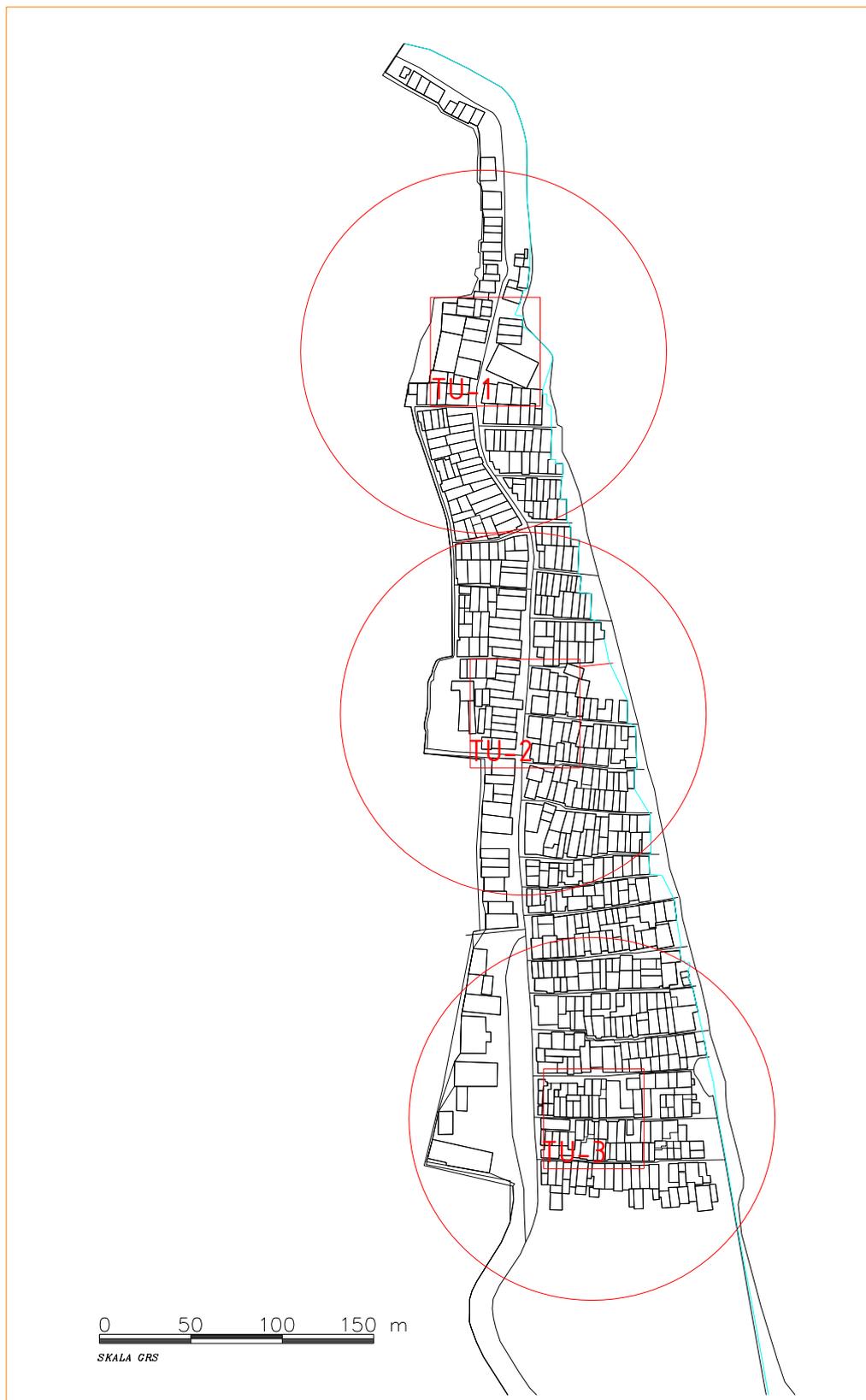
Surface	Albedo	Surface	Albedo
Streets		Paints	
<i>Asphalt (fresh 0.05, aged 0.2)</i>	0.05–0.2	<i>White, whitewash</i>	0.50–0.90
Walls		<i>Red, brown, green</i>	0.20–0.35
<i>Concrete</i>	0.10–0.35	<i>Black</i>	0.02–0.15
<i>Brick/stone</i>	0.20–0.40	<i>Urban areas</i>	
<i>Whitewashed stone</i>	0.80	<i>Range</i>	0.10–0.27
<i>White marble chips</i>	0.55	<i>Average</i>	0.15
<i>Light colored brick</i>	0.30–0.50	Other	
<i>Red brick</i>	0.20–0.30	<i>Light-coloured sand</i>	0.40–0.60
<i>Dark brick and slate</i>	0.20	<i>Dry grass</i>	0.30
<i>Limestone</i>	0.30–0.45	<i>Average soil</i>	0.30
Roofs		<i>Dry sand</i>	0.20–0.30
<i>Smooth-surface asphalt (weathered)</i>	0.07	<i>Deciduous plants</i>	0.20–0.30
<i>Asphalt</i>	0.10–0.15	<i>Deciduous forests</i>	0.15–0.20
<i>Tar and gravel</i>	0.08–0.18	<i>Cultivated soil</i>	0.20
<i>Tile</i>	0.10–0.35	<i>Wet sand</i>	0.10–0.20
<i>Slate</i>	0.10	<i>Coniferous forests</i>	0.10–0.15
<i>Thatch</i>	0.15–0.20	<i>Wood (oak)</i>	0.10
<i>Corrugated iron</i>	0.10–0.16	<i>Dark cultivated soils</i>	0.07–0.10
<i>Highly reflective roof after weathering</i>	0.6–0.7	<i>Artificial turf</i>	0.05–0.10
		<i>Grass and leaf mulch</i>	0.05

Sumber: Littlefair dkk, 2000

Lampiran B-1. Posisi Titik Pengukuran pada Permukiman di Tengah Kota (Kampung Peneleh)



Lampiran B-2. Posisi Titik Pengukuran pada Permukiman di Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek)



Lampiran C. Contoh Penginputan Format *Change or Create Model Domain* pada Program ENVI-met

<p>Number of grids and nesting properties</p> <p>Main model area:</p> <p>x-Grids: 68 y-Grids: 68 z-Grids: 14</p> <p>Nesting grids around main area:</p> <p>Nr of nesting grids: 3</p> <p>Soil profile ID for nesting grids</p> <p>Soil A: I <Loamy Soil></p> <p>Soil B: I <Loamy Soil></p> <p>Grid size and structure in main area</p> <p>Size of grid cell in meter:</p> <p>dx= 2.00 dy= 2.00 dz= 3.00 (base height)</p> <p>Method of vertical grid generation:</p> <p><input checked="" type="radio"/> equidistant (all dz are equal except lowest grid box)</p> <p><input type="radio"/> telescoping (dz increases with height)</p> <p>Telescoping factor (%): 0</p> <p>Start telescoping after height (m): 0.00</p>	<p>Geographic Properties</p> <p>Model rotation out of grid north: 0.00</p> <p>Location on earth</p> <p>Name of location: Surabaya/Indonesia</p> <p>Position on earth:</p> <p>Latitude (deg. +N, -S): -7.21</p> <p>Longitude (deg. -W, +E): 112.70</p> <p>Reference time zone:</p> <p>Name: GMT+7</p> <p>Reference longitude: 105.00</p> <p>Georeference</p> <p>Co-ordinate of lower right grid</p> <p>x-value: 0.00</p> <p>y-value: 0.00</p> <p>Reference system: <plane></p>
---	--

Lampiran D. Contoh Penginputan Format *Configuration Editor* pada Program ENVI-met.

```

% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 -----
% ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text): = New Area
Input file Model Area =D:\Titip Onal\PENELEH TU-1 (Verifikasi 10_1.5)\New Area.in
Filebase name for Output (Text): =New Area
Output Directory: =D:\Titip Onal\PENELEH TU-1 (Verifikasi 10_1.5)
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY): =10.11.2015
Start Simulation at Time (HH:MM:SS): =06:00:00
Total Simulation Time in Hours: =30.00
Save Model State each ? min =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s] =3.10
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =10
Roughness Length z0 at Reference Point =1.4
Initial Temperature Atmosphere [K] =302.55
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =7
Relative Humidity in 2m [%] =74.00
Database Plants =C:\ENVI\met31\sys.basedata\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )

[SOILDATA] Settings for Soil
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K]=303.7
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]=303.5
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm)[K]=303.5
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm) =50
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm) =60
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm) =60
[BUILDING] Building properties
Inside Temperature [K] =302.55
Heat Transmission Walls [W/m²K] =1.94
Heat Transmission Roofs [W/m²K] =6
Albedo Walls =0.2
Albedo Roofs =0.3
[TURBULENCE] Options Turbulence Model
Turbulence Closure ABL (0:diag.,1:prognos.) =1
Turbulence Closure 3D Modell (0:diag.,1:prog)=2
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.) =0
[TIMING] Update & Save Intervals
Update Surface Data each ? sec =30.0
Update Wind field each ? sec =900
Update Radiation and Shadows each ? sec =600
Update Plant Data each ? sec =600

```

Lampiran E. Kondisi Termal Ruang Luar Subyek Penelitian, Permukiman Tengah (Kampung Peneleh) dan Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya Hasil Pengukuran Lapangan.

Lokasi/ Titik Ukur		: Peneleh TU-1																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						12	151	310	536	660	925	885	848	631	345	36	25	1							413
Rata-rata Temperatur (°C)	29.0	28.7	28.4	28.2	28.1	28.5	29.1	30.8	32.8	34.4	35.5	36.2	36.5	36.5	35.9	34.0	32.8	31.9	31.1	30.8	30.2	29.7	29.5	29.4	31.6
Rata-rata Kelembaban (%)	77	79	81	82	82	84	77	72	62	55	47	44	43	44	42	48	58	61	66	67	70	71	74	77	65
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.9	1.3	1.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2

Lokasi/ Titik Ukur		: Peneleh TU-2																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						12	151	310	536	660	925	885	848	631	345	36	25	1							413
Rata-rata Temperatur (°C)	29.1	28.9	28.7	28.5	28.3	28.6	29.7	31.4	33.5	34.7	35.9	36.5	36.7	36.4	35.5	34.2	33.0	32.1	31.2	30.5	30.0	29.7	29.5	29.3	31.7
Rata-rata Kelembaban (%)	59	65	66	67	68	70	63	55	45	38	36	32	31	34	33	37	44	47	51	54	56	57	57	59	51
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2	1.3	1.9	0.4	1.7	2.2	0.6	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4

Lokasi/ Titik Ukur		: Peneleh TU-3																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						12	151	310	536	660	925	885	848	631	345	36	25	1							413
Rata-rata Temperatur (°C)	29.4	29.1	28.8	28.5	28.2	28.5	29.5	31.0	32.9	34.3	35.7	36.1	36.5	36.5	36.1	34.8	33.4	32.0	31.0	30.3	29.9	29.7	29.5	29.5	31.7
Rata-rata Kelembaban (%)	71	72	72	73	75	73	71	64	55	47	43	38	40	37	37	45	49	53	58	60	62	64	65	66	58
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	0.8	1.4	1.6	2.1	1.0	1.0	0.7	0.5	1.4	0.9	0.5	0.2	0.0	0.5	0.5	0.4	0.6

Lokasi/ Titik Ukur		: Peneleh TU-4																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						12	151	310	536	660	925	885	848	631	345	36	25	1							413
Rata-rata Temperatur (°C)	29.3	28.9	28.9	28.7	28.8	28.6	29.8	30.8	32.2	33.4	34.3	35.1	35.4	35.6	35.5	34.2	33.0	32.0	31.3	30.8	30.4	30.1	29.8	29.6	31.5
Rata-rata Kelembaban (%)	58	62	63	64	64	66	59	53	46	41	36	32	33	31	30	34	42	45	50	53	59	58	58	58	50
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2

Lokasi/ Titik Ukur		: Peneleh TU-5																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						12	151	310	536	660	925	885	848	631	345	36	25	1							413
Rata-rata Temperatur (°C)	29.5	29.4	29.2	29.0	28.8	29.1	29.9	30.7	32.2	33.3	35.0	35.9	36.2	36.0	35.1	33.7	32.7	32.0	31.4	31.0	30.5	30.1	29.8	29.6	31.7
Rata-rata Kelembaban (%)	58	66	64	67	67	66	62	59	52	48	40	36	39	36	35	42	46	50	53	56	60	58	58	58	53
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1.2	0.6	1.0	1.2	0.7	0.8	0.7	1.4	1.1	2.0	1.2	2.7	1.9	1.4	0.5	0.6	2.1	0.8	0.7	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	1.1

Lampiran E. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Subyek Penelitian, Permukiman di Tengah (Kampung Peneleh) dan Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, Hasil Pengukuran Lapangan.

Lokasi/ Titik Ukur		: Peneleh TU-6																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						12	151	310	536	660	925	885	848	631	345	36	25	1							413
Rata-rata Temperatur (°C)	29.3	28.8	28.5	28.3	28.2	28.7	29.5	30.6	32.1	33.7	34.6	35.4	35.8	36.0	35.9	35.0	33.8	32.9	32.1	31.4	30.9	30.4	30.0	29.6	31.7
Rata-rata Kelembaban (%)	58	61	63	64	64	66	65	63	56	50	41	34	35	35	33	37	42	50	53	56	57	57	57	57	52
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.7	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Lokasi/ Titik Ukur		: Kedung Cowek TU-1																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						6	62	189	579	764	907	942	879	683	444	261	89	12							447
Rata-rata Temperatur (°C)	30.1	29.8	29.5	29.3	29.0	29.0	29.7	31.2	33.0	34.3	35.1	35.8	36.2	36.3	36.0	34.8	33.4	32.2	31.5	31.1	30.8	30.6	30.5	30.3	32.0
Rata-rata Kelembaban (%)	78	78	78	77	81	80	72	65	59	57	57	54	46	56	54	60	60	64	63	72	74	74	73	76	67
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.8	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.4	0.3	0.6	1.0	0.8	0.3	1.9	1.9	1.8	1.6	2.3	0.6	1.3	0.9	2.2	1.9	0.8	0.9

Lokasi/ Titik Ukur		: Kedung Cowek TU-2																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						6	62	189	579	764	907	942	879	683	444	261	89	12							447
Rata-rata Temperatur (°C)	30.8	30.6	30.3	30.0	29.7	29.5	29.9	30.7	31.9	32.9	34.1	35.1	36.3	36.6	36.6	36.0	34.8	33.4	32.5	32.1	31.6	31.4	31.0	30.9	32.4
Rata-rata Kelembaban (%)	61	59	60	60	60	59	59	56	53	50	45	41	36	36	36	38	42	46	51	54	57	58	60	61	52
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.3	0.3	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.6	0.8	0.2	1.1	1.6	1.3	0.7	0.9	0.5	0.0	0.1	0.2	0.6	0.4	0.5

Lokasi/ Titik Ukur		: Kedung Cowek TU-3																							
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						6	62	189	579	764	907	942	879	683	444	261	89	12							447
Rata-rata Temperatur (°C)	30.7	30.4	29.8	29.3	29.1	29.2	30.3	32.1	33.6	34.7	35.7	36.5	36.8	36.7	35.8	34.8	33.9	32.9	32.4	31.8	31.5	31.3	31.1	30.9	32.6
Rata-rata Kelembaban (%)	63.3	62.2	64.1	65.5	65.5	64.2	60.8	54.6	50.1	46.6	43.6	40.0	35.8	37.4	40.7	43.1	45.8	50.0	53.3	57.2	59.7	60.7	61.7	63.1	54
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.3	0.2	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	1.6	0.8	0.5	0.6	0.4	0.8	0.3	0.3	0.4	0.3	0.6	0.4	0.5	0.7	0.3	0.4

Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan, 2015

Lampiran F. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Subyek Penelitian, Permukiman di Tengah (Kampung Peneleh) dan Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, Hasil Simulasi.

Titik Ukur : Peneleh TU-3
Geometri : (BP: 2) - (BO: 135-315) - (BA : 65.1) - (H/W: 0.3)

Faktor & Indeks Keny. Termal	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi Lansung (<i>K.dir</i> , W/m ²)							380	730	859	922	956	971	958	936	739	212	0								697
Rata-rata Radiasi Difus (<i>K.dif</i> , W/m ²)							24	58	76	87	94	96	95	90	82	67	41								74
Rata-rata Radiasi Pantul (<i>K.ref</i> , W/m ²)							16	30	36	38	40	40	40	39	37	33	24								34
Total Radiasi SW (<i>K*</i> , W/m ²)							420	818	970	1047	1089	1108	1092	1065	858	312	65								804
Radiasi LW (<i>L*</i> , W/m ²)	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Beban Panas (<i>K* + L*</i> , W/m ²)	86	86	86	86	86	86	507	904	1056	1134	1176	1194	1179	1152	945	398	152	86	86	86	86	86	86	86	455
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1,57	1,56	1,55	1,55	1,55	1,54	1,54	1,54	1,54	1,53	1,57	1,63	1,69	1,73	1,76	1,78	1,78	1,75	1,71	1,67	1,63	1,61	1,59	1,58	1,6
Rata-rata Temperatur Udara (<i>Ta</i> , °C)	24,5	24,3	24,1	23,9	23,7	23,5	23,6	25,3	27,4	29,5	30,9	32,1	33,5	33,6	33,3	32,4	30,7	28,4	27,1	26,3	25,8	25,4	25,1	24,8	27,5
Rata-rata Kelembaban Udara (<i>RH</i> , %)	64,1	64,6	65,0	65,3	65,6	65,8	65,6	64,2	62,8	59,9	55,5	49,9	52,9	50,5	48,8	48,9	51,8	55,9	58,6	60,5	61,7	62,5	63,1	63,6	59,5
Temperatur radian (<i>Tmrt</i> , °C)	17,3	17,1	16,8	16,6	16,4	16,1	41,6	61,3	66,5	66,3	62,4	56,6	61,6	68,2	63,8	45,3	28,9	22,2	20,6	19,7	19,0	18,5	18,0	17,7	35,8
PET (°C)	19,4	19,2	18,9	18,7	18,5	18,3	26,2	37,1	41,8	43,8	43,0	41,2	45,0	48,0	45,6	36,4	28,1	23,6	22,2	21,3	20,7	20,5	19,9	19,6	29,0

Titik Ukur : Peneleh TU-4
Geometri : (BP: 4) - (BO: 90-270) - (BA : 77.0) - (H/W: 1.3)

Faktor & Indeks Keny. Termal	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi Lansung (<i>K.dir</i> , W/m ²)							0	730	859	922	955	971	957	936	888	0	0								656
Rata-rata Radiasi Difus (<i>K.dif</i> , W/m ²)							24	57	75	86	92	95	94	89	81	66	41								73
Rata-rata Radiasi Pantul (<i>K.ref</i> , W/m ²)							17	32	37	40	41	42	42	41	39	35	25								35
Total Radiasi SW (<i>K*</i> , W/m ²)							41	819	971	1048	1089	1108	1093	1066	1007	101	66								764
Radiasi LW (<i>L*</i> , W/m ²)	222	222	222	222	222	222	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223	222	222	222	223
Beban Panas (<i>K* + L*</i> , W/m ²)	222	222	222	222	222	222	263	1041	1193	1270	1312	1331	1315	1289	1230	323	289	223	223	223	223	222	222	222	573
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,33	0,39	0,40	0,43	0,45	0,45	0,44	0,40	0,36	0,32	0,30	0,29	0,28	0,28	0,3
Rata-rata Temperatur Udara (<i>Ta</i> , °C)	24,9	24,7	24,5	24,3	24,1	23,9	24,0	25,2	27,0	29,0	30,2	31,3	32,8	32,9	32,7	32,0	30,6	28,6	27,4	26,7	26,1	25,8	25,4	25,2	27,5
Rata-rata Kelembaban Udara (<i>RH</i> , %)	62,7	63,1	63,4	63,7	64,0	64,2	64,0	63,4	62,9	61,1	57,5	52,0	54,2	51,9	50,0	50,0	51,8	55,0	57,5	59,3	60,4	61,1	61,7	62,2	59,0
Temperatur radian (<i>Tmrt</i> , °C)	19,3	19,0	18,8	18,5	18,3	18,1	21,8	55,7	74,0	74,1	70,7	65,4	69,9	76,1	65,4	34,7	30,8	23,6	22,3	21,5	20,8	20,4	19,9	19,6	37,4
PET (°C)	21,8	21,5	21,3	21,0	20,8	20,6	22,2	40,5	52,8	54,4	52,6	49,6	53,4	55,8	50,0	33,0	30,2	25,7	24,4	23,6	23,1	22,7	22,4	22,0	32,7

(2/5)

Lampiran F. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Subyek Penelitian, Permukiman di Tengah (Kampung Peneleh) dan Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, Hasil Simulasi.

Titik Ukur : Peneleh TU-5

Geometri : (BP: 1) - (BO: 0-180) - (BA : 74.0) - (H/W: 0.7)

Faktor & Indeks Keny. Termal	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi Lansung (<i>K.dir</i> , W/m ²)							0	0	859	922	955	970	957	936	888	0	0								590
Rata-rata Radiasi Difus (<i>K.dif</i> , W/m ²)							18	43	57	65	70	72	71	68	61	49	30								55
Rata-rata Radiasi Pantul (<i>K.ref</i> , W/m ²)							31	59	69	75	77	78	77	76	72	64	46								66
Total Radiasi SW (<i>K*</i> , W/m ²)							49	102	985	1061	1102	1121	1105	1079	1020	113	76								710
Radiasi LW (<i>L*</i> , W/m ²)	152	152	152	152	152	152	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	152	152	153
Beban Panas (<i>K* + L*</i> , W/m ²)	152	152	152	152	152	152	201	255	1138	1214	1255	1273	1258	1232	1173	266	228	153	153	153	153	153	152	152	478
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rata-rata Temperatur Udara (<i>Ta</i> , °C)	24,7	24,5	24,2	24,1	23,9	23,7	23,7	24,9	26,7	28,9	30,2	31,3	32,8	32,7	32,4	31,8	30,5	28,5	27,3	26,5	26,0	25,5	25,2	24,9	27,3
Rata-rata Kelembaban Udara (<i>RH</i> , %)	63,8	64,2	64,6	64,9	65,2	65,3	65,2	64,4	63,7	61,8	58,2	52,5	54,5	52,7	51,0	50,9	52,7	55,7	57,9	59,9	61,4	62,3	62,9	63,4	60,0
Temperatur radian (<i>Tmrt</i> , °C)	19,2	18,9	18,6	18,4	18,1	17,9	21,0	25,4	57,4	72,0	68,4	62,8	67,5	74,7	63,2	34,0	30,4	23,8	22,4	21,5	20,9	20,3	19,9	19,5	34,8
PET (°C)	22,4	22,1	21,9	21,7	21,5	21,3	22,8	25,6	48,0	58,0	56,0	52,2	56,0	59,4	52,2	33,2	30,6	26,4	25,2	24,4	23,8	23,4	23,0	22,7	33,1

Titik Ukur : Peneleh TU-6

Geometri : (BP: 5) - (BO: 45-225) - (BA : 80.6) - (H/W: 0.6)

Faktor & Indeks Keny. Termal	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi Lansung (<i>K.dir</i> , W/m ²)							0	0	859	922	956	971	957	936	888	791	0								662
Rata-rata Radiasi Difus (<i>K.dif</i> , W/m ²)							20	48	64	73	78	81	79	75	68	55	34								61
Rata-rata Radiasi Pantul (<i>K.ref</i> , W/m ²)							25	49	57	61	64	65	64	62	59	53	38								54
Total Radiasi SW (<i>K*</i> , W/m ²)							45	97	980	1056	1098	1116	1100	1074	1015	899	71								777
Radiasi LW (<i>L*</i> , W/m ²)	124	124	124	124	124	124	124	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	124	124	124	124	124	124	124	124
Beban Panas (<i>K* + L*</i> , W/m ²)	124	124	124	124	124	124	170	221	1104	1181	1222	1241	1225	1198	1140	1023	196	124	124	124	124	124	124	124	481
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Rata-rata Temperatur Udara (<i>Ta</i> , °C)	24,8	24,6	24,4	24,2	24,0	23,8	23,8	25,1	26,9	28,8	30,0	31,0	32,6	32,6	32,4	31,8	30,5	28,5	27,4	26,6	26,1	25,7	25,3	25,1	27,3
Rata-rata Kelembaban Udara (<i>RH</i> , %)	62,4	62,8	63,2	63,5	63,8	64,0	63,9	63,2	62,4	60,6	57,0	51,8	54,0	52,1	50,2	50,0	51,8	55,1	57,2	58,7	59,8	60,7	61,4	61,9	58,8
Temperatur radian (<i>Tmrt</i> , °C)	18,9	18,6	18,3	18,1	17,8	17,6	20,5	24,8	57,0	71,7	69,4	64,4	69,3	75,6	78,7	63,4	30,8	24,1	22,6	21,6	20,8	20,2	19,7	19,3	36,8
PET (°C)	22,5	21,5	20,9	20,7	20,5	20,3	21,5	24,1	42,2	52,6	51,8	49,2	53,2	56,1	57,0	48,8	30,3	25,9	24,5	23,6	23,0	22,5	22,1	21,8	32,4

(3/5)

Lampiran F. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Subyek Penelitian, Permukiman di Tengah (Kampung Peneleh) dan Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, Hasil Simulasi.

Titik Ukur : K Cowek TU-1
Geometri : (BP: 1) - (BO: 0) - (BA : 61.0) - (H/W: 0.4)

Kondisi Termal	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi Lansung (<i>K.dir</i> , W/m ²)							0	0	0	0	956	971	957	936	888	791	0								500
Rata-rata Radiasi Difus (<i>K.dif</i> , W/m ²)							23	54	71	81	87	90	89	84	76	62	39								69
Rata-rata Radiasi Pantul (<i>K.ref</i> , W/m ²)							20	38	45	48	50	51	50	49	46	42	30								43
Total Radiasi SW (<i>K*</i> , W/m ²)							43	92	115	129	1093	1112	1096	1069	1011	895	69								611
Radiasi LW (<i>L*</i> , W/m ²)	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Beban Panas (<i>K* + L*</i> , W/m ²)	130	130	130	130	130	130	173	222	245	259	1223	1242	1226	1199	1141	1025	199	130	130	130	130	130	130	130	410
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,1
Rata-rata Temperatur Udara (<i>Ta</i> , °C)	24,8	24,6	24,3	24,2	24,0	23,8	23,8	25,0	26,7	28,6	30,1	31,3	32,8	32,7	32,5	31,9	30,5	28,4	27,3	26,6	26,0	25,7	25,3	25,1	27,3
Rata-rata Kelembaban Udara (<i>RH</i> , %)	62,4	62,8	63,2	63,5	63,8	64,0	64,0	63,4	63,2	61,6	57,0	51,5	54,2	52,3	50,6	50,2	52,0	55,5	57,7	59,2	60,2	60,8	61,4	61,9	59,0
Temperatur radian (<i>Tmrt</i> , °C)	18,4	18,0	17,8	17,5	17,3	17,1	20,2	24,8	27,8	30,0	60,9	55,7	60,8	67,6	61,9	33,2	30,0	23,3	21,7	20,8	20,1	19,5	19,1	18,7	30,1
PET (°C)	21,8	21,5	21,3	21,1	20,9	20,7	22,2	25,1	27,6	29,7	51,0	48,8	52,8	56,6	53,0	33,0	30,6	26,2	24,8	23,9	23,3	22,8	22,5	22,1	30,1

Titik Ukur : K Cowek TU-2
Geometri : (BP: 2) - (BO: 0) - (BA : 68.6) - (H/W: 0.6)

Kondisi Termal	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi Lansung (<i>K.dir</i> , W/m ²)							0	0	0	0	0	971	957	936	888	791	0								413
Rata-rata Radiasi Difus (<i>K.dif</i> , W/m ²)							18	43	57	65	70	73	71	68	61	50	30								55
Rata-rata Radiasi Pantul (<i>K.ref</i> , W/m ²)							30	59	69	74	77	78	77	75	71	63	45								65
Total Radiasi SW (<i>K*</i> , W/m ²)							49	102	126	139	147	1121	1105	1079	1020	904	76								533
Radiasi LW (<i>L*</i> , W/m ²)	150	150	150	150	149	149	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Beban Panas (<i>K* + L*</i> , W/m ²)	150	150	150	150	149	149	198	252	276	289	297	1271	1255	1229	1170	1054	225	150	150	150	150	150	150	150	394
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1
Rata-rata Temperatur Udara (<i>Ta</i> , °C)	24,9	24,6	24,4	24,2	24,1	23,9	23,9	25,0	26,7	28,4	29,7	30,9	32,5	32,6	32,4	31,7	30,4	28,4	27,2	26,5	26,1	25,7	25,4	25,1	27,3
Rata-rata Kelembaban Udara (<i>RH</i> , %)	62,3	62,7	63,0	63,3	63,5	63,8	63,7	63,4	63,3	61,8	57,9	52,5	54,6	52,2	50,4	50,1	52,1	55,5	57,8	59,3	60,2	60,8	61,3	61,8	59,0
Temperatur radian (<i>Tmrt</i> , °C)	17,9	17,6	17,4	17,2	17,0	16,9	20,1	24,7	27,5	29,7	31,2	54,0	60,4	67,4	71,1	69,9	29,5	22,4	20,9	20,0	19,4	18,9	18,5	18,2	30,3
PET (°C)	21,7	21,4	21,2	21,0	20,8	20,7	22,2	25,1	27,5	29,6	31,0	47,4	52,2	55,8	57,6	56,4	30,2	25,7	24,4	23,6	23,0	22,6	22,3	22,0	30,2

(4/5)

Lampiran F. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Subyek Penelitian, Permukiman di Tengah (Kampung Peneleh) dan Pinggiran Kota (Kampung Kedung Cowek), Surabaya, Hasil Simulasi.

Titik Ukur : K Cowek TU-3

Geometri : (BP: 3) - (BO: 90) - (BA : 65.3) - (H/W: 2.1)

Kondisi Termal	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi Lansung (K_{dir} , W/m^2)							0	730	859	922	955	971	957	936	888	791	0								728
Rata-rata Radiasi Difus (K_{dif} , W/m^2)							9	22	29	34	36	37	37	35	31	26	16								28
Rata-rata Radiasi Pantul (K_{ref} , W/m^2)							53	101	119	127	132	134	132	129	123	109	78								113
Total Radiasi SW (K^* , W/m^2)							62	853	1007	1083	1124	1142	1126	1100	1042	926	94								869
Radiasi LW (L^* , W/m^2)	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258
Beban Panas ($K^* + L^*$, W/m^2)	258	258	258	258	258	258	319	1111	1265	1341	1382	1400	1384	1358	1300	1184	352	258	258	258	258	258	258	258	656
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1,71	1,70	1,70	1,69	1,69	1,69	1,68	1,68	1,68	1,67	1,70	1,77	1,85	1,89	1,93	1,95	1,96	1,93	1,89	1,84	1,80	1,77	1,74	1,73	1,8
Rata-rata Temperatur Udara (T_a , °C)	24,2	24,0	23,8	23,6	23,4	23,3	23,3	24,7	26,9	29,0	30,4	31,6	32,9	32,9	32,8	31,9	30,3	28,1	26,8	26,0	25,5	25,1	24,8	24,5	27,1
Rata-rata Kelembaban Udara (RH , %)	65,9	66,4	66,7	67,1	67,3	67,6	67,4	66,7	65,5	62,9	58,8	52,7	56,0	53,4	51,1	51,3	53,8	57,4	60,0	62,0	63,4	64,3	64,9	65,4	61,6
Temperatur radian (T_{mrt} , °C)	17,5	17,3	17,1	16,9	16,8	16,6	20,7	55,0	73,1	72,7	68,7	63,0	67,3	73,5	76,7	75,1	29,0	21,3	20,1	19,3	18,8	18,4	18,0	17,8	37,9
PET (°C)	19,1	18,9	18,7	18,5	18,3	18,1	19,2	33,0	44,2	46,2	45,4	43,4	46,8	49,0	49,2	49,0	27,5	23,0	21,8	21,0	20,4	20,0	19,6	19,4	29,6

Sumber: Hasil Simulasi, 2016

Cat: **BP**: Blocks Pattern; **BO**: Blocks Orientation; **BA**: Built-up Area; **H/W**: Height Width Ratio

Lampiran G. Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-1 (H3W8)																									
Titik Ukur : 1A - BB+H2RT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	728	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.3	24.1	23.9	23.7	23.5	23.4	23.4	24.9	27.3	29.5	31.3	32.4	34.2	34.3	33.2	32.2	30.4	28.1	26.7	26.0	25.5	25.2	24.8	24.6	27.4
Rata-rata Kelembaban (%)	67.3	67.7	68.1	68.3	68.3	68.5	68.2	66.8	65.0	62.4	57.1	52.3	51.8	50.0	50.6	51.9	55.6	59.8	62.8	64.2	65.4	65.8	66.4	66.9	62.1
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MRT (°C)	18.6	18.3	18.0	17.7	17.5	17.3	19.7	66.2	72.9	73.0	69.2	63.3	68.1	74.4	61.5	32.6	28.8	22.9	21.8	21.0	20.3	19.8	19.4	19.0	36.7
PET	21.6	21.3	21.1	20.8	20.6	20.4	21.5	50.4	56.0	57.6	56.0	52.8	58.4	61.6	53.2	32.8	30.0	25.8	24.6	23.8	23.2	22.7	22.3	22.0	34.2
Titik Ukur : 1B - BB+H2RT (T-B)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 90) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	374	728	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.9	24.6	24.4	24.2	24.1	23.9	24.0	25.3	27.3	29.1	30.2	30.9	33.2	33.3	32.9	32.2	30.8	28.4	27.2	26.6	26.1	25.7	25.4	25.1	27.5
Rata-rata Kelembaban (%)	63.7	64.0	64.3	64.5	64.5	64.6	64.2	62.4	61.1	59.3	55.8	52.3	51.1	49.7	49.2	50.1	53.2	57.6	59.8	61.0	62.0	62.4	62.9	63.3	59.3
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.2
MRT (°C)	17.7	17.4	17.1	16.9	16.7	16.5	45.0	66.6	72.0	71.8	68.0	62.3	66.9	73.2	76.2	74.4	62.5	22.3	20.8	19.9	19.2	18.7	18.3	18.0	40.8
PET	19.4	19.0	18.8	18.6	18.4	18.4	26.6	38.8	43.8	45.8	45.0	42.6	46.6	49.4	49.7	49.2	41.6	23.2	21.8	21.0	20.6	20.2	19.8	19.6	30.7
Titik Ukur : 2C - BB+HRT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	728	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.4	24.2	24.0	23.8	23.7	23.5	23.5	25.1	27.7	29.9	31.5	32.3	34.4	34.4	33.5	32.5	30.6	28.2	26.9	26.2	25.7	25.4	25.0	24.7	27.5
Rata-rata Kelembaban (%)	66.4	66.8	67.1	67.4	67.4	67.5	67.1	65.2	62.4	59.7	55.1	51.2	50.1	48.5	49.2	50.7	54.5	59.1	61.5	63.0	64.1	64.6	65.5	66.0	60.8
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MRT (°C)	18.6	18.3	18.0	17.7	17.5	17.3	19.7	66.2	72.4	72.3	68.7	63.1	68.2	74.4	61.5	32.6	28.9	22.8	21.4	20.5	20.0	19.5	19.2	18.9	36.6
PET	21.9	21.6	21.4	21.1	20.9	20.7	21.9	51.6	57.0	58.2	56.4	53.0	58.8	62.0	53.6	33.0	30.2	26.0	24.7	23.9	23.4	22.9	22.6	22.2	34.5
Titik Ukur : 2D - BB+HRT (T-B)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 90) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	374	728	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.9	24.6	24.4	24.2	24.1	23.9	23.9	25.2	27.1	28.9	29.9	30.6	32.8	32.9	32.5	31.9	30.5	28.3	27.2	26.5	26.0	25.7	25.4	25.1	27.4
Rata-rata Kelembaban (%)	63.8	64.1	64.4	64.6	64.6	64.7	64.4	62.8	61.7	60.0	56.5	53.1	52.4	50.9	50.3	51.2	53.9	57.9	60.0	61.2	62.2	62.5	63.0	63.4	59.7
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1
MRT (°C)	17.6	17.4	17.1	16.9	16.7	16.5	45.0	66.6	72.0	71.8	68.0	62.4	66.8	73.0	76.1	74.2	62.4	22.2	20.7	19.8	19.2	18.7	18.3	17.9	40.7
PET	19.2	19.0	18.8	18.6	18.4	18.4	26.6	39.0	44.0	46.0	45.0	42.6	46.0	49.2	49.6	48.8	41.2	23.2	21.8	21.0	20.6	20.2	19.8	19.6	30.7

(1/4)

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi	: EKSPERIMEN-1 (H3W8)																								
Titik Ukur	: 3E - BB-HRT (U-S)																								
Geometri	: (BP: -) - (BO: 0) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																								
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	728	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.6	24.4	24.2	23.9	23.8	23.6	23.7	25.3	27.9	30.0	31.5	32.2	34.7	34.6	33.7	32.7	30.8	28.3	27.1	26.4	25.8	25.5	25.2	24.9	27.7
Rata-rata Kelembaban (%)	65.3	65.8	66.2	66.6	66.4	66.7	66.3	63.9	60.9	58.3	54.1	50.4	48.6	47.3	48.0	49.6	53.7	58.6	60.9	62.3	63.6	64.0	64.4	64.9	59.9
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MRT (°C)	18.4	18.1	17.8	17.6	17.4	17.2	19.7	66.2	72.4	72.3	68.7	63.1	68.3	74.5	61.6	32.7	28.9	22.8	21.4	20.5	19.9	19.4	19.0	18.7	36.5
PET	22.0	21.7	21.5	21.2	21.0	20.8	22.1	52.4	57.8	59.0	56.6	52.8	58.6	62.0	53.6	33.2	30.4	26.1	24.8	24.0	23.4	23.0	22.6	22.3	34.7
Titik Ukur	: 3F - BB-HRT (T-B)																								
Geometri	: (BP: -) - (BO: 90) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																								
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	374	728	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.9	24.7	24.4	24.3	24.1	24.0	24.0	25.3	27.2	29.0	30.1	30.8	33.1	33.1	32.8	32.1	30.7	28.4	27.2	26.6	26.1	25.7	25.4	25.1	27.5
Rata-rata Kelembaban (%)	63.6	63.9	64.2	64.4	64.4	64.5	64.2	62.5	61.2	59.5	56.0	52.5	51.3	49.9	49.2	50.1	53.1	57.4	59.6	60.9	61.9	62.3	62.7	63.2	59.3
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1
MRT (°C)	17.7	17.4	17.1	16.9	16.7	16.5	45.0	66.6	72.0	71.7	68.0	62.3	67.0	73.2	76.3	74.4	62.6	22.4	20.8	19.9	19.3	18.8	18.4	18.0	40.8
PET	19.4	19.2	18.8	18.6	18.6	18.4	26.6	38.8	43.8	45.8	44.8	42.6	46.6	49.4	49.7	49.2	41.8	23.2	22.0	21.2	20.6	20.2	20.0	19.6	30.8
Titik Ukur	: 4G - BB+H2RTBs (U-S)																								
Geometri	: (BP: -) - (BO: 0) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																								
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	728	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.3	24.1	23.8	23.6	23.5	23.3	23.4	24.9	27.2	29.4	30.9	31.8	33.7	33.8	33.0	32.1	30.3	28.0	26.7	26.0	25.5	25.2	24.9	24.6	27.3
Rata-rata Kelembaban (%)	67.3	67.7	68.1	68.3	68.3	68.5	68.2	66.7	65.1	62.7	58.3	53.9	53.3	51.3	51.2	52.4	55.8	60.1	62.5	64.0	65.2	65.7	66.3	66.8	62.4
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
MRT (°C)	18.7	18.3	18.0	17.7	17.5	17.2	19.6	66.2	72.8	73.0	69.8	64.6	70.0	76.2	63.0	34.0	30.0	23.9	22.3	21.3	20.6	20.0	19.5	19.1	37.2
PET	20.8	20.5	20.4	20.2	20.0	19.8	20.6	46.1	51.5	53.2	52.4	50.0	56.2	59.0	51.0	33.0	29.9	25.4	24.0	23.1	22.4	22.0	21.5	21.2	32.7
Titik Ukur	: 4H - BB+H2RTBs (T-B)																								
Geometri	: (BP: -) - (BO: 90) - (BA: -) - (H/W: 0.4)																								
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	166	10	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							614
Rata-rata Temperatur (°C)	24.4	24.2	24.0	23.8	23.7	23.5	23.5	24.6	26.5	28.5	29.8	30.6	32.6	32.6	32.2	31.5	30.1	28.0	26.8	26.1	25.6	25.3	25.0	24.7	27.0
Rata-rata Kelembaban (%)	66.3	66.7	67.0	67.3	67.3	67.4	67.2	66.8	66.4	64.1	59.9	55.8	55.4	53.6	52.8	53.7	56.3	60.0	62.2	63.5	64.5	64.9	65.4	65.9	62.5
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5
MRT (°C)	17.7	17.5	17.2	16.9	16.7	16.5	32.0	23.8	71.8	71.9	68.4	62.9	67.3	73.6	76.6	74.7	62.8	22.7	21.0	20.1	19.4	18.9	18.4	18.1	38.6
PET	19.4	19.2	18.9	18.6	18.5	18.4	23.0	21.2	45.2	47.2	46.4	44.2	47.2	49.6	49.8	49.4	42.4	23.2	21.8	21.2	20.6	20.2	20.0	19.6	30.2

(2/4)

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-1 (H3W8)																									
Titik Ukur : 5I - BB+HBsRT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA : -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	728	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.4	24.2	24.0	23.8	23.6	23.5	23.5	25.1	27.4	29.6	31.0	31.9	34.3	34.3	33.3	32.4	30.5	28.1	26.8	26.2	25.6	25.3	25.0	24.7	27.4
Rata-rata Kelembaban (%)	66.4	66.8	67.2	67.4	67.4	67.6	67.2	65.3	63.3	60.8	56.6	52.5	50.5	48.9	49.4	50.9	54.7	59.3	61.8	63.2	64.5	64.9	65.5	65.9	61.2
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
MRT (°C)	18.6	18.3	18.0	17.7	17.5	17.3	19.7	66.2	72.9	73.2	70.0	64.8	68.2	74.4	61.5	32.6	28.8	22.7	21.7	21.0	20.3	19.8	19.4	19.0	36.8
PET	21.6	21.3	21.0	20.7	20.5	20.4	21.3	48.8	54.2	55.6	54.4	51.6	58.2	61.4	53.2	32.8	30.0	25.8	24.6	23.8	23.2	22.7	22.3	21.9	33.8
Titik Ukur : 5J - BB+HBsRT (T-B)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 90) - (BA : -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	728	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							656
Rata-rata Temperatur (°C)	24.4	24.1	23.9	23.7	23.6	23.4	23.4	24.5	26.4	28.4	29.6	30.4	32.1	32.2	31.8	31.2	29.9	27.8	26.6	26.0	25.5	25.2	24.9	24.6	26.8
Rata-rata Kelembaban (%)	66.7	67.1	67.4	67.7	67.7	67.8	67.6	67.3	67.0	65.0	61.0	56.9	57.2	55.3	54.4	55.0	57.2	60.6	62.8	64.0	65.1	65.4	65.9	66.3	63.3
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
MRT (°C)	17.7	17.4	17.2	16.9	16.7	16.5	19.0	66.0	72.0	72.0	68.4	62.9	67.2	73.5	76.5	74.7	62.8	22.6	21.0	20.1	19.4	18.9	18.4	18.1	39.8
PET	19.4	19.1	18.9	18.6	18.5	18.3	19.0	40.2	45.4	47.4	46.4	44.0	46.8	49.5	49.7	49.4	42.4	23.2	21.8	21.0	20.6	20.2	19.9	19.6	30.8
Titik Ukur : 6K - (BB+B_sRT-H) (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA : -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	728	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.2	23.9	23.7	23.5	23.4	23.2	23.2	24.6	26.8	29.0	30.6	31.5	33.7	33.7	32.6	31.6	30.0	27.8	26.6	25.9	25.4	25.0	24.7	24.4	27.0
Rata-rata Kelembaban (%)	68.3	68.7	69.0	69.3	69.3	69.4	69.3	68.7	67.7	65.4	60.9	56.1	54.9	52.6	53.3	57.4	54.4	61.2	63.5	65.0	66.2	66.7	67.3	67.8	63.8
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MRT (°C)	18.6	18.3	18.0	17.7	17.4	17.2	19.6	66.2	72.8	73.1	69.9	64.6	68.0	74.2	62.0	33.2	29.5	23.5	22.0	21.1	20.4	19.8	19.4	19.0	36.9
PET	21.4	21.1	20.8	20.6	20.4	20.3	21.3	49.8	55.4	57.2	56.2	53.0	57.2	60.2	52.4	32.6	29.9	25.6	24.3	23.5	22.9	22.4	22.0	21.7	33.8
Titik Ukur : 6L - (BB+B_sRT-H) (B-T)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 90) - (BA : -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	374	728	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.4	24.2	24.0	23.8	23.6	23.5	23.5	25.0	27.1	29.2	30.7	31.6	33.3	33.4	32.9	32.1	30.5	28.1	26.8	26.1	25.6	25.3	25.0	24.7	27.3
Rata-rata Kelembaban (%)	66.5	66.9	67.3	67.5	67.5	67.7	67.4	65.8	64.7	62.3	58.4	53.9	54.0	52.0	51.0	51.9	55.0	59.5	61.9	63.4	64.5	65.0	65.5	66.0	61.9
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
MRT (°C)	17.4	17.2	16.9	16.7	16.4	16.2	44.8	66.4	71.8	71.6	67.9	62.2	67.0	73.2	76.2	74.3	62.4	22.2	20.6	19.7	19.0	18.6	18.1	17.8	40.6
PET	18.8	18.6	18.4	18.2	18.0	17.8	25.4	37.5	42.8	45.2	44.8	42.8	46.8	49.4	49.6	49.0	41.0	22.8	21.4	20.6	20.2	19.8	19.4	19.2	30.3

(3/4)

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-1 (H3W8)																									
Titik Ukur : 7M - BB-HRT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA : -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							600
Rata-rata Temperatur (°C)	24.7	24.5	24.3	24.1	24.0	23.8	23.9	25.6	27.9	29.8	31.1	31.8	34.3	34.3	33.8	33.0	31.0	28.3	27.1	26.4	25.9	25.6	25.3	25.0	27.7
Rata-rata Kelembaban (%)	64.5	64.9	65.2	65.4	65.4	65.5	64.9	61.9	59.7	57.6	53.6	50.1	48.1	46.9	46.7	48.0	52.6	58.2	60.4	61.7	62.8	63.1	63.6	64.1	59.0
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MRT (°C)	19.1	18.7	18.4	18.1	17.8	17.6	20.0	24.1	56.6	69.7	69.2	64.4	69.8	76.1	79.1	77.1	54.7	24.9	23.1	21.9	21.1	20.5	19.9	19.5	38.4
PET	21.8	21.5	21.2	21.0	20.8	20.6	21.7	24.6	43.6	54.2	54.4	51.6	56.6	60.0	61.4	60.0	44.2	26.6	25.0	24.1	23.4	22.9	22.5	22.1	34.4
Titik Ukur : 7N - BB-HRT (T-B)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 90) - (BA : -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	374	728	856	919	951	966	954	932	884	785	556	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.8	24.6	24.4	24.2	24.0	23.9	23.9	25.5	27.7	29.7	30.9	31.6	33.9	33.9	33.5	32.7	31.0	28.5	27.2	26.5	26.0	25.7	25.4	25.1	27.7
Rata-rata Kelembaban (%)	64.1	64.5	64.8	65.0	65.0	65.1	64.7	62.0	60.1	57.8	54.0	50.4	48.9	47.6	47.2	48.5	52.3	57.5	59.8	61.1	62.3	62.6	63.2	63.6	58.8
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1.8	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
MRT (°C)	17.8	17.5	17.3	17.0	16.8	16.6	45.0	66.7	72.2	72.0	68.3	62.7	67.8	73.9	76.9	75.0	63.1	22.9	21.2	20.2	19.5	19.0	18.6	18.2	41.1
PET	19.4	19.2	19.0	18.8	18.6	18.4	27.0	39.6	45.0	46.8	46.0	43.8	48.6	49.8	50.0	49.7	43.2	23.6	22.2	21.4	20.8	20.4	20.0	19.8	31.3
Titik Ukur : 8O - RT																									
Geometri : (BP: -) - (BO: -) - (BA : -) - (H/W: 0.4)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	22	728	856	919	951	966	954	932	884	785	18	0							617
Rata-rata Temperatur (°C)	24.0	23.8	23.6	23.4	23.3	23.1	23.1	24.3	26.1	27.9	29.1	29.9	31.5	31.6	31.2	30.6	29.3	27.4	26.2	25.6	25.1	24.8	24.5	24.3	26.4
Rata-rata Kelembaban (%)	68.7	69.1	69.4	69.6	69.6	69.7	69.6	69.7	70.1	68.6	65.1	61.0	61.2	59.0	57.5	57.8	59.7	62.8	64.8	66.0	67.1	67.4	67.9	68.3	65.8
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
MRT (°C)	14.5	14.2	14.0	13.8	13.6	13.4	16.7	53.7	58.5	57.6	53.1	46.8	51.6	59.3	63.3	62.0	24.6	18.2	17.0	16.4	15.9	15.4	15.1	14.8	31.0
PET	18.2	17.8	17.6	17.4	17.2	17.2	18.0	32.7	37.1	38.6	37.4	35.0	38.6	42.4	44.0	42.6	24.8	21.6	20.4	19.8	19.4	19.0	18.6	18.4	26.4

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-2 (H3W4)																									
Titik Ukur : 1A - BB+H2RT (U-S)																									
Geometri : (BP: 2) - (BO: 0) - (BA : 93.3) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							497
Rata-rata Temperatur (°C)	24.3	24.1	23.9	23.7	23.5	23.3	23.4	25.0	27.0	29.1	31.7	32.7	34.6	34.6	33.2	32.0	30.4	28.0	26.8	26.1	25.6	25.2	24.8	24.6	27.4
Rata-rata Kelembaban (%)	67.4	67.8	68.1	68.4	68.6	68.7	68.3	66.6	65.8	64.0	55.9	51.4	50.7	48.9	50.8	52.9	56.1	60.4	62.6	64.0	65.0	65.8	66.7	67.1	62.2
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MRT (°C)	18.7	18.4	18.1	17.9	17.7	17.5	20.2	24.5	56.8	69.8	68.6	63.3	68.3	74.6	61.6	32.6	28.9	22.6	21.3	20.5	19.8	19.5	19.3	19.0	34.1
PET	21.8	21.5	21.3	21.1	20.8	20.6	21.9	24.9	44.0	56.2	56.6	53.8	60.4	64.2	55.0	33.0	30.2	25.9	24.6	23.8	23.2	22.8	22.4	22.1	33.0
Titik Ukur : 1B - BB+H2RT (T-B)																									
Geometri : (BP: 2) - (BO: 90) - (BA : 93.3) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	374	727	856	919	951	966	954	932	884	784	554	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.8	24.6	24.4	24.2	24.0	23.9	23.9	25.4	27.3	29.1	30.2	30.9	33.3	33.3	32.9	32.1	30.6	28.2	27.0	26.4	26.0	25.6	25.3	25.0	27.4
Rata-rata Kelembaban (%)	64.1	64.4	64.7	64.9	65.0	65.1	64.7	62.3	60.8	59.2	55.7	52.4	51.0	49.7	49.4	50.8	54.0	58.7	60.7	61.7	62.5	63.0	63.5	63.8	59.7
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2
MRT (°C)	17.7	17.5	17.2	17.0	16.8	16.6	37.5	66.9	72.3	72.0	68.2	62.5	67.0	73.3	76.3	74.4	62.5	22.1	20.7	19.8	19.2	18.8	18.4	18.0	40.5
PET	19.2	19.0	18.8	18.6	18.4	18.2	23.8	38.8	43.8	45.8	45.0	42.6	46.6	49.4	49.7	49.0	41.4	23.0	21.6	21.0	20.4	20.2	19.8	19.4	30.6
Titik Ukur : 2C - BB+HRT (U-S)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 0) - (BA : 93.3) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	856	919	951	966	954	932	884	0	0	0							497
Rata-rata Temperatur (°C)	24.5	24.3	24.1	23.9	23.7	23.5	23.6	25.2	27.3	29.3	31.7	32.6	34.7	34.7	33.3	32.2	30.5	28.1	26.9	26.2	25.8	25.4	25.0	24.8	27.5
Rata-rata Kelembaban (%)	66.3	66.6	67.0	67.2	67.4	67.6	67.1	65.1	63.8	61.9	54.7	50.4	49.3	47.8	49.6	51.8	55.3	59.8	61.9	63.2	64.2	64.8	65.4	65.9	61.0
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MRT (°C)	18.3	18.0	17.7	17.5	17.3	17.1	19.8	24.2	56.7	69.7	68.5	63.2	68.3	74.6	61.6	32.7	29.0	22.7	21.3	20.5	19.9	19.4	19.0	18.6	34.0
PET	22.1	21.8	21.5	21.2	21.0	20.8	22.2	25.2	48.6	57.6	57.8	54.8	62.4	66.6	57.2	33.4	30.6	26.3	25.0	24.2	23.6	23.1	22.7	22.4	33.8
Titik Ukur : 2D - BB+HRT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 90) - (BA : 93.3) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	374	727	856	919	951	966	954	932	884	784	554	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.8	24.5	24.3	24.2	24.0	23.8	23.9	25.3	27.2	29.0	30.0	30.7	32.9	32.9	32.6	31.8	30.4	28.2	27.0	26.4	25.9	25.6	25.3	25.0	27.3
Rata-rata Kelembaban (%)	64.3	64.6	64.9	65.1	65.3	65.3	65.0	62.8	61.4	59.9	56.4	53.1	52.1	50.8	50.4	51.7	54.6	58.9	60.9	61.9	62.7	63.2	63.7	64.0	60.1
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2
MRT (°C)	17.7	17.5	17.2	17.0	16.8	16.6	37.5	66.9	72.3	72.0	68.3	62.6	66.9	73.1	76.1	74.3	62.4	22.1	20.6	19.8	19.2	18.7	18.3	18.0	40.5
PET	19.2	19.0	18.8	18.6	18.4	18.2	24.0	39.1	44.2	46.0	45.0	42.8	46.2	49.2	49.6	48.6	41.0	22.8	21.6	21.0	20.4	20.0	19.8	19.4	30.5

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-3 (H6W4)																									
Titik Ukur : 1A - BB+H2RT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA : -) - (H/W: 1.5)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	0	0	949	962	952	0	0	0	0	0							220
Rata-rata Temperatur (°C)	23.7	23.5	23.3	23.1	23.0	22.8	22.8	24.2	26.6	28.9	29.9	31.1	33.1	32.4	31.9	31.2	29.6	27.3	26.0	25.3	24.9	24.5	24.2	24.0	26.6
Rata-rata Kelembaban (%)	73.3	73.5	73.7	73.8	73.9	74.0	73.7	72.6	72.4	69.5	66.1	60.8	58.1	58.6	58.4	60.5	64.5	68.8	70.8	71.7	72.2	72.5	72.8	73.1	69.1
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MRT (°C)	18.9	18.6	18.4	18.2	18.0	17.8	21.3	25.8	28.5	30.4	65.5	63.9	67.7	35.5	34.5	32.7	29.3	22.6	21.5	20.8	20.2	19.8	19.5	19.1	28.7
PET	21.3	21.0	20.8	20.5	20.3	20.3	21.7	24.6	27.4	29.8	53.0	52.6	34.6	33.8	32.4	29.9	25.3	24.0	23.2	22.7	22.3	21.9	21.6	58.2	28.5
Titik Ukur : 1B - BB+H2RT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 0) - (BA : 71.2) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	726	854	916	949	962	952	930	881	779	0	0							611
Rata-rata Temperatur (°C)	24.5	24.3	24.1	23.9	23.7	23.6	23.6	24.8	27.0	29.0	30.0	30.7	32.9	32.8	32.4	31.7	30.0	27.8	26.6	26.0	25.6	25.3	25.0	24.7	27.1
Rata-rata Kelembaban (%)	68.0	68.1	68.2	68.3	68.4	68.5	68.1	66.9	65.6	63.0	59.7	56.1	54.0	53.3	53.4	55.6	60.1	64.3	66.0	66.7	67.0	67.3	67.5	67.8	63.8
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
MRT (°C)	17.9	17.7	17.5	17.3	17.1	17.0	20.5	66.9	72.8	72.4	68.4	62.5	66.9	73.1	76.1	74.2	28.7	21.5	20.3	19.6	19.1	18.7	18.4	18.1	38.4
PET	19.0	18.8	18.6	18.4	18.2	18.0	18.8	37.6	43.4	45.4	44.4	42.2	49.0	49.4	48.2	26.2	22.4	21.2	20.6	20.2	19.8	19.4	19.2	46.0	29.3
Titik Ukur : 2C - BB+HRT (U-S)																									
Geometri : (BP: 2) - (BO: 90) - (BA : 65.1) - (H/W: 0.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	0	0	949	962	952	0	0	0	0	0							220
Rata-rata Temperatur (°C)	23.9	23.7	23.5	23.3	23.2	23.0	23.0	24.4	26.7	28.9	29.9	31.1	33.0	32.4	32.0	31.2	29.7	27.4	26.2	25.5	25.0	24.7	24.4	24.2	26.7
Rata-rata Kelembaban (%)	71.9	72.1	72.2	72.3	72.4	72.5	72.2	70.9	70.6	67.6	64.3	58.9	56.9	57.0	57.0	59.2	63.2	67.6	69.5	70.5	70.9	71.2	71.4	71.7	67.7
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MRT (°C)	18.8	18.6	18.4	18.2	18.0	17.8	21.3	25.8	28.5	30.4	65.5	62.7	67.6	35.4	33.8	31.9	28.5	21.7	20.6	20.2	20.0	19.6	19.3	19.0	28.4
PET	21.6	21.3	21.1	20.9	20.7	20.5	22.1	25.0	27.7	30.0	53.8	52.8	34.8	33.6	32.4	29.9	25.2	24.0	23.3	22.9	22.5	22.2	21.9	59.8	28.7
Titik Ukur : 2D - BB+HRT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 90) - (BA : 77.0) - (H/W: 1.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	726	854	916	949	962	952	930	881	779	0	0							611
Rata-rata Temperatur (°C)	24.4	24.2	24.0	23.8	23.7	23.5	23.5	24.7	26.9	28.9	29.8	30.6	32.7	32.6	32.3	31.6	30.0	27.8	26.6	26.0	25.5	25.2	24.9	24.6	27.0
Rata-rata Kelembaban (%)	68.5	68.6	68.7	68.8	68.9	69.0	68.6	67.5	66.3	63.6	60.2	56.7	54.8	54.0	54.1	56.1	60.4	64.6	66.4	67.1	67.5	67.8	68.0	68.3	64.4
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.2
MRT (°C)	17.9	17.7	17.5	17.3	17.1	17.0	20.5	66.9	72.8	72.5	68.5	62.6	66.9	73.0	76.1	74.2	28.7	21.5	20.3	19.6	19.1	18.7	18.4	18.1	38.5
PET	19.0	18.8	18.6	18.4	18.2	18.0	19.0	38.2	43.8	46.0	44.8	42.4	48.8	49.4	48.2	26.2	22.4	21.2	20.6	20.2	19.8	19.4	19.2	45.8	29.4

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-4 (H9W4)																									
Titik Ukur : 1A - BB+H2RT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA : -) - (H/W: 2.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	0	0	0	958	950	0	0	0	0	0							147
Rata-rata Temperatur (°C)	23.3	23.1	22.9	22.7	22.5	22.3	22.3	23.9	26.7	29.5	30.4	31.4	33.6	32.8	32.2	31.5	29.9	27.5	26.0	25.2	24.7	24.3	23.9	24.6	26.5
Rata-rata Kelembaban (%)	80.6	80.7	80.8	80.9	80.9	81.0	80.6	79.5	79.5	74.2	70.3	65.5	61.7	62.9	63.2	66.2	72.0	76.7	78.6	79.4	79.8	80.0	80.2	66.6	75.1
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MRT (°C)	19.0	18.8	18.6	18.3	18.2	18.0	21.7	26.4	29.1	31.0	32.2	63.2	67.9	36.0	34.7	33.0	29.6	22.7	21.7	20.9	20.4	20.0	19.6	19.1	27.5
PET	21.0	20.7	20.4	20.3	20.1	19.9	21.4	24.4	27.6	30.2	31.4	52.2	58.2	35.0	34.0	32.8	30.2	25.4	24.0	23.2	22.5	22.1	21.7	21.1	27.5
Titik Ukur : 1B - BB+H2RT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 0) - (BA : 71.2) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	850	912	946	958	950	927	877	773	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.1	23.9	23.7	23.5	23.3	23.2	23.2	24.4	27.0	29.3	30.3	31.0	33.2	33.0	32.6	31.8	30.0	27.8	26.5	25.8	25.3	25.0	24.6	24.4	27.0
Rata-rata Kelembaban (%)	73.9	73.9	74.0	74.0	74.0	74.0	73.6	72.6	71.6	66.4	62.6	59.4	56.8	56.6	57.1	60.1	66.7	71.2	72.8	73.2	73.4	73.5	73.6	73.8	69.1
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
MRT (°C)	17.9	17.7	17.5	17.3	17.2	17.0	20.8	25.5	72.7	72.4	68.3	62.4	66.9	73.0	76.0	74.0	28.5	21.3	20.2	19.5	19.0	18.7	18.4	18.1	36.7
PET	18.6	18.4	18.2	18.0	17.8	17.6	18.4	20.6	42.6	45.2	44.0	42.0	46.2	48.8	49.2	48.0	26.0	22.4	21.0	20.4	19.8	19.4	19.2	18.8	28.4
Titik Ukur : 2C - BB+HRT (U-S)																									
Geometri : (BP: 2) - (BO: 90) - (BA : 65.1) - (H/W: 0.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	0	0	0	958	950	0	0	0	0	0							147
Rata-rata Temperatur (°C)	23.5	23.3	23.1	22.9	22.7	22.5	22.5	24.1	26.8	29.5	30.3	31.3	33.4	32.7	32.3	31.5	29.9	27.6	26.2	25.4	24.8	24.4	24.1	23.8	26.6
Rata-rata Kelembaban (%)	79.1	79.2	79.2	79.3	79.3	79.3	79.0	77.7	77.5	72.0	68.2	63.6	59.9	61.0	61.5	64.6	70.5	75.4	77.2	77.9	78.4	78.6	78.7	78.9	74.0
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MRT (°C)	18.9	18.7	18.5	18.3	18.2	18.0	21.8	26.5	29.1	31.0	32.2	63.2	67.7	35.1	33.8	32.1	28.7	21.8	20.7	20.1	20.0	19.7	19.4	19.2	27.2
PET	21.5	21.2	21.0	20.7	20.5	20.3	22.0	25.2	28.2	30.6	31.6	53.6	60.6	34.8	34.0	32.6	30.2	25.5	24.2	23.4	22.9	22.5	22.1	21.8	28.0
Titik Ukur : 2D - BB+HRT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 90) - (BA : 77.0) - (H/W: 1.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	850	912	946	958	950	927	877	773	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.0	23.8	23.6	23.4	23.3	23.1	23.1	24.4	26.9	29.3	30.2	30.9	33.0	32.8	32.4	31.7	30.0	27.8	26.5	25.8	25.3	24.9	24.6	24.3	26.9
Rata-rata Kelembaban (%)	74.5	74.6	74.6	74.7	74.7	74.7	74.3	73.4	72.4	67.0	63.2	60.0	57.5	57.2	57.6	60.5	67.0	71.4	73.1	73.6	73.9	74.1	74.2	74.4	69.7
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
MRT (°C)	17.9	17.7	17.5	17.3	17.2	17.0	20.8	25.5	72.7	72.5	68.4	62.5	66.9	73.0	76.0	74.0	28.5	21.3	20.2	19.5	19.0	18.7	18.4	18.1	36.7
PET	18.6	18.4	18.2	18.0	17.8	17.6	18.6	20.6	43.0	45.6	44.4	42.2	46.0	48.8	49.4	48.2	26.0	22.4	21.0	20.4	19.8	19.4	19.2	18.8	28.4

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-5 (H3W12)																									
Titik Ukur : 1A - BB+H2RT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA : 80.0) - (H/W: 0.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	727	856	919	952	966	954	933	885	785	557	0							656
Rata-rata Temperatur (°C)	24.3	24.1	23.9	23.7	23.5	23.5	23.4	24.8	27.0	29.1	30.6	31.4	33.3	33.3	32.8	32.1	30.3	28.0	26.7	26.0	25.6	25.2	24.8	24.6	27.2
Rata-rata Kelembaban (%)	67.0	67.4	67.7	67.9	68.1	68.3	68.1	67.0	66.0	63.4	59.1	54.7	54.4	52.4	51.3	52.0	55.6	59.8	62.3	63.7	64.7	65.5	66.1	66.6	62.5
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
MRT (°C)	18.7	18.3	18.0	17.7	17.4	17.2	19.3	65.8	72.5	72.8	69.6	64.4	69.6	75.8	78.6	76.6	54.2	24.6	22.8	21.7	20.8	20.2	19.6	19.1	40.6
PET	20.8	20.5	20.4	20.1	19.9	19.7	20.4	45.6	50.8	52.6	51.4	48.4	53.0	55.3	55.8	54.2	41.8	25.4	23.9	23.1	22.4	21.9	21.5	21.1	33.7
Titik Ukur : 1B - BB+H2RT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 0) - (BA : 71.2) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	375	727	856	919	952	966	954	933	885	785	557	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	25.0	24.7	24.5	24.3	24.2	24.0	24.0	25.3	27.2	29.0	30.1	30.9	33.1	33.2	32.9	32.2	30.8	28.6	27.4	26.7	26.2	25.8	25.5	25.2	27.5
Rata-rata Kelembaban (%)	63.2	63.5	63.7	63.9	64.1	64.3	64.0	62.5	61.4	59.4	55.9	52.2	51.3	49.8	49.1	49.8	52.6	56.7	59.0	60.3	61.1	61.9	62.3	62.8	58.9
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2
MRT (°C)	17.5	17.2	17.0	16.7	16.5	16.3	44.6	66.2	71.6	71.4	67.7	62.1	66.7	73.0	76.1	74.2	62.4	22.4	20.8	19.9	19.2	18.7	18.2	17.9	40.6
PET	19.4	19.0	18.8	18.6	18.4	18.2	26.2	38.3	43.4	45.4	44.6	42.4	46.4	49.2	49.7	49.0	41.6	23.4	22.0	21.2	20.6	20.2	20.0	19.6	30.6
Titik Ukur : 2C - BB+HRT (U-S)																									
Geometri : (BP: 2) - (BO: 90) - (BA : 65.1) - (H/W: 0.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	727	856	919	952	966	954	933	885	785	557	0							656
Rata-rata Temperatur (°C)	24.5	24.2	24.0	23.9	23.7	23.5	23.5	25.0	27.1	29.1	30.4	31.2	33.2	33.2	32.7	32.0	30.4	28.1	26.9	26.2	25.7	25.3	25.0	24.7	27.2
Rata-rata Kelembaban (%)	65.9	66.3	66.5	66.8	67.0	67.1	66.9	65.5	64.3	62.0	58.1	54.0	53.3	51.7	50.7	51.4	54.7	59.0	61.4	62.8	63.7	64.5	65.0	65.5	61.4
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
MRT (°C)	18.7	18.3	18.0	17.7	17.4	17.1	19.3	65.8	72.5	72.7	69.4	64.2	69.4	75.6	78.5	76.5	54.1	24.5	22.7	21.6	20.8	20.1	19.6	19.1	40.6
PET	20.7	20.4	20.3	20.0	19.8	19.6	20.4	45.1	49.7	51.4	50.1	47.6	51.9	53.9	54.5	53.1	41.6	25.2	23.8	23.0	22.4	21.9	21.4	21.1	33.3
Titik Ukur : 2D - BB+HRT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 90) - (BA : 77.0) - (H/W: 1.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	375	727	856	919	952	966	954	933	885	785	557	0							685
Rata-rata Temperatur (°C)	24.9	24.7	24.5	24.3	24.1	24.0	24.0	25.2	27.0	28.8	29.9	30.6	32.8	32.8	32.5	31.9	30.6	28.5	27.3	26.6	26.2	25.8	25.4	25.2	27.4
Rata-rata Kelembaban (%)	63.3	63.6	63.9	64.1	64.2	64.4	64.2	62.9	62.0	60.0	56.5	52.9	52.5	50.9	50.1	50.7	53.2	57.0	59.2	60.5	61.3	62.0	62.5	62.9	59.4
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2
MRT (°C)	17.5	17.2	17.0	16.7	16.5	16.3	44.6	66.2	71.6	71.4	67.7	62.1	66.6	72.9	75.9	74.1	62.3	22.3	20.7	19.8	19.2	18.6	18.2	17.8	40.6
PET	19.2	19.0	18.8	18.6	18.4	18.2	26.4	38.5	43.6	45.6	44.6	42.4	45.8	49.0	49.6	48.6	41.2	23.2	21.8	21.2	20.6	20.2	19.8	19.6	30.6

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi : EKSPERIMEN-6 (H3,9W4)																									
Titik Ukur : 1A - BB+H2RT (U-S)																									
Geometri : (BP: -) - (BO: 0) - (BA : -) - (H/W: 1.5)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	0	0	0	959	950	927	877	0	0	0							286
Rata-rata Temperatur (°C)	23.3	23.1	22.9	22.7	22.5	22.3	22.3	23.9	26.8	29.5	30.4	31.3	33.3	33.2	32.4	31.6	29.9	27.5	26.0	25.2	24.7	24.3	23.9	23.6	26.5
Rata-rata Kelembaban (%)	80.2	80.4	80.5	80.5	80.6	80.6	80.3	79.3	79.0	73.5	69.6	65.3	61.9	60.7	62.0	65.0	71.0	76.2	78.1	78.9	79.3	79.5	79.8	80.0	75.1
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MRT (°C)	18.9	18.6	18.3	18.1	17.9	17.7	20.9	25.3	28.2	30.3	31.6	62.8	67.5	73.8	61.7	33.3	29.7	23.2	21.9	21.1	20.5	20.0	19.6	19.2	30.0
PET	21.1	20.8	20.5	20.2	20.0	19.8	21.2	24.2	27.4	30.2	31.2	51.8	57.4	60.8	53.2	33.0	30.2	25.8	24.3	23.4	22.7	22.2	21.8	21.4	29.3
Titik Ukur : 1B - BB+H2RT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 0) - (BA : 71.2) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	850	913	946	959	950	927	877	774	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	24.1	23.8	23.6	23.4	23.3	23.1	23.1	24.4	27.0	29.4	30.4	31.1	33.2	33.1	32.6	31.9	30.0	27.8	26.5	25.8	25.3	24.9	24.6	24.3	26.9
Rata-rata Kelembaban (%)	74.1	74.2	74.3	74.4	74.4	74.4	74.0	73.1	71.9	66.6	62.6	59.4	56.9	56.3	56.8	59.8	66.5	71.1	72.7	73.2	73.5	73.7	73.8	74.0	69.2
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5
MRT (°C)	17.7	17.5	17.3	17.1	16.9	16.7	19.9	24.4	72.1	72.0	68.0	62.2	66.8	72.9	75.8	73.9	28.2	21.5	20.3	19.6	19.0	18.6	18.3	18.0	36.4
PET	18.8	18.5	18.3	18.1	17.9	17.8	18.4	20.6	42.0	44.6	43.6	41.6	45.2	48.0	48.6	47.0	26.7	22.7	21.2	20.5	20.0	19.6	19.3	19.0	28.2
Titik Ukur : 2C - BB+HRT (U-S)																									
Geometri : (BP: 2) - (BO: 90) - (BA : 65.1) - (H/W: 0.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	0	0	0	959	950	927	877	0	0	0							286
Rata-rata Temperatur (°C)	23.6	23.4	23.1	22.9	22.8	22.6	22.6	24.0	26.8	29.3	30.2	31.0	33.0	32.9	32.2	31.5	29.9	27.7	26.2	25.4	24.9	24.5	24.1	23.8	26.6
Rata-rata Kelembaban (%)	78.2	78.3	78.4	78.4	78.5	78.5	78.3	77.3	77.1	71.4	67.6	63.7	60.7	59.7	60.6	63.7	69.7	74.5	76.4	77.1	77.4	77.6	77.8	78.0	73.3
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MRT (°C)	18.9	18.6	18.3	18.1	17.9	17.7	20.9	25.4	28.2	30.3	31.6	62.8	67.4	73.7	60.9	32.3	28.7	22.2	21.2	20.8	20.3	19.8	19.5	19.1	29.8
PET	21.4	21.1	20.9	20.6	20.4	20.2	21.6	24.6	27.6	30.2	31.2	52.2	59.0	62.6	54.2	32.6	30.2	25.7	24.3	23.6	23.0	22.5	22.1	21.7	29.7
Titik Ukur : 2D - BB+HRT (T-B)																									
Geometri : (BP: 4) - (BO: 90) - (BA : 77.0) - (H/W: 1.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	850	913	946	959	950	927	877	774	0	0							553
Rata-rata Temperatur (°C)	23.9	23.7	23.5	23.3	23.1	23.0	23.0	24.3	27.0	29.4	30.3	31.0	33.1	33.0	32.5	31.8	30.0	27.8	26.5	25.7	25.2	24.8	24.5	24.2	26.9
Rata-rata Kelembaban (%)	75.1	75.2	75.3	75.4	75.4	75.4	75.1	74.2	73.0	67.4	63.2	60.0	57.6	56.9	57.4	60.2	66.8	71.5	73.2	73.9	74.3	74.5	74.7	74.9	70.0
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4
MRT (°C)	17.7	17.4	17.2	17.0	16.9	16.7	19.9	24.4	72.2	72.1	68.1	62.3	66.8	72.9	75.9	73.9	28.3	21.6	20.3	19.6	19.0	18.6	18.2	17.9	36.5
PET	18.6	18.4	18.2	18.0	17.8	17.6	18.4	20.6	42.4	44.8	43.8	41.8	45.2	48.0	48.6	47.2	26.7	22.7	21.2	20.4	20.0	19.6	19.2	19.0	28.3

Lampiran G. Lanjutan Kondisi Termal Ruang Luar Hasil Simulasi dengan Perlakuan dari Kondisi Eksisting Subyek (Eksperimen).

Lokasi	: EKSPERIMEN-7 (H9,3W4)																									
Titik Ukur	: 1A - BB+H2RT (U-S)																									
Geometri	: (BP: -) - (BO: 0) - (BA : -) - (H/W: 1.5)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata	
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	850	912	945	958	950	0	0	0	0	0								355
Rata-rata Temperatur (°C)	23.3	23.1	22.9	22.7	22.5	22.3	22.3	23.9	26.9	29.5	30.8	31.5	33.4	32.8	32.3	31.5	29.8	27.5	26.0	25.2	24.6	24.2	23.9	23.6	26.5	
Rata-rata Kelembaban (%)	80.7	80.8	80.9	81.0	81.0	81.1	80.8	79.5	79.3	73.8	68.6	65.0	62.1	62.4	62.6	65.5	71.6	76.5	78.4	79.2	79.7	80.0	80.2	80.5	75.5	
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
MRT (°C)	18.9	18.6	18.3	18.1	17.9	17.7	20.8	25.4	57.3	70.1	69.6	64.7	67.9	35.8	34.5	32.7	29.3	23.0	21.8	21.0	20.4	19.9	19.5	19.2	31.8	
PET	21.1	20.8	20.6	20.3	20.1	19.9	21.3	24.3	45.6	55.2	55.6	53.2	58.2	35.0	34.0	32.6	30.2	25.8	24.3	23.4	22.8	22.3	21.8	21.5	30.4	
Titik Ukur	: 1B - BB+H2RT (T-B)																									
Geometri	: (BP: 4) - (BO: 0) - (BA : 71.2) - (H/W: 0.8)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata	
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	363	722	850	912	945	958	950	927	877	774	536	0							678	
Rata-rata Temperatur (°C)	24.1	23.9	23.7	23.5	23.4	23.2	23.2	24.7	27.1	29.4	30.4	31.1	33.2	33.0	32.6	31.8	30.3	28.0	26.6	25.9	25.4	25.0	24.7	24.4	27.0	
Rata-rata Kelembaban (%)	73.6	73.7	73.8	73.8	73.8	73.8	73.4	71.6	71.2	66.1	62.0	59.0	56.5	56.1	56.5	59.4	65.2	70.4	72.1	72.7	73.0	73.2	73.3	73.5	68.7	
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.8	
MRT (°C)	17.7	17.5	17.3	17.1	16.9	16.7	37.5	67.1	72.3	72.0	67.9	62.0	66.7	72.7	75.7	73.7	61.4	21.7	20.4	19.6	19.0	18.6	18.3	18.0	40.3	
PET	18.7	18.4	18.2	18.0	17.8	17.8	22.6	36.1	41.4	44.0	43.0	41.0	45.0	47.4	48.4	46.6	39.4	22.8	21.4	20.6	20.0	19.6	19.2	19.0	29.4	
Titik Ukur	: 2C - BB+HRT (U-S)																									
Geometri	: (BP: 2) - (BO: 90) - (BA : 65.1) - (H/W: 0.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata	
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	0	0	850	912	945	958	950	0	0	0	0	0							355	
Rata-rata Temperatur (°C)	23.6	23.3	23.1	22.9	22.7	22.6	22.5	24.0	26.8	29.3	30.4	31.1	33.0	32.6	32.1	31.4	29.9	27.7	26.2	25.4	24.9	24.5	24.1	23.8	26.6	
Rata-rata Kelembaban (%)	78.5	78.7	78.8	78.8	78.9	78.9	78.6	77.6	77.6	71.8	67.0	63.6	60.8	60.9	61.1	64.0	70.0	74.7	76.6	77.3	77.7	77.9	78.2	78.4	73.6	
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
MRT (°C)	18.8	18.6	18.3	18.1	17.9	17.7	20.9	25.4	57.3	70.1	69.5	64.2	67.8	35.1	33.7	31.9	28.5	22.1	21.2	20.7	20.2	19.8	19.4	19.1	31.5	
PET	21.4	21.2	20.9	20.7	20.4	20.2	21.6	24.6	47.0	55.8	55.8	53.2	59.2	34.6	33.6	32.4	30.0	25.6	24.3	23.6	23.0	22.5	22.1	21.8	30.7	
Titik Ukur	: 2D - BB+HRT (T-B)																									
Geometri	: (BP: 4) - (BO: 90) - (BA : 77.0) - (H/W: 1.3)																									
Kondisi Termal	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Rata-rata	
Rata-rata Radiasi (W/m ²)						0	363	722	850	912	945	958	950	927	877	774	536	0							678	
Rata-rata Temperatur (°C)	24.0	23.8	23.6	23.4	23.2	23.1	23.1	24.6	27.1	29.4	30.3	31.0	33.1	33.0	32.5	31.8	30.3	27.9	26.5	25.8	25.3	24.9	24.5	24.3	26.9	
Rata-rata Kelembaban (%)	74.7	74.8	74.9	74.9	74.9	74.9	74.5	72.7	72.4	66.9	62.8	59.8	57.4	56.9	57.3	60.1	65.7	71.1	72.9	73.5	73.9	74.1	74.3	74.5	69.6	
Rata-rata Kecepatan Angin (m/d)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	
MRT (°C)	17.7	17.5	17.3	17.1	16.9	16.7	37.5	67.2	72.4	72.1	68.1	62.2	66.8	72.9	75.8	73.8	61.5	21.8	20.4	19.6	19.1	18.6	18.3	18.0	40.4	
PET	18.7	18.4	18.2	18.0	17.8	17.7	22.8	36.9	42.2	44.6	43.6	41.6	45.2	47.8	48.6	46.8	39.8	22.8	21.4	20.6	20.0	19.6	19.2	19.0	29.6	