TESIS – DA185401

PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI FASAD TERHADAP KINERJA TERMAL UNIT HUNIAN PADA TIPIKAL RUMAH SUSUN DI SURABAYA

APRILIANA HIDAYATI NURDIN
NRP 081118 500 4000 2

Dosen Pembimbing
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.
Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, M.T.

Dapartemen Arsitektur
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

TESIS – DA185401

PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI FASAD TERHADAP KINERJA TERMAL UNIT HUNIAN PADA TIPIKAL RUMAH SUSUN DI SURABAYA

APRILIANA HIDAYATI NURDIN
NRP 081118 500 4000 2

Dosen Pembimbing
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.
Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, M.T.

Dapartemen Arsitektur
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

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

APRILIANA HIDAYATI NURDIN
NRP: 08111850040002

Tanggal Ujian: 22 Juni 2020
Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing:

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

2. Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, M.T. .....
   NIP: 19611129 198601 2 001

Penguji:

1. Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env. .....
   NIP: 19670301 199203 2 002

2. Sarah Cahyadini, S.T., M.T., Ph.D. .....
   NIP: 19800523 200812 2 003

Kepala Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian

Dr. Dewi Septanti, S.Pd., S.T., M.T.
NIP: 19690907 1997022 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Apriliana Hidayati Nurdin

NRP : 08111850040002

Program Studi : Magister (S2)

Jurusan : Arsitektur

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul:

"PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI FASAD TERHADAP KINERJA TERMAL UNIT HUNIAN PADA TIPIKAL RUMAH SUSUN DI SURABAYA"

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan 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, Agustus 2020

Apriliana Hidayati Nurdin

NRP. 08111850040002

Halaman ini sengaja dikosongkan

Pengaruh Perubahan Konfigurasi Fasad terhadap Kinerja Termal Unit Hunian pada Tipikal Rumah Susun di Surabaya

Nama mahasiswa : Apriliana Hidayati Nurdin
NRP : 08111850040002
Pembimbing : 1. Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.
2.Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, M.T.

ABSTRAK

Rumah susun yang pada umumnya mengandalkan jendela sebagai penyedia ventilasi untuk pendinginan pasif ternyata masih belum memberikan kenyamanan termal ruang. Seiring berjalannya waktu fasad rumah susun mengalami perubahan, yang ditandai dengan berkurangkan elemen peneduh serta bertambahnya luasan bidang transparan. Desain rumah susun memiliki bidang fasad yang lebih luas dibandingkan bidang atap menjadi salah satu masalah tingginya temperatur udara ruang. Sehingga penting untuk menerapkan strategi desain pasif melalui *solar control* dalam hal mengurangi perolehan panas ke dalam bangunan, berfokus pada rasio luas bukaan (*Window to Wall Ratio*), elemen tabir surya, serta balkon. Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu pengaruh dari perubahan konfigurasi fasad berdasarkan studi tipologi rumah susun yang ada terhadap kinerja termal ruangan pada rumah susun di Surabaya.

Penelitian ini diawali dengan pengukuran lapangan untuk mengetahui fenomena di dalam dan luar rumah susun. Selanjutnya penelitian menggunakan metode eksperimen dengan bantuan simulasi menggunakan *software* DesignBuilder. Konfigurasi fasad yang terdiri dari konfigurasi rasio luasan bukaan (WWR), tabir surya (*shading device*) serta balkon, menjadi variabel untuk mengamati kinerja termal bangunan berupa temperatur udara, kelembaban dan kecepatan angin.

Hasil eksperimen dengan beberapa elemen fasad dari WWR, tabir surya dan balkon menampilkan adanya penurunan temperatur udara serta persentase *cooling degree hour* di dalam ruang. Kombinasi elemen fasad paling efektif ditunjukkan pada eksperimen WWR 10% dan tabir surya dengan tipe horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8 m, serta balkon semi tertutup kedalaman 30% yakni penurunan temperatur udara sebesar 1,95% dan persentase penurunan *cooling degree hour* 58,09% dari kondisi eksisting. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa kombinasi elemen fasad rumah susun perlu dipertimbangkan guna tercipta lingkungan dalam yang lebih baik dari sisi termal maupun penghawaan alami.

Kata kunci: Elemen Fasad, Iklim Tropis Lembab, Kinerja Termal, Rumah Susun, *Solar Control*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Influence of Changes in Facade Configuration on Thermal Performance of Residential Unit in Typical Walk-up Flats in Surabaya

Nama mahasiswa : Apriliana Hidayati Nurdin
NRP : 08111850040002
Pembimbing : 1. Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.
2.Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, M.T.

ABSTRACT

Walk-up flats that generally rely on windows as a provider of ventilation for passive cooling still do not provide thermal comfort. Especially now that the design of the flats emphasizes the fulfilment of space requirements, rather than focusing on the protective elements in the facade. Over time the facade of the walk-up flat has changed, which is marked by the reduction of the shade elements and the increase in the area of the transparent field. Walk-up flats design has a broader facade area compared to the roof area to be one of the problems of high room air temperature. So it is important to implement a passive design strategy through solar control in terms of reducing heat gain into the building, focusing on the ratio of the opening area (Window to Wall Ratio), sunscreen elements, and balconies. Therefore this study aims to find out the effect of changes in facade configuration based on the existing walk-up flat typology study on the thermal performance of rooms in walk-up flats in Surabaya.

This research begins with field measurements to determine the phenomenon inside and outside the Flats. Furthermore, research uses the experimental method with the help of simulation using DesignBuilder software. The facade configuration which consists of the configuration of the ratio of the area of the openings (WWR), sunscreen (shading device) as well as the balcony, is a variable to observe the thermal performance of the building in the form of air temperature, humidity and wind speed.

The results of experiments with some facade elements from WWR, sunscreen and balconies show a decrease in air temperature and the percentage of *cooling degree hours* in the room. The most effective combination of facade elements were shown in WWR 10% experiments and sunscreen with horizontal-vertical *overhang* type 0.8 m long, and semi-enclosed balconies with a depth of 30% ie a decrease in air temperature of 1.95% and a decrease in cooling degree hour 58,09% of existing conditions. The results of this simulation show that the combination of the flats facade elements needs to be considered to create an environment that is better in terms of thermal and natural air.

Kata kunci: Air Temperature, Solar Control, Tropical Climate, Walk-up Flats, Warm-humid Facade Elements

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "Pengaruh Perubahan Konfigurasi Fasad terhadap Kinerja Termal Unit Hunian pada Tipikal Rumah Susun di Surabaya" dengan baik dan lancar. Penyusunan ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Arsitektur (M.Ars.) dalam Bidang Keahlian Arsitektur Lingkungan Program Pascasarjana Jurusan Arsitektur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penyelesaian penulisan tesis ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak tersebut, antara lain:

1. Pembimbing tesis Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D dan Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, M.T atas ketulusan dan kesabaran, yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta arahan yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian tesis.
2. Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env dan Sarah Cahyadini, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan berupa kritik, saran dan kebaikannya yang sangat membantu dalam kelancaran tesis ini.
3. Dr. Dewi Septanti, S.Pd., S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Arsitektur ITS dan Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env selaku Ketua Pascasarjana Arsitektur ITS atas kesempatan yang telah diberikan untuk menempuh pendidikan di Pascasarjana Arsitektur ITS.
4. Seluruh staf dan karyawan Pascasarjana ITS, Pascasarjana Arsitektur, Laboratorium Arsitektur Lingkungan, Perpustakaan ITS, Ruang Baca Arsitektur yang telah membantu penulis.
5. Keluarga Penulis, ayahanda Dr. Nurdin, S.T., M.T dan Ibunda Ermalina, serta adik-adik Imai dan Ayu atas kasih sayang, dukungan baik moril

maupun materil dan doa yang tiada henti-hentinya dipanjatkan untuk mengiringi langkah penulis menyelesaikan studi magister ini.

6. Seluruh mahasiswa Arsitektur ITS khususnya alur Arsitektur Lingkungan 2018, mbak Nila, Yasmine, Astrini, dan Alifa atas saran, diskusi dan dukungan selama menjalani studi hingga menyelesaikan tesis. Selanjutnya senior-senior alur Arsitektur Lingkungan yang memberikan saran serta ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
7. Teman-teman seperjuangan dari Magister Teknik Elektro dan Pekanbaru khususnya Khairunnisa', Fathur, Dila, Siti, Rezi, Karimatun Nisa', dan Eki atas dukungan dan pertolongannya selama ini.

Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat, kasih sayang dan hidayah-Nya kepada seluruh pihak yang telah disebutkan di atas. Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini belum mencapai kata sempurna. Oleh sebeb itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang mendukung untuk tercapainya hasil yang lebih baik pada waktu mendatang. Penulis berharap tesis ini dapat berguna bagi penulis secara pribadi, praktisi arsitektur dan pembaca.

Surabaya, Agustus 2020

Apriliana Hidayati Nurdin
NRP. 08111850040002

DAFTAR ISI

JUDUL PENELITIAN i
LEMBAR PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xxi
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Tujuan Penelitian 8
1.4 Manfaat Penelitian 8
1.5 Batasan Penelitian 8
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA 11
2.1 Fasad Bangunan 11
2.1.1 Jenis-Jenis Fasad 12
2.1.2 Elemen-Elemen Fasad 15
2.2 Hunian Bertingkat (Rumah Susun) 18
2.3 Lingkungan dan Kinerja Termal 26
2.3.1 Temperatur Udara 27
2.3.2 Perpindahan Panas 28
2.3.3 Kelembapan 29
2.3.4 Pegerakan Udara 31
2.3.5 Suhu Radiasi 33
2.3.6 Perilaku Termal pada Bangunan 34
2.4 Kenyamanan Termal dan Iklim Tropis Lembab 36
2.4.1 Karakteristik Iklim Tropis Lembab di Indonesia 37

2.4.2 Pendekatan Desain Pasif Bangunan pada Iklim Tropis Lembab ... 39
2.4.3 *Cooling Degree Days* ... 40
2.5 Pengendalian Termal melalui Desain Pasif ... 41
2.5.1 Pendinginan Pasif ... 41
2.5.2 Pengaruh WWR terhadap Beban Panas ... 46
2.5.3 Pengaruh Naungan terhadap Kinerja Termal Bangunan ... 47
2.5.4 Pengaruh Balkon terhadap Kinerja Termal Bangunan ... 48
2.6 Sintesa Kajian Teori ... 49
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN ... 53
3.1 Paradigma Penelitian ... 53
3.2 Metodologi Penelitian ... 54
3.3 Variabel Penelitian ... 56
3.3.1 Definisi Variabel ... 57
3.4 Subjek dan Objek Penelitian ... 59
3.4.1 Subjek Penelitian ... 59
3.4.2 Objek Penelitian ... 60
3.4.3 Model Rujukan ... 60
3.5 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data ... 62
3.5.1 Data Primer ... 62
3.5.2 Data Sekunder ... 62
3.5.3 Pengambilan Data Eksisting ... 63
3.6 Rancangan Eksperimen ... 65
3.6.1 Model Dasar Ruang Eksperimen ... 66
3.6.2 Tipe Eksperimen ... 67
3.7 Simulasi ... 71
3.7.1 Deskripsi Program Simulasi DesignBuilder V6.1 ... 71
3.7.2 Kelebihan Program Simulasi DesignBuilder V6.1 ... 72
3.7.3 Kekurangan Program Simulasi DesignBuilder V6.1 ... 72
3.7.4 Referensi DesignBuilder V6.1 ... 73
3.8 Metode Analisa Data ... 78
3.9 Tahap Penelitian ... 80
BAB 4 KINERJA TERMAL RUMAH SUSUN ... 81

4.1 Studi Tipologi Perubahan Fasad Rumah Susun di Surabaya 81
4.2 Deskripsi Subjek dan Objek Penelitian 87
4.2.1 Lokasi dan Orientasi 87
4.2.2 Dimensi Ruang dan Keberadaan Bukaan 89
4.2.3 Kondisi Iklim Makro Surabaya 92
4.2.4 Kondisi Iklim Mikro Lokasi Penelitian 96
4.2.5 Perbedaan Kondisi Termal pada Lokasi Penelitian dan BMKG Surabaya 99
4.3 Hasil Pengukuran Lapangan 100
4.3.1 Kondisi Profil Temperatur, Kelembapan, dan Kecepatan Angin Model Rujukan 101
4.3.2 Kinerja Termal pada Model Rujukan 102
4.4 Rangkuman Pengamatan Lapangan 105
BAB 5 HASIL SIMULASI DAN ANALISA 107
5.1 Verifikasi Model Rujukan 107
5.2 Pengaruh Kinerja Elemen Fasad terhadap Kinerja Termal bangunan 115
5.2.1 Pengaruh Konfigurasi WWR terhadap Kinerja Termal Bangunan 116
5.2.2 Pengaruh Konfigurasi Tabir Surya terhadap Kinerja Termal Bangunan 124
5.2.3 Pengaruh Balkon terhadap Kinerja Termal Ruang 134
5.3 Pengaruh Kinerja Kombinasi Elemen Fasad terhadap Kinerja Termal bangunan 142
5.4 Rangkuman Hasil Eksperimen 153
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 157
6.1 Kesimpulan 157
6.1.1 Kinerja Termal Bangunan Berdasarkan Konfigurasi Elemen Fasad 157
6.1.2 Kinerja Termal Bangunan Berdasarkan Kombinasi Elemen Fasad 159
6.2 Saran 160
DAFTAR PUSTAKA 161

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Fasad ganda 13
Gambar 2. 2. Fasad kulit ganda 14
Gambar 2.3. Perangkat naungan vertikal 16
Gambar 2.4. Perangkat naungan horizontal 16
Gambar 2.5. Perangkat naungan *egg-crate* 17
Gambar 2. 6. Rumah susun dengan sistem *walk-up* 18
Gambar 2. 7. Rumah susun dengan sistem *elevated* 19
Gambar 2. 8. *Single loaded corridor* dan *multicore system*, *double loaded corridor* 19
Gambar 2. 9. *Point block system.* 20
Gambar 2. 10. Lapisan batas di kondisi permukaan bumi yang berbeda 32
Gambar 2.11. Sudut busur derajat 34
Gambar 2. 12. klasifikasi iklim menurut Koppen 38
Gambar 2.13. Intensitas radiasi matahari untuk lintang 1 ° Selatan (Nairobi) 44
Gambar 2. 14. Diagram kerangka pemikiran penelitian 51
Gambar 3. 1. Tipe Horizontal *overhang*, vertikal *overhang* dan Horizontal *Overhang* sirip segitiga 58
Gambar 3. 2. Tipe balkon terbuka, balkon semi tertutup 58
Gambar 3. 3. Model dan ukuran unit rumah susun 59
Gambar 3. 4. *Site Plan* rumah susun Siwalankerto 2 61
Gambar 3.5. Fasad rumah susun Siwalankerto 2 61
Gambar 3.6. Denah rumah susun Siwalankerto 2 61
Gambar 3. 7. Titik pengukuran dalam ruang 63
Gambar 3.8. Grid pengukuran parsial kecepatan angin dalam ruang 64
Gambar 3. 9. WBGT Meter 65
Gambar 3. 10. Anemometer 65
Gambar 3. 11. Skema Kerangka Eksperimen 66
Gambar 3. 12. *Setting activity* 74
Gambar 3. 13. *Setting* jenis material 75

Gambar 3. 14. *Setting opening* 75
Gambar 3. 15. *Setting* pencahayaan..... 76
Gambar 3. 16. *Setting* sistem penghawaan 76
Gambar 3. 17. Proses simulasi..... 77
Gambar 3. 18. *Output* data..... 77
Gambar 4. 1. *Site plan* rumah susun Siwalankerto..... 88
Gambar 4. 2. Fasad rumah susun Siwalankerto 2..... 89
Gambar 4. 3. Denah..... 89
Gambar 4. 4. Kondisi dalam unit..... 90
Gambar 4. 5. Jenis jendela dan dimensi bukaan unit rumah susun 91
Gambar 4. 6. Posisi bukaan pada unit rumah susun 91
Gambar 4. 7. Grafik Temperatur Udara per 5 Tahun 92
Gambar 4. 8. Grafik Kelembaban per 5 Tahun 93
Gambar 4. 9. Grafik Kondisi Temperatur Udara tahun 2019..... 95
Gambar 4. 10. Grafik Kondisi Kelembaban Udara tahun 2019 95
Gambar 4. 11. Grafik Kondisi Kecepatan Angin tahun 2019 96
Gambar 4. 12. Kondisi eksisting iklim mikro temperatur udara dan kelembapan..... 97
Gambar 4. 13. Kondisi kecepatan angin..... 97
Gambar 4. 14. Windrose lokasi penelitian 98
Gambar 4. 15. Perbandingan kondisi iklim mikro dan iklim makro..... 100
Gambar 4. 16. Profil temperatur model rujukan..... 101
Gambar 4. 17. Grafik kelembaban model rujukan 101
Gambar 4. 18. Grafik Kecepatan Angin model rujukan..... 102
Gambar 4. 19. Kinerja *cooling degree hour* model rujukan..... 103
Gambar 4. 20. Rata-rata temperatur udara selama durasi kenyamanan 104
Gambar 4. 21. Grafik kecepatan angin model rujukan dan WSc 104
Gambar 5. 1. Model Simulasi..... 107
Gambar 5. 2. Perbandingan antara hasil simulasi dan kondisi eksisting temperatur udara (a), kelembaban (b)..... 112
Gambar 5. 3. Grid kecepatan angin model rujukan dan titik pengukuran angin di lapangan..... 114

Gambar 5. 4. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap profil temperatur ruang 117
Gambar 5. 5. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap Kelembaban ruang 118
Gambar 5. 6. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap kecepatan angin..... 119
Gambar 5. 7. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap kinerja *cooling degree hours*..... 120
Gambar 5. 8. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap durasi kenyamanan termal..... 121
Gambar 5. 9. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal..... 122
Gambar 5. 10. Pengaruh model WWR terhadap penurunan Temperatur ruang..... 122
Gambar 5. 11. Pengaruh model WWR terhadap persentase penurunan *cooling degree hours*..... 123
Gambar 5. 12. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap profil temperatur ruang..... 126
Gambar 5. 13. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap Kelembaban ruang 127
Gambar 5. 14. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap kecepatan angin..... 129
Gambar 5. 15. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap kinerja *cooling degree hours*..... 130
Gambar 5. 16. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap durasi kenyamanan termal..... 131
Gambar 5. 17. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal..... 131
Gambar 5. 18. Pengaruh model tabir surya terhadap penurunan Temperatur ruang..... 132
Gambar 5. 19. Pengaruh model tabir surya terhadap persentase penurunan *Cooling degree hours*..... 133
Gambar 5. 20. Pengaruh konfigurasi balkon terhadap profil temperatur ruang..... 135
Gambar 5. 21. Pengaruh konfigurasi tipe balkon terhadap Kelembaban ruang..... 136

Gambar 5. 22. Pengaruh konfigurasi tipe balkon terhadap kecepatan angin 137
Gambar 5. 23. Pengaruh elemen balkon terhadap kinerja *cooling degree hours* 138
Gambar 5. 24. Pengaruh elemen balkon terhadap durasi kenyamanan termal 139
Gambar 5. 25. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal 140
Gambar 5. 26. Pengaruh model balkon terhadap penurunan Temperatur ruang 140
Gambar 5. 27. Pengaruh model balkon terhadap persentase penurunan *Cooling degree hour* 141
Gambar 5. 28. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap profil temperatur ruang 144
Gambar 5. 29. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap Kelembapan ruang 145
Gambar 5. 30. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap kecepatan angin 146
Gambar 5. 31. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap kinerja *cooling degree hours* 148
Gambar 5. 32. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap durasi kenyamanan termal 148
Gambar 5. 33. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal 149
Gambar 5. 34. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap penurunan Temperatur ruang..... 151
Gambar 5. 35. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap persentase penurunan *cooling degree hours* 151

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1: Gambaran Blok Rumah Susun di Surabayabaran Blok Rumah Susun di Surabaya 20
Tabel 2. 2: Karakteristik Bangunan Rumah Susun di Surabaya 24
Tabel 2. 3: *Boundary layer*..... 32
Tabel 2. 4: Faktor penguatan matahari untuk berbagai elemen naungan..... 48
Tabel 3. 1. Jenis Variabel yang Digunakan.....56
Tabel 3. 2: Jenis Data dan teknik pengumpulan data..... 62
Tabel 3. 3: Kondisi Eksisting..... 68
Tabel 3. 4: Eksperimen mengubah besaran nilai WWR 68
Tabel 3. 5: Eksperimen mengubah konfigurasi tabir surya..... 69
Tabel 3. 6: Eksperimen mengubah konfigurasi balkon..... 70
Tabel 3. 7: Eksperimen mengatur kombinasi elemen fasad..... 71
Tabel 3. 8: Input data simulasi 73
Tabel 4. 1: Gambaran tipologi fasad unit rumah susun.....81
Tabel 4. 2: Perubahan fasad rumah susun di Surabaya..... 86
Tabel 4. 3: Nilai Rata-rata, Minimum, dan Maksimum Kondisi Temperatur Udara dan Kelembaban Kota Surabaya per 5 Tahun 92
Tabel 4. 4: Kondisi Iklim Kota Surabaya di Tahun 2019 94
Tabel 4. 5: Hasil Pengukuran Iklim Mikro Eksisting dan Iklim Makro 99
Tabel 4. 6: Hasil Analisis Regresi..... 99
Tabel 5. 1: Verifikasi Input Simulasi dan Kondisi Pengukuran..... 108
Tabel 5. 2: Penyederhanaan pada Model dan Simulasi..... 109
Tabel 5. 3: Tabel Temperatur dan Kelembaban per Jam Kondisi Eksisting dan Simulasi 111
Tabel 5. 4: Tabel Hasil Regresi antara Kondisi Eksisting dan Simulasi..... 113
Tabel 5. 5: Tabel nilai Kecepatan Angin Kondisi Eksisting dan Simulasi 114
Tabel 5. 6: Tabel Hasil Regresi antara Kondisi Eksisting dan Simulasi..... 115
Tabel 5. 7: Pertimbangan pemilihan kombinasi elemen fasad..... 142

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan lahan di kota-kota besar terus berkurang dan tidak sebanding dengan kenaikan jumlah populasi, yang ditandai dengan bertambahnya kepadatan penduduk. Dapat dilihat dari data sensus penduduk 2010 oleh Badan Pusat Statistik (2011), bahwa Kepadatan penduduk Indonesia adalah sebesar 124 jiwa/km2. Meningkat dibandingkan dari hasil sensus sebelumnya tahun 2000 dengan angka kepadatan penduduk Indonesia adalah 107 jiwa/km2. Di samping itu, 50% dari jumlah penduduk Indonesia bertempat tinggal di perkotaan (Sabaruddin, dkk 2012). Surabaya sebagai salah satu kota besar dengan aktivitas perekonomiannya yang terus berkembang pesat, ikut memberi andil dalam bertambahnya kepadatan penduduk di daerah perkotaan. Pertambahan penduduk yang pesat tidak didukung dengan bertambahnya ketersediaan lahan untuk hunian menjadi penyebab kenaikan harga tempat tinggal. Dengan demikian, untuk mengatasi masalah ini pemerintah memiliki program yang disebut sebagai "Program Seribu Tower". Rumah susun merupakan solusi untuk memecahkan masalah meningkatnya kebutuhan tempat tinggal di Surabaya, sebagai akibat dari pesatnya pertumbuhan penduduk.

Rumah susun lebih mengedepankan pemenuhan kebutuhan ruang ditengah keterbatasan lahan yang ada. Selama ini pemerintah lebih berfokus pada daya tampung unit serta memenuhi kebutuhan ruang untuk penghuni rumah susun. Dengan demikian, tidak jarang perhatian terhadap tipologi serta denah ruang lebih dikedepankan dibandingkan dengan aspek desain lainnya. Salah satu elemen desain yang kurang mendapat perhatian yaitu elemen fasad, yang mana elemen fasad paling berpengaruh dan berhubungan langsung dengan kondisi iklim lingkungan.

Rumah susun pada dasarnya dirancang untuk menggunakan desain pasif, dan umumnya memiliki sirkulasi udara melalui bukaan pada jendela. Hal ini

ditujukan untuk mencapai kenyamanan termal penghuni saat beraktivitas di dalam ruang, dan merupakan salah satu kebutuhan mendasar yang harus terpenuhi (Rahmawati, dkk, 2016). Namun permasalahan yang sering terjadi suhu udara di dalam ruangan sangat tinggi, sehingga diperlukan tambahan alat mekanik untuk mendapatkan aliran angin di dalam rumah susun (Mufidah, dkk, 2016). Penggunaan pendinginan mekanis dinilai kurang sesuai karena cukup mahal dan mempengaruhi peningkatan penggunaan energi bangunan. Seperti yang diketahui, pendingin mekanis sendiri menyumbang konsumsi listrik yang cukup besar pada bangunan yaitu sekitar 60% dari total penggunaan listrik gedung (Lan, dkk, 2017). Oleh sebab itu, salah satu strategi yang dapat dilakukan untuk pengkondisian udara dalam ruang rumah susun yaitu menggunakan pendekatan desain pasif.

Desain pasif merupakan salah satu cara pengendalian termal yang dapat diterapkan pada elemen bangunan. Salah satu strategi desain pasif yang dapat digunakan untuk mencapai kenyamanan termal di dalam ruangan dengan *solar control*. Elemen fasad memegang peran yang cukup besar dalam perolehan panas bangunan, seperti halnya komponen transparan. Rancangan konstruksi harus mempertimbangkan kapasitas beban panas yang diterima dan membuangnya menjadi *heat sink* seperti ventilasi, penguapan atau pendinginan (Santamouris, 1996). Selain itu, diketauhi pula terdapat penghematan konsumsi energi untuk pendinginan sebesar 4,1% dan dengan menggunakan strategi *solar control* berupa overhang (Sghiouri. H, dkk, 2018).

Seiring perkembangannya hingga saat ini, rumah susun yang dijadikan sebagai solusi akan kebutuhan tempat tinggal murah tidak terlepas dari berbagai permasalahan. Permasalahan yang muncul salah satunya dari ukuran unit yang terbatas, dirasa kurang memberikan kenyamanan terhadap penghuninya. Rumah susun saat ini umumnya lebih mengedepankan agar dapat menampung jumlah orang yang tinggal dibanding dengan memberi kenyamanan spasial terhadap penghuninya. Selain itu permasalahan ketidaknyamanan yang dirasakan pada rumah susun biasanya perihal temperatur udara yang panas di dalam ruang.

Hunian kecil dirasa tidak mampu memberikan kenyamanan. Permasalahan yang umumnya dirasakan pada ruang dengan ukuran sempit dapat menimbulkan beban psikis, hal ini sangat berbeda jika dibandingkan dengan

ukuran ruang yang lebih luas dapat memberikan kenyamanan dan mampu memuaskan penghuninya. Sesuai dengan Kepmen Kimpraswil No.403/KPTS/M/2002 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Rumah, untuk kepadatan hunian satu keluarga yang terdiri dari 5 orang, minimum luas rumah adalah 50 m² dengan kamar tidur memerlukan luas lantai minimum 3 m²/orang (Saleh, 2010). Dengan demikian, ukuran unit hunian sangat berpengaruh pada kenyamanan pengguna. Berkaitan dengan hal tersebut permasalahan yang umumnya terjadi di Surabaya, terkait terbatasnya ukuran unit yang tidak sebanding dengan jumlah penghuni. Berdasarkan studi tipologi biasanya satu unit rumah susun hanya berukuran 18 dan 21 m^2 (Darmiwati, 2017).

Permasalahan lain yang dialami yaitu kurangnya sirkulasi udara yang biasanya hanya didapat dari satu sisi bukaan pada fasad saja. Selain itu pendinginan pasif yang ada pada rumah susun tidak banyak bisa diandalkan khususnya penghawaan alami dengan jendela. Meskipun telah mengandalkan bukaan pada jendela sebagai ventilasi silang untuk pendinginan pasif, tetap saja kondisi termal di dalam ruang rumah susun belum dirasa nyaman. Kondisi temperatur pada rumah susun umumnya mengalami *over-heating* dari siang hingga sore hari, yang dikarenakan faktor dari penghawaan alami yang tidak berjalan dengan baik (Indrani, 2008).

Penghawaan alami dari jendela saja belum cukup untuk memberikan kenyamanan termal pada rumah susun. Temperatur udara di dalam ruang pada sore hari masih lebih tinggi jika dibandingan dengan di luar ruang. Perkembangan rumah susun beberapa tahun terakhir, sedang populer dengan jendela yang besar dan bukaan tinggi. Hal ini dapat dianggap memberikan kesan luas kepada penghuninya serta dianggap dapat menawarkan lingkungan hidup mewah yang lebih baik. Namun dengan makin besarnya bidang transparan memiliki dampak pada kinerja termal ruang yang perlu diperhatikan. Selain itu perubahan fasad rumah susun juga terjadi pada elemen tabir surya baik berupa *shading device* maupun penggunaan balkon yang semakin minim dan berkurang fungsinya dibandingkan dengan yang ada pada fasad rumah susun terdahulu. Dengan kata lain perlu adanya strategi pendinginan dengan *solar control* yang berfokus pada elemen fasad bangunan guna menurunkan temperatur udara serta kinerja termal

ruang. Teknik *solar control* ini dilakukan dengan memodifikasi elemen fasad demi mencegah perolahan panas yang masuk ke dalam ruangan. Sejalan dengan ini beberapa penelitian juga telah membahas mengenai *solar control* melalui desain pasif bangunan terhadap kinerja termal ruang (Sghiouri. H, dkk, 2018; Subhashini. S & Thirumaranb. K, 2018; Abdeen, dkk, 2019).

Telah dilakukan banyak penelitian mengenai kinerja termal melalui penyelidikan terhadap elemen fasad bangunan. Salah satunya oleh Fotopoulou, dkk, (2018), penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menggambarkan potensi penghematan energi dari penambahan fasad pada bangunan hunian dalam konteks iklim yang berbeda. Studi ini mengilustrasikan penambahan fasad dan volumetrik melalui simulasi dengan mengusulkan beberapa hipotesis. Selain itu penelitian oleh Lujan, dkk, (2019), merupakan studi eksperimen yang menganalisis kinerja termal fasad hunian yang terletak di Madrid dengan memantau temperatur permukaan sebelum dan sesudah renovasi dengan ETICS (*external thermal insulation composite systems*). Hal ini bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi yang berfokus pada sistem pemanas domestik. Penelitian ini didasari atas fenomena sebagian besar energi yang hilang melalui selubung bangunan. Penelitian sebelumnya oleh Zinzi (2016), telah melakukan penelitian mengenai elemen fasad pada bangunan hunian di konteks iklim wilayah Mediterania. Studi ini menilai pengaruh dari desain fasad pada energi dan kinerja kenyamanan termal, dengan melalukan perhitungan untuk beberapa konfigurasi bangunan. Eksplorasi dilakukan juga untuk menilai reflektansi yang berbeda pada fasad sesuai orientasinya. Beberapa studi ini kinerja termal yang diselidiki telah dilakukan pada konteks iklim *temperate*. Pada kondisi iklim ini bangunan dituntut mampu untuk menghemat energi pendinginan saat musim panas, dan mencegah kehilangan energi panas saat musim dingin.

Penelitian sejenis lainnya terkait dengan bangunan hunian bertingkat juga telah dilakukan pada iklim tropis. Salah satunya adalah penelitian oleh Tong, dkk, (2019), membahas mengenai studi eksperimental dengan pengukuran di lapangan pada bangunan hunian yang umumnya ada saat ini dengan bidang bukaan jendela yang besar. Penelitian dilakukan dengan menyelidiki temperatur ruang didekat fasad hunian berventilasi alami di Singapura. Tujuannya untuk mengevaluasi

temperatur udara serta dampak dari desain fasad dan bukaan berdasarkan pengukuran. Berdasarkan objek penelitian pada bangunan hunian dengan desain fasad besar serta bentukan tinggi penuh bukan merupakan desain yang baik untuk kenyamanan termal. Dengan demikian, dari hasil penelitian ini didapatlah rekomendasi desain fasad yang dinilai baik untuk tipikal hunian saat ini. Salah satu elemen fasad yang paling berpengaruh dalam perolehan panas bangunan adalah bidang transparan pada bukaan. WWR (*window to wall ratio*) juga memegang peran penting dalam penghematan energi yang signifikan (hingga 50%) untuk beban pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan. Penelitian yang dilakukan oleh Goia (2013), memaparkan persentase bidang transparan yang paling optimal untuk gedung kantor di daerah beriklim *temperate oceanic* dengan efisiensi sistem HVAC yang berbeda. Hasil yang didapatkan bahwa konfigurasi fasad yang optimal dapat dicapai ketika presentase bidang transparan antara 35-45% dari total area modul fasad.

Terkait dengan penelitian sebelumnya mengenai pengaruh desain fasad pada kinerja termal ruang, juga dapat dipengaruhi oleh elemen fasad pendukung seperti perangkat tabir surya/naungan. Salah satu penelitian mengenai studi tentang tabir surya yang dilakukan oleh Liu, dkk, (2019), yang bertujuan mengusulkan perangkat naungan fasad untuk mengevaluasi potensi penghematan energi pada kondisi musim panas dengan bantuan program simulasi. Fokus penelitian ini pada perangkat naungan untuk fasad yang bukan berada disekitar bukaan. Penyelidikan dilakukkan untuk melihat pengaruh konfigurasi panel *shading device* yang berbeda dari segi panjang, jumlah dan sudut kemiringan panel *shading*. Telah banyak juga penelitian sebelumnya yang membahas mengenai perangkat naungan penyelidikan yang dilakukan mengenai perangkat peneduh eksternal dalam hal mengurangi radiasi matahari melalui bidang transparan dan bukaan. Penelitian-penelitian ini juga membahas mengenai pengoptimalan konfigurasi perangkat *shading* (Mandalaki, dkk, 2014; Manzan, 2014; Rendona, dkk, 2016).

Selain tabir surya, elemen desain fasad lainnya yang termasuk dalam strategi pengendalian termal adalah balkon. Balkon yang berada di area fasad depan bukaan dinilai dapat memberikan efek penyejukan terhadap ruang di

dalamnnya, melalui pengaruh fisiologis yang dirasakan dengan adanya pergerakan angin. Sejalan dengan ini penelitian oleh Omrani, dkk, (2017), yang berhubungan dengan kenyamanan termal pada bangunan berventilasi alami menggunakan balkon. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki efek balkon terhadap kinerja ventilasi alami dan kenyamanan termal bangunan hunian. Adapun parameter yang diteliti adalah tipe balkon, kedalaman balkon, mode ventilasi, dan sudut arah datang angin untuk melihat pergerakan angin di dalam setiap ruang studi kasus melalui bantuan simulasi. Selain itu Chan, & Chow, (2010), mendapatkan bahwa balkon dapat bertindak sebagai *overhang* dan menyediakan naungan matahari dalam menghemat penggunaan listrik dari sistem pendingin udara. Penelitian ini dilakukan pada sebuah bangunan hunian dengan balkon yang berada di ruang tamu, kota Hongkong. Hal yang menjadi evaluasi pada penelitian ini adalah efek orientasi balkon, dan bahan kaca jendela yang digunakan. Hasil temuan diketahui bahwa rumah susun yang menghadap ke berbagai orientasi dapat memberikan penghematan energi karena efek naungan balkon.

Elemen fasad pada rumah susun di Surabaya terus mengalami perkembangan dan perubahan, diantaranya semakin berkurang ketersediaan elemen pelindung fasad seperti tabir surya, serta balkon yang juga berfungsi sebagai pemberi naungan. Selain itu semakin luas area bukaan yang langsung terpapar sinar matahari. Perubahan fasad pada bangunan hunian ini dirasa masih memiliki permasalahan. Desain fasad yang ada hingga saat ini dirasa kurang mampu mengendalikan panas yang masuk ke dalam ruangan. Namun masih jarang penelitian yang membahas mengenai pengaruh perubahan tipikal desain fasad bangunan rumah susun terbaru saat ini, dan dikombinasikan dengan beberapa elemen fasad yang umumnya digunakan pada tipe-tipe rumah susun terdahulu seperti adanya tabir surya dan balkon tepat di depan bukaan, dan juga perbandingan WWR yang berbeda. Selain itu, kaitannya dengan rekomendasi desain fasad yang paling memenuhi indikator kinerja termal ruang seperti temperatur, kecepatan angin, serta kelembapan di dalam ruangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berada di iklim tropis, suhu udara yang panas menjadi salah satu masalah yang dominan, sehingga bangunan difungsikan untuk menjaga penghuninya agar tetap merasa sejuk. Upaya mendinginkan temperatur ruang pada bangunan dengan tetap menghemat penggunaan energi dapat dilakukan dengan strategi pendinginan pasif. Rumah susun yang ada di Surabaya dan Indonesia pada umumnya hanya mengandalkan ventilasi dari bukaan/jendela sebagai pendingin pasif. Namun cara ini ternyata masih belum bisa memberikan kenyamanan termal dan masih menyebabkan kondisi temperatur udara ruang yang dirasa panas. Selain itu, faktor lain yang juga menjadi pengaruh utamanya adalah perkembangan dan perubahan fasad pada rumah susun di Surabaya. Perubahan fasad yang mengakibatkan berkurangnya elemen pelindung seperti tabir surya, ketersediaan balkon yang juga memberikan pembayangan dan naungan, serta bidang tansparan pada bukaan yang semakin terpapar sinar matahari. Hal ini diakibatkan oleh pemenuhan terhadap kebutuhan ruang dan daya tampung unit rumah susun yang menyebabkan fasad tidak banyak menjadi perhatian. Oleh sebab itu, diperlukannya strategi pendinginan pasif lain berupa *solar control* dari elemen fasad bangunan yang meminimalkan perolehan panas langsung pada bidang transparan dan bukaan sehingga mempengaruhi kinerja termal ruangan melalui indikator temperatur udara, kelembapan dan kecepatan angin. Dalam hal pengaturan konfigurasi elemen fasad berupa WWR, tabir surya dan balkon memiliki pengaruh penurunan temperatur udara dan mengoptimalkan penghawaan alami ruang dibandingkan dengan kondisi sebenarnya.

Adapun dari perumusan di atas maka diperoleh pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh dari konfigurasi elemen fasad berupa WWR, tabir surya dan balkon terhadap kinerja termal ruangan rumah susun?
2. Bagaimana konsep desain fasad yang paling optimal terhadap kinerja termal ruangan bangunan rumah susun?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki efektifitas dari strategi pengendalian termal dengan *solar control* yang kaitannya berdasarkan perubahan fasad rumah susun untuk mengetahui kinerja termal dari ruangan pada bangunan rumah susun saat ini, yang dapat dicapai dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengevaluasi konfigurasi elemen fasad berupa WWR, tabir surya dan balkon dalam meningkatkan kinerja termal ruangan rumah susun saat ini.
2. Merumuskan konsep desain fasad yang paling optimal terhadap kinerja termal ruangan bangunan rumah susun.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat teoritis untuk penelitian di bidang arsitektur lingkungan pada bangunan:

   Memperkaya teori mengenai kinerja termal dengan teknik pengendalian termal pasif. Luaran penelitian ini akan difokuskan berkontribusi untuk memperkaya teori desain pasif bangunan. Penelitian diharapkan juga mampu memberikan manfaat tentang pengendalian termal melalui pendinginan pasif dengan strategi *solar control* menggunakan tabir surya, WWR dan balkon yang di tempakan pada area fasad bangunan. Selain itu juga berkontribusi terhadap teori mengenai studi tipologi desain rumah susun *walk-up Flat* yang ada di Surabaya. Sehingga dapat menjadi masukan bagi penelitian-penelitian selanjutnya dan memberi gambaran aplikasi teori yang dipakai.
2. Manfaat praktis untuk kontraktor, konsultan, dan masyarakat:

   Menjadi pertimbangan bagi arsitek atau perancang dalam mendesain bangunan rumah susun yang akan datang maka hasil penelitian ini bermanfaat sebagai referensi dari pengendalian termal dengan strategi *solar control* terhadap kinerja termal dalam ruang.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian dapat terarah dan mencapai tujuan yang diharapkan maka dibuat batasan-batasan penelitian sebagai berikut:

- Penelitian dilakukan pada wilayah dengan iklim tropis lembab dan Surabaya sebagai lokasi penelitian dapat mewakili daerah dengan kondisi iklim tropis lembab secara umum. Selain itu, mempertimbangkan kondisi iklim mikro dan makro bangunan studi kasus.
- Subjek penelitian adalah unit bangunan rumah susun (*walk-up Flat*) 5 lantai dengan ketinggian kurang dari 20 m dari permukaan tanah. Unit rumah susun sebagai studi kasus penelitian berada di lantai 5 dengan posisi unit berada di tepi massa bangunan. Hal ini sejalan dengan fokus penelitian mengenai peran fasad, dengan melihat pengaruh panas dan radiasi matahari dari fasad yang terekspose pada ruang dengan lantai yang lebih tinggi di atas.
- Adapun pada penelitian ini akan fokus membahas mengenai teori pengendalian termal bangunan, pendinginan pasif, dan *solar control*.
- Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan simulasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai karakteristik iklim tropis lembab yang sangat mempengaruhi kondisi termal seperti temperatur udara, kelembapan relatif, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari. Hal lainnya yang akan dibahas mengenai objek penelitian berupa hunian bertingkat (*walk-up flat*) yaitu rumah susun yang nantinya akan diselidiki mengenai pengaruh penggunaan elemen naungan pada fasad terhadap kinerja termal ruangan. Penelitian ini akan menggunakan beberapa teori secara garis besar yaitu teori termal dan kaitannya dengan iklim tropis lembab, teori tentang pengendalian termal melalui pendinginan pasif dengan strategi *Solar Control*. Selain itu membahas mengenai elemen naungan pada fasad, serta teori yang membahas mengenai hunian bertingkat (rumah susun), serta elemen fasad bangunan yang dapat mempengaruhi kondisi termal ruang.

2.1 Fasad Bangunan

Fasad adalah elemen integral dari seluruh bangunan yang berhubungan langsung dengan desain, penggunaan, struktur, dan layanan bangunan. Fasad bangunan juga berpengaruh terhadap penampilan bangunan. Fungsi tambahan dari fasad seperti pemikul beban, kontrol lingkungan aktif atau pasif dan ekspresi kreatif individu. Fasad menjadi elemen kunci ketika melakukan pengamatan bangunan dari eksterior dan dampaknya terhadap interior (Knaack, dkk, 2007).

Selubung bangunan merupakan elemen luar yang menandai antara batas bagian dalam dan luar dari bangunan. Selubung bangunan dapat dianggap sebagai elemen utama yang terdiri dari elemen buram dan transparan. Elemen buram seperti dinding, lantai, atap dan perangkat peneduh. Sementara itu elemen transparan dapat berupa jendela dan skylihgt. Fungsi utama selubung bangunan adalah untuk menyaring lingkungan eksternal sedemikian rupa sehingga mendukung sistem pendinginan pasif, maupun aktif (Hyde. R, 2008). Selubung

bangunan menurut SNI 6389, (2011) dapat berupa elemen dinding maupun atap, yang tembus ataupun yang tidak tembus cahaya, dimana sebagian besar energi panas dapat berpindah melalui elemen tersebut.

Sehingga dapat diketahui bahwa elemen fasad merupakan seluruh bagian terluar bangunan yang berhubungan langsung dengan lingkungan luar, dan berpengaruh pada kondisi di dalam bangunan. Fasad selain memiliki pengaruh terhadap penampilan bangunan, juga memiliki dampak pada lingkungan interior terlebih kaitannya dengan perolehan energi panas bangunan.

2.1.1 Jenis-Jenis Fasad

Bentuk dan fungsi konstruksi dinding fasad erat kaitannya dengan pengaruh lokasi dan iklim, serta perkembangan gaya hunian. Hal inilah yang akan mempengaruhi berbagai macam bentukan fasad bangunan. Berikut adalah beberapa jenis dari fasad bangunan:

A. Konstruksi dinding Solid

Orang yang tinggal di wilayah dengan iklim dingin merancang dinding dengan konstruksi sederhana dan kokoh, dengan tujuan agar dinding yang dibangun tahan dengan kondisi iklim dan isolasi panas. Meskipun konstruksi dan penyelesaian struktur dinding padat seperti itu telah berkembang secara alami sejalan dengan kemajuan teknologi, dinding padat saat ini lebih pada unit struktural dengan sifat tahan beban dan isolasi termal.

Terdapat dua jenis dinding solid yang depat dibedakan menjadi fasad hangat dengan lapisan isolasi yang dipasang langsung di luar atau di dalam konstruksi dinding. Selain itu fasad dingin dengan lapisan isolasi yang dipisahkan oleh lapisan eksternal dan lapisan udara (Herzog. Thomas, dkk, 2004).

B. Konstruksi dinding Ringan

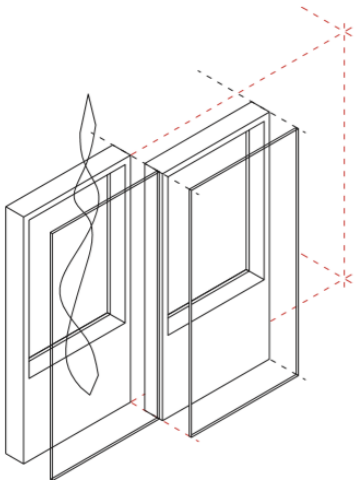
Berada di daerah panas lembab pengaruh kondisi temperatur udara yang hampir sama setiap harinya, serta waktu malam hari yang dibutuhkan untuk mengeluarkan perolehan panas sepanjang hari mempengaruhi konstruksi bangunan yang tidak membutuhkan isolasi panas. Konstruksi bangunan yang dibutuhkan memiliki kapasitas termal material yang rendah, dan konstruksi selubung bangunan yang ringan. Konstruksi dinding dengan isolasi termal tidak

diperlukan, lebih terbantu dengan dinding ringan yang memiliki kualitas reflektif pada bagian luar yang baik (Koenigsberger, dkk, 1973).

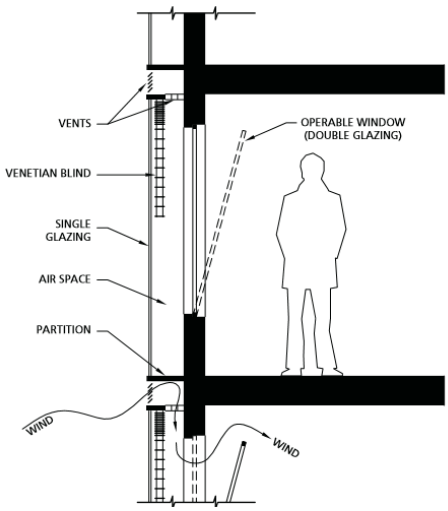
C. Fasad Ganda

Fasad ganda merupakan fasad kedua pada bangunan yang berfungsi sebagai penyaring panas dan kecepatan angin juga digunakan sebagai estetika bangunan. Pada hunian massal seperti halnya rumah susun dan apartemen, bentuk fasad ganda yang dinilai sesuai berbentuk louvre atau jalusi, karena bentuk tersebut mudah didapat dan pembuatan serta biaya perawatan tidak semahal bentuk fasad ganda lainnya (Napitupulu, 2014).

Fasad ganda bisa dihasilkan dari pergeseran berbagai fungsi terkait dengan fungsi interior yang berada di belakangnya. Salah satu manfaat yang dihasilkan oleh fasad ganda yaitu ventilasi yang disediakan oleh isolasi termal antara dua lapisan fasad (Knaack, dkk, 2007).



Gambar 2. 1. Fasad ganda (Knaack, dkk, 2007)



Gambar 2. 2. Fasad kulit ganda (Lechner, 2015)

Selubung bangunan pada hunian berkelanjutan harus dengan kualitas setinggi mungkin. Dalam hal ini tidak sepenuhnya bergantung pada penggunaan material lokal ataupun bahan yang sangat mahal. Sebaliknya melibatkan desain sederhana dan efektif yang merespons lingkungan lokal, termasuk lingkungan termal, pencahayaan, dan akustik serta kondisi spesifik tempat bangunan itu berada. Kondisi khusus ini mencakup bahaya lingkungan, seperti hujan, badai, dan kebakaran.

Tahap pertama yang dapat dilakukan yaitu, memeriksa elemen buram dan transparan sehubungan dengan kondisi lingkungan termal. Derada di lokasi iklim sedang dan panas, elemen-elemen ini sangat defensif, menolak fluks panas dan menciptakan perlindungan dari angin dan hujan. Tahap kedua, memeriksa elemen fenetrasi yang merupakan elemen kompleks karena desain dan posisi kontrol jendela menyediakan berbagai fungsi, mengendalikan fluks panas, cahaya, suara, serta memberikan ventilasi, dan view terhadap lingkungan eksternal (Hyde. R, 2008).

Fasad bangunan yang langsung berhubungan dengan lingkungan luar, sangat kontekstual terhadap lokasi dan iklim. Dalam hal ini mengedepankan fungsi estetika karena fasad merupakan visualisasi pertama dari tampak bangunan, fasad juga difungsikan sebagai barier atau pelindung untuk kondisi dalam ruang. Dinding yang dibuat solid bertujuan untuk isolasi termal di musim panas dan

menahan panas keluar dari dalam ruang di musim dingin. Selain itu fasad juga bisa berupa *double skin*, sebagai pelindung dari radiasi langsung sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan. Sedangkan di daerah dengan iklim yang lebih hangat, secara tradisional dinding lebih memiliki bobot yang ringan dan berpori guna sirkulasi udara dan menghapus panas yang ada di dalam ruang.

2.1.2 Elemen-Elemen Fasad

Komposisi fasad dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan fungsionalnya, terdiri atas jendela, pintu, tabir surya dan bidang atap. Gabungan komposisi fasad tersebut pada dasarnya berkaitan dengan menciptakan harmoni dan proporsi yang baik terhadap penataan vertikal dan horizontal, bahan, warna dan elemen dekoratif bangunan (Krier, 1988).

A. Bukaan

Bukaan pada awalnya dibuat pada dinding untuk memungkinkan asap keluar. Sehubungan dengan itu dalam perkembangannya bukaan diperbesar untuk memaksimalkan cahaya yang masuk ke dalam ruang. Pada era arsitektur Gotik, jumlah pasangan bata padat yang digunakan untuk dinding secara bertahap dikurangi sehingga memungkinkan area kaca yang luas ditempatkan pada bidang dinding, dengan bantuan teknik konstruksi yang baik. Berikut beberapa jenis bukaan yang umumnya telah digunakan pada konstruksi dinding bangunan, yaitu bridging the gap, kaca tunggal, jendela kotak, serta jendela terisolasi (Knaack, dkk, 2007).

B. Ventilasi

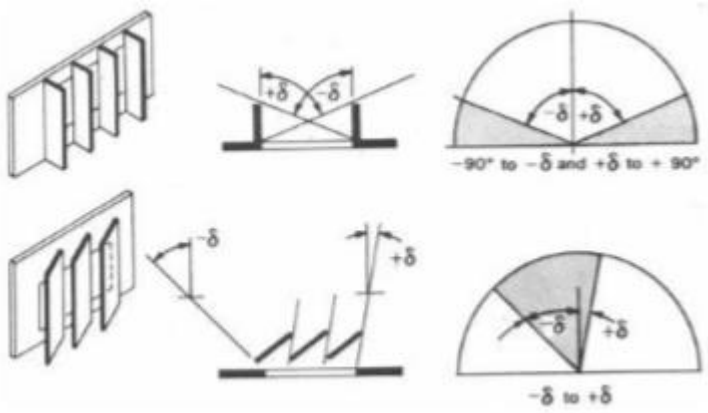
Rongga ventilasi paling efektif yang menghadap bukaan harus sedalam 20 mm dan dilengkapi dengan saluran inlet dan outlet berukuran setidaknya 50 cm2 per 1 m panjang fasad. Pada dasarnya hal ini memungkinkan kelembaban (air limpasan fasad dan/atau kondensasi) dan panas (kinerja termal musim panas) dapat dibuang secara efisien. Lapisan udara stasioner (tanpa ventilasi) bertindak sebagai isolasi termal tambahan.

C. Shading devices

Perangkat pelindung matahari paling efektif ketika dipasang di luar untuk mengurangi perolehan energi dengan lapisan yang dapat menyerap radiasi.

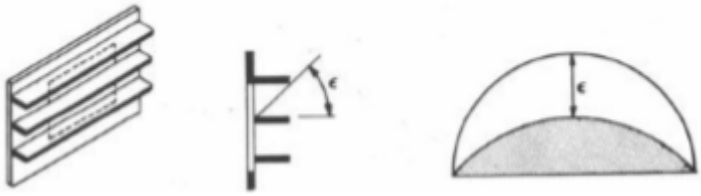
Perangkat internal yang sering digunakan yaitu tirai dan gorden. Dalam hal ini yang lebih menjadi pertimbangan adalah perangkat eksternal. *Shading device* dapat dilihat dari tiga tipe dasar yaitu, perangkat vertikal, perangkat horizontal, dan perangkat *Egg-crate*.

Perangkat vertikal terdiri dari bilah kisi-kisi atau sirip yang diproyeksikan dalam posisi vertikal. Sudut bayangan horizontal (δ) digunakan untuk mengukur kinerja perangkat tersebut. Bilah sempit dengan jarak dekat dapat memberikan sudut bayangan yang sama dengan bilah yang lebih luas dengan jarak yang lebih luas (Koenigsberger, 1973).



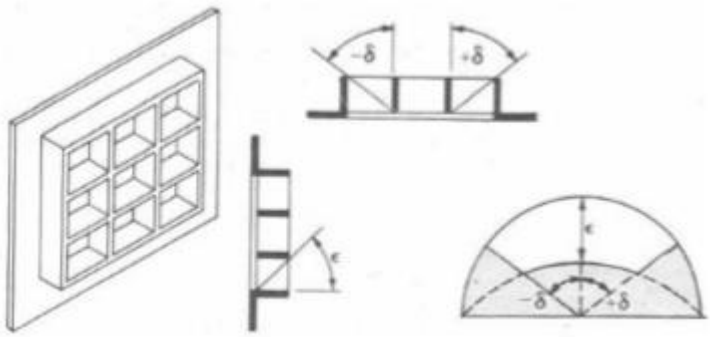
Gambar 2.3. Perangkat naungan vertikal (Koenigsberger, 1973)

Perangkat horisontal dapat berupa kanopi, bilah kisi-kisi horizontal atau tirai Venesian yang diaplikasikan secara eksternal. Kinerjanya akan diukur dengan sudut bayangan vertikal (ε). Perangkat ini paling efektif ketika matahari berlawanan dengan fasad bangunan dipertimbangkan dan pada sudut yang tinggi, seperti untuk dinding menghadap Utara dan Selatan. Namun pengecualian untuk matahari dengan sudut rendah, perangkat jenis ini harus menutupi jendela sepenuhnya, sehingga hanya memungkinkan pandangan ke bawah.



Gambar 2.4. Perangkat naungan horizontal (Koenigsberger, 1973)

Perangkat *Egg-crate* adalah kombinasi elemen horisontal dan vertikal dapat dilihat pada Gambar 2.5. Banyak jenis balok-balok dan layar dekoratif mungkin termasuk dalam kategori ini. Perangkat ini dapat efektif untuk orientasi apa pun tergantung pada dimensi dan detail.



Gambar 2.5. Perangkat naungan *egg-crate* (Koenigsberger, 1973)

D. Balkon

Balkon dapat memberikan kesan melangkah keluar dari fasad maupun bangunan meskipun masih berada di dalamnya, serta memperbesar area fasad hunian (Krier, 1988). Balkon dapat memberikan naungan dari sinar matahari ke dalam bangunan, terlebih pada jendela yang berada pada area tersebut dan jendela yang berada pada lantai di bawahnya. Pada jendela yang mengalami pembesaran luasan, balkon dapat meningkatkan aliran udara melalui ventilasi alami. Selain itu, penggunaan balkon pada hunian bertingkat dapat mengurangi kebisingan eksterior meskipun tanpa bantuan barier tertentu (Chan & Chow, 2010).

Elemen fasad memegang peran yang penting dalam menentukan kondisi lingkungan internal bangunan. Perolehan panas dari luar ke dalam bangunan juga dipengaruhi oleh luasan jendela pada elemen fasad. Oleh sebab itu, untuk mengatasi perolehan panas dari radiasi matahari berlebih yang masuk melalui jendela, tanpa mengurangi kebutuhan pendangan ke luar dapat memanfaatkan fungsi perangkat tabir surya. Sirkulasi udara yang baik melalui bukaan sangat diperlukan dalam proses pergantian udara dalam ruang. Guna mencapai kenyamanan di dalam ruang, sinergi antara sirkulasi udara melalui bukaan dan ventilasi, luasan bidang bukaan, perangkat tabir surya, dan naungan dari balkon sangat diperlukan pada kasus-kasus tertentu. Pemanfaatan elemen-elemen ini

ditujukan agar sirkulasi udara yang baik dapat menghapuskan panas konveksi, serta masih memaksimalkan perolehan cahaya yang masuk ke dalam ruang.

2.2 Hunian Bertingkat (Rumah Susun)

Rumah susun merupakan bangunan gedung bertingkat yang dibangun dalam suatu lingkungan yang terbagi dalam bagian-bagian yang distrukturkan secara fungsional, baik dalam arah horizontal maupun vertikal dan berbentuk unit-unit yang masing-masing dapat dimiliki dan digunakan secara terpisah, terutama untuk tempat hunian yang dilengkapi dengan bagian bersama, fasilitas bersama, dan tanah bersama (UU NO: 20 TAHUN 2011, tentang Rumah Susun).

Rumah susun merupakan suatu bangunan yang terdiri atas unit-unit rumah tinggal yang terpisah-pisah dan biasanya dilengkapi dengan fasilitas bersama untuk digunakan secara bersama-sama. Bagian bersama dari bangunan tersebut berupa benda bersama dan tanah bersama, yang dikarenakan sifat dan fungsinya harus digunakan dan dinikmati bersama dan tidak dapat dimiliki secara perorangan (Tobing & Agustinus, 2012). Berdasarkan sirkulasinya, tipologi rumah susun dapat dibedakan atas:

1. Berdasarkan Pencapaian Vertikal

Berdasarkan pencapaian vertikal, maka rumah susun terbagi atas :

- *Walk-Up* merupakan sistem Pencapaian vertikal dengan menggunakan tangga.

Gambar 2. 6. Rumah susun dengan sistem *walk-up* (Tobing, & Agustinus, 2012)

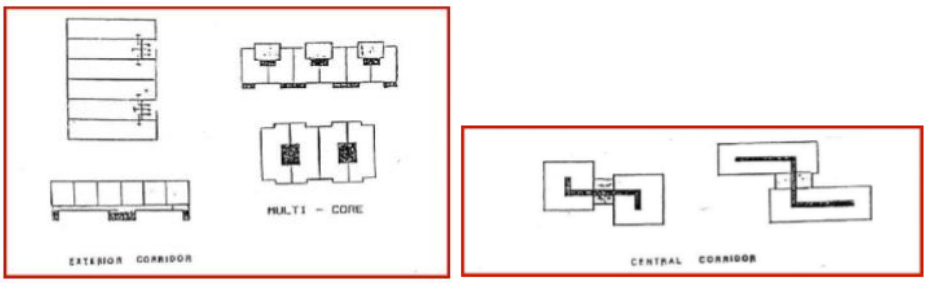
- *Elevated* merupakan sistem pencapaian dengan menggunakan lift, biasanya untuk rumah susun dengan ketinggian lebih dari 4 lantai.

Gambar 2. 7. Rumah susun dengan sistem *elevated* (Tobing, & Agustinus, 2012)

2. Berdasarkan Sistem Distribusi

Berdasarkan sistem distribusi, atau sirkulasinya rumah susun dapat dibedakan menjadi:

- *Central corridor system (double loaded corridor)*. Merupakan sistem dengan bentuk unit-unit yang berjajar di kedua sisi sehingga membentuk koridor ditengahnya.
- *Exterior corridor system (single loaded corridor)*. Bentuk sistem ini terdiri dari unit-unit yang berjajar hanya pada salah satu sisi saja sehingga dapat menikmati pemandangan dengan lebih leluasa.
- *Multicore system* merupakan tipe kondominium yang terdiri dari banyak core. Kelebihan tipe ini adalah koridor tidak terlalu panjang dan dapat memperoleh view, pencahayaan, penghawaan yang cukup.



Gambar 2. 8. *Single loaded corridor* dan *multicore system* (gambar kiri), *double loaded corridor* (gambar kanan) (Tobing, & Agustinus, 2012)

- *Point block system* mirip dengan tipe *central corridor system*, namun pada tipe ini koridor lebih pendek dan memusat. Bentuk massa biasanya bujur sangkar, dengan core terpusat serta unit-unit disekelilingnya yang bisa menghadap ke empat arah.

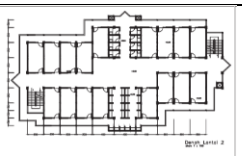
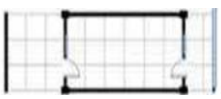
Gambar 2. 9. *Point block system* (Tobing, & Agustinus, 2012).

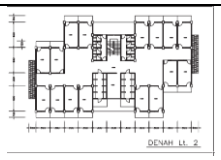
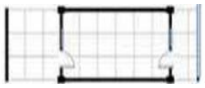
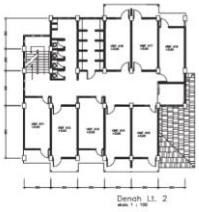
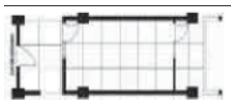
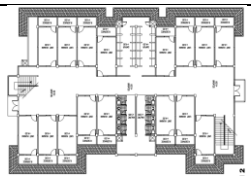
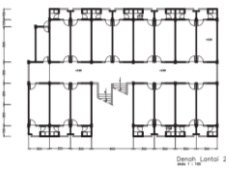
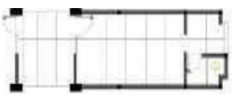
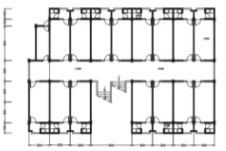
A. Tipologi Rumah Susun di Surabaya

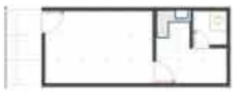
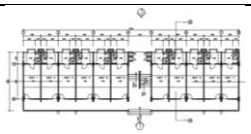
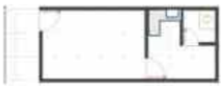
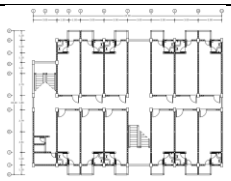
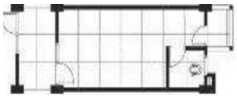
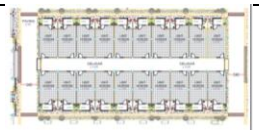
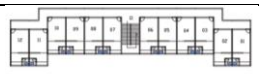
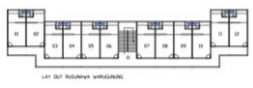
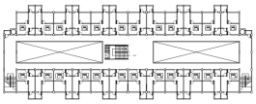
Sesuai konteks penelitian yaitu rumah susun yang ada di Surabaya, sehingga akan dijelaskan beberapa karakteristik dari rumah susun tersebut. Tipologi desain rumah susun yang ada di Surabaya telah dibahas dalam penelitian terdahulu oleh Kisnarini (2015), sebanyak 14 rumah susun. Selain itu berdasarkan Peraturan Walikota Surabaya Nomor 12 Tahun 2018 mendata terdapat 12 rumah susun dibawah ruang lingkup kebijakan pemerintah kota Surabaya.

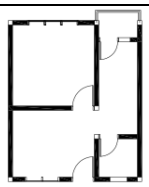
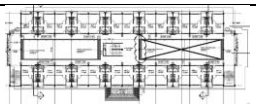
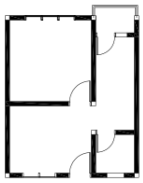
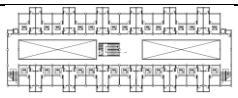
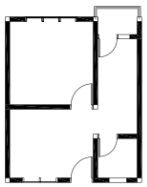
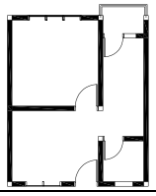
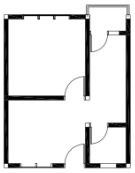
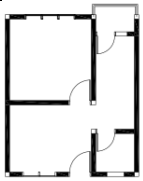
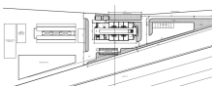
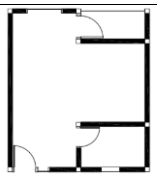
Penjelasan karakteristik dari situasi rumah susun sewa yang ada di Surabaya disajikan dalam tabel 2.1. berdasarkan berbagai data rumah susun yang ada, diantaranya dirancang dengan bentuk *double loaded*, *single loaded*, dan sisanya dalam bentuk *twin blocks*. Adapun dalam studi tipologi ini, berdasarkan pola lantai dan bentukannya rumah susun yang ada dikelompokkan menjadi 4 kelompok yaitu, tipe dengan balkon di depan, balkon di samping menjorok ke depan, balkon di samping, dan tanpa balkon. Berikut gambaran deskripsinya:

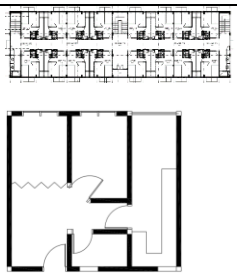
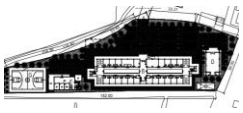
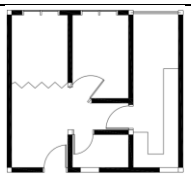
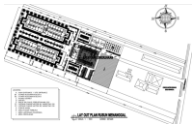
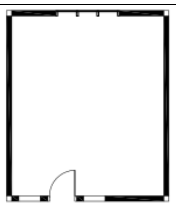
Tabel 2. 1: Gambaran Blok Rumah Susun di Surabayabaran Blok Rumah Susun di Surabaya

No	Tipe	Nama Rusun & Site Plan	Tampilan Fasad	Denah Bangunan
1	Balkon di Depan	Sombo & Simolawang		 

				 
		Dupak		 
		Penjaringansari 1 & 2		
				 
		Wonorejo		

		Tanah Merah 1 		 
		Urip Sumoharjo 		 
		Randu 		 
		Gunung Sari 		
		Waru Gunung 		 
2	Balkon di Samping Menjorok ke Depan	Penjaringansari 3 		

				
		Tanah Merah 2		 
		Grudo		 
		Jambangan		
		Pesapen		
		Siwalankerto 1		
3	Balkon di Samping	Siwalankerto 2 		

		Keputih		
4	Tanpa Balkon	Tambak Wedi 		
		Dukuh Menanggal 		

Sumber: Gambar layuot (Kisnarini (2015); Dinas Perumahan Rakyat Kawasan Permukiman Cipta Karya dan Tata Ruang).

Tabel 2. 2: Karakteristik Bangunan Rumah Susun di Surabaya

No	Nama Rusun	Lokasi dan Luasan	Jumlah Unit	Deskripsi Unit
1	Sombo	Kelurahan Simolawang, Kecamatan Simokerto dengan luas 25.000 m2. 10 blok tipe double loaded, dengan total unit 618 buah.	Tiap blok terdiri dari 4 lantai, 17 unit per lantai, 68 unit per blok	Ukuran unit 18 m2, dengan 6x12 m2 Hall di tengah. Area servis bersama, dan memiliki balkon *outdoor*.
2	Simo-lawang		Tiap blok terdiri dari 4 lantai, 16 unit per lantai, 64 unit per blok	Ukuran unit 18 m2, dengan 2(9x6) m2 Hall di ujung dan terpisah. Area servis bersama, dan memiliki balkon *outdoor*.
3	Dupak	Kelurahan Dupak Kecamatan Krembangan dengan luas 3000 m2. 6 blok tipe double loaded	Tiap blok terdiri dari 3 lantai, 8 unit per lantai, 25 unit per blok	Ukuran unit 18 m2, dengan 5x6 m2 Hall di tengah. Area servis bersama, dan memiliki balkon *outdoor*.

4	Penja-ringansari 1	Kelurahan Penjariangansari Kecamatan Rungkut dengan luas 9000 m2. 3 blok tipe double loaded	Tiap blok terdiri dari 4 lantai, 19 unit per lantai, 76 unit per blok, dengan total 250 unit.	Ukuran unit 18 m2, dengan 5x12 m2 Hall di tengah. Area servis bersama, dan memiliki balkon *outdoor*.
5	Penja-ringansari 2	Kelurahan Penjariangansari Kecamatan Rungkut dengan luas 9000 m2. 6 blok tipe double loaded	Tiap blok terdiri dari 4 lantai, 15 unit per lantai, 60 unit per blok, dengan total 288 unit.	Ukuran unit 21 m2, dengan 5x6 m2 Hall di tengah. Area servis pribadi, dan memiliki balkon semi *outdoor*.
6	Wonorejo	Kelurahan Wonorejo Kecamatan Rungkut dengan luas 2500 m2. 6 blok tipe double loaded	Tiap blok terdiri dari 4 lantai, 15 unit per lantai, 60 unit per blok, dengan total 288 unit.	Ukuran unit 21 m2, dengan 5x6 m2 Hall di tengah. Area servis pribadi, dan memiliki balkon semi *outdoor*.
7	Randu	Kelurahan Sidotopo, Kecamatan Kenjeran dengan luas 6800 m2. 6 blok tipe double loaded	Tiap blok terdiri dari 5 lantai, 12 unit per lantai, 48 unit per blok, dengan total 288 unit.	Ukuran unit 21 m2, dengan 8x4 m2 Hall di tengah. Area servis pribadi, dan memiliki balkon *outdoor*.
8	Gunung Sari	Kelurahan Gunung sari, Kecamatan Wonocolo, dengan luas 6799 m2. 3 blok tipe double loaded	Tiap blok terdiri dari 5 lantai, 20 unit per lantai, 80 unit per blok, dengan total 268 unit.	Area servis pribadi, dan memiliki balkon indoor.
9	Waru Gunung	Kelurahan Waru Gunung Kecamatan Karang Pilang dengan luas 29.845 m2. 10 blok tipe single loaded	Tiap blok terdiri dari 5 lantai, 12 unit per lantai, 60 unit per blok, dengan total 480 unit.	Ukuran unit 21 m2, tidak ada Hall. Area servis pribadi, dan memiliki balkon indoor.
10	Urip Sumoharjo	Kelurahan Tegalsari Kecamatan Tegalsari dengan luas 3500 m2. 4 blok tipe single loaded	Tiap blok terdiri dari 4 lantai, 11 unit per lantai, 33 unit per blok, dengan total 120 unit.	Ukuran unit 21 m2, dengan 5x6 m2 Hall di tengah. Area servis pribadi, dan memiliki balkon semi indoor.
11	Tanah Merah	Kelurahan Kedinding Kecamatan Kenjeran dengan luas 6000 m2. 2x2 blok tipe single	Tiap blok terdiri dari 5 lantai, 12 unit per lantai, 60 unit per blok, dengan total 192 unit.	Ukuran unit 21 m2, dengan 12x4 m2 galeri. Area servis pribadi, dan memiliki balkon indoor.

		loaded		
12	Penja-ringansari 3	Kelurahan Penjaringansari Kecamatan Rungkut dengan luas 6000 m2. 1 blok twin	Tiap blok terdiri dari 5 lantai, 24 unit per lantai, dengan total 96 unit.	Ukuran unit 24 m2, dengan 3(8x4) m2 Hall terpisah. Area servis pribadi, dan memiliki balkon *outdoor*.

Sumber: Kisnarini (2015).

Dari tipologi yang sudah dibahas oleh Kisnarini (2015), kebanyakan rumah susun yang ada di Surabaya dirancang dengan tipe *double loaded* sehingga bukaan pada fasad bangunan hanya didapat dari satu sisi saja. Permasalahan yang sering dijumpai pada tipikal fasad pada rumah susun saat ini adalah penggunaan bidang tranparan yang luas dengan ventilasi yang minim mengakibatkan temperatur udara dalam ruang menjadi panas. Dalam perkembangannya terdapat model rumah susun yang lebih baru dengan tipe *twin block*, dan pada bagian tengah bangunan terdapat void. Namun dalam perkembangannya tipe rumah susun yang ada saat ini masih memiliki kondisi temperatur dalam ruang yang dirasa panas. Kondisi ini disebabkan kurangnya elemen naungan pada fasad, serta luasnya bidang transparan pada bukaan yang terpapar sinar matahari. Hal inilah yang menjadi dasar pertimbangan pada penelitian ini. Tipologi rumah susun di Surabaya dengan tahun pembangunan yang lebih baru, sebagian besar memiliki balkon yang kecil dan berada di samping serta tanpa adanya bukaan.

Desain pasif yang umumnya mengandalkan pendinginan pasif pada rumah susun melalui bukaan dan jendela dapat diintergrasikan dengan strategi solar kontrol. Dengan demikian modifikasi elemen fasad untuk mengatur konfigurasi WWR, *shading device* dan balkon dalam meningkatkan kinerja termal ruang dalam. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kenyamanan termal di dalam bangunan yang murah, maka desain bangunan harus mempunyai keseimbangan antara panas yang masuk dan panas yang dikeluarkan bangunan (Mufidah, dkk, 2016).

2.3 Lingkungan dan Kinerja Termal

Menurut Szokolay (2004) termodinamika adalah ilmu tentang aliran panas dan hubungannya dengan kerja mekanik. Hukum termodinamika yang

pertama adalah prinsip konservasi energi. Energi tidak dapat dibuat atau dihancurkan (kecuali dalam proses subatomik), tetapi dapat dikonversi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa transfer panas (atau energi) dapat terjadi secara spontan hanya pada satu arah: dari suhu yang lebih panas ke yang lebih dingin, atau dari tekanan lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah.

Kemampuan bangunan dalam memberikan respon terhadap lingkungan termal berkaitan dengan performa elemen-elemen pembantuknya. Performa ini berupa desain bentuk, material, susunan ruang, dan teknologi konstruksi, serta orientasi. Menurut Evans (1980), keberhasilan bangunan dalam merespon lingkungan termal secara keseluruhan terkait dengan aspek-aspek pembentukan kinerja termal, yaitu antara lain desain atap, plafond, lantai , serta *building envelopes* (dinding luar), pencahayaan melalui jendela/bukaan dan ventilasi (Dalam Mahardhika, 2014).

Menurut Satwiko (2009), proses pendinginan udara adalah proses pengurangan kalor yang terkandung dalam udara, yang dikenal dengan istilah:

1. Panas Laten (*Latent heat*), panas yang menyebabkan perubahan fase. Panas yang bila dikurangkan atau ditambahkan akan menyebabkan suatu zat berubah fase, tanpa berubah suhunya.
2. Panas Sensibel (*Sensible heat*), panas yang menyebabkan perubahan suhu. Panas yang bila dikurangkan atau ditambahkan akan menyebabkan suatu zat mengalami perubahan suhu tanpa mengalami perubahan fase.

Untuk menciptakan kenyamanan termal, tidak hanya mekanisme pembuangan panas dari tubuh manusia yang menjadi faktor paling berpengaruh. Kondisi lingkungan juga berpengaruh dalam proses perpindahan panas. Dalam hal ini kondisi lingkungan tersebut terdiri dari temperatur udara, kelembapan, pergerakan udara, dan temperatur radiasi (Parsons, 2002). Berikut merupakan parameter kondisi lingkungan termal yang dijelaskan pada poin-poin di bawah ini:

2.3.1 Temperatur Udara

Temperatur udara dapat diartikan sebagai suhu udara di sekitar tubuh manusia yang mewakili kondisi lingkungannya dan mempengaruhi aliran panas

antara tubuh manusia dan udara (Parsons, 2002). Sedangkan menurut Lechner (2015), temperatur udara akan menentukan tingkat kehilangan panas ke udara, yang sebagian besar terjadi karena proses konveksi.

Temperatur udara dapat dianggap sebagai perwujudan dari kondisi termal tubuh. Jika energi panas mengenai tubuh, maka gerakan molekul dalam tubuh akan meningkat dan tubuh merasakan sensasi hangat. Namun jika perpindahan molekuk panas dari tubuh menyebar ke benda lain misalnya berpindah ke udara, intensitanya di dalam tubuh menjadi berkurang, sehingga tubuh merasakan sensasi dingin. Suhu dapat diukur dengan skala Celcius. Hal ini dilakukan dengan mengambil titik beku dan titik didih air (pada tekanan atmosfer normal) sebagai titik tetap dan membagi interval menjadi 100 derajat (Koenigsberger, dkk, 1973).

2.3.2 Perpindahan Panas

Menurut Szokolay (2004), ketika aliran air mengalir dari posisi yang lebih tinggi ke posisi yang lebih rendah, maka panas mengalir dari zona suhu yang lebih tinggi (atau tubuh) ke suhu yang lebih rendah. Arus panas seperti itu dapat terjadi dalam tiga bentuk:

1. konduksi di dalam tubuh atau tubuh yang bersentuhan, dengan penyebaran gerakan molekuler. Konduksi juga tergantung pada properti dari bahan yang dikenal sebagai konduktivitas (λ), diukur sebagai kepadatan aliran panas (W / m2) dalam tubuh setebal 1-m (yaitu panjang jalur aliran panas adalah 1m), dengan satu derajat perbedaan suhu, dalam satuan Wm / m2K = W / mK

Bahan dengan konduktivitas rendah disebut sebagai bahan isolasi. Material ini memiliki struktur serat atau berpori dan sangat sensitif terhadap kadar air. Jika pori-pori diisi dengan air, konduktivitas akan meningkat secara cepat. Berikut merupakan perhitungan untuk perpindahan panas secara konduksi:

$$Q=A\times U\times \Delta T \qquad (2.1)$$

2. Konveksi merupakan perpindahan molekul dari benda padat ke cairan (cair atau gas) atau sebaliknya dalam arti yang lebih luas juga digunakan untuk mengartikan perpindahan panas dari satu permukaan ke permukaan lain oleh cairan bergerak, atau dikenal sebagai transfer massa. Besarnya aliran panas konveksi tergantung pada (a) bidang kontak (A, m2) antara tubuh dan cairan, (b) perbedaan suhu (Δ T,

dalam K) antara permukaan tubuh dan cairan, (c) koefisien konveksi (hc) yang diukur dalam W / m2K, yang tergantung pada viskositas fluida dan kecepatan alirannya serta pada konfigurasi fisik yang akan menentukan apakah aliran adalah laminer atau turbulen. Berikut perhitungan perpindahan panas secara konveksi:

$$Qv = A \times hc \times \Delta T \quad (2.2)$$

3. Radiasi merupakan pancaran panas yang dapat berasal dari permukaan yang lebih hangat ke yang lebih dingin. Radiasi termal adalah gelombang panjang radiasi elektromagnetik biasanya berada antara 700nm –10000nm (10μm); inframerah pendek direntang 700–2300nm (2.3μm); dan inframerah panjang direntang 2.3–10μm (beberapa penulis menggunakan 70μm sebagai batas). Suhu tubuh memancarkan serta menentukan panjang gelombang. Matahari dengan permukaan 6000 C-nya memancarkan radiasi inframerah pendek (cahaya tampak dan ultraviolet), demikian perbukaan benda pada suhu terestrial (<100◦C) dapat memancarkan radiasi inframerah panjang (Szkolay, 2004). Perhitungan untuk perpindahan panas secara radiasi dapat menggunakan perhitungan dibawah ini:

$$Qs = A \times G \times \alpha \quad (2.3)$$

Perpindahan panas yang terjadi dalam bangunan dapat berasal dari berbagai sumber serta cara perpindahannya yang berbeda-beda. Sumber panas dalam bangunan dapat berasal dari panas okupansi, peralatan elektronik serta panas dari sinar matahari. Perpindahan dari okupansi dan perlengkapan ke lingkungan berupa konveksi, sedangkang panas yang berasal dari beban panas yang dilepaskan oleh material bangunan bersifat konduksi. Adapun panas radiasi masuk ke dalam bangunan dapat berasal dari radiasi sinar matahari yang masuk melalui bidang transparan.

2.3.3 Kelembapan

Kelembapan dapat diukur dengan *psychrometer wet-and-bulb (whirling)* atau *psychrometer aspirated*. Alat pengukuran ini akan menunjukkan nilai suhu bohlam basah (WBT) dan suhu bohlam kering (DBT). Perbedaan DBT − WBT disebut sebagai *wet bulb depression* dan merupakan indikasi kelembapan. Dalam hal ini jika kelembapan rendah terjadi penguapan yang kuat, pendinginan yang kuat dan depresi bola basah yang besar. Sementara itu humidifikasi, yaitu

penguapan uap air ke dalam volume udara yang bersifat adiabatik, jika tidak ada panas yang ditambahkan atau dihilangkan. Penyebabnya adalah penurunan suhu (DBT) tetapi peningkatan kelembapan (baik AH maupun RH) (Szokolay, 2004).

Kelembaban udara dapat digambarkan sebagai kelembaban absolut (AH), yaitu jumlah kelembaban yang sebenarnya dalam satuan massa atau satuan volume udara, dalam gram per kilogram (g /kg) atau gram per meter kubik (g /m3). Namun kelembapan relatif (RH) adalah bentuk ekspresi yang jauh lebih bermanfaat, karena memberikan indikasi langsung potensi penguapan. Jumlah uap air yang dapat ditahan (titik jenuh kelembaban: SH) bergantung pada suhunya. Kelembapan relatif (RH) adalah rasio dari jumlah aktual kelembapan yang ada, dengan jumlah kelembapan yang bisa ditahan udara pada suhu tertentu, dan biasanya dinyatakan sebagai persentase (Koenigdberger, dkk, 1973). Berikut perhitungan mengenai kelembapan relatif:

$$\text{RH} = \frac{AH}{SH} \text{ x } 100 \text{ (\%)} \qquad (2.4)$$

Jika suatu cairan, misalnya air atau keringat dipanaskan oleh tubuh lalu menguap menjadi uap dan diserap lingkungan sekitarnya, maka panas telah dipindahkan dari tubuh ke lingkungan sehingga tubuh merasa sensasi dingin. Kekuatan pendorong untuk proses transfer dalam penguapan ini adalah perbedaan dalam massa per satuan volume udara lembab. Dalam hal ini berupa perbedaan pada kelembapan absolut (konsentrasi massa atau densitas uap air) antara permukaan kulit dan lingkungan. Selanjutnya untuk mencapai kenyamanan, kekuatan pendorong kehilangan panas dianggap sebagai perbedaan tekanan uap parsial antara kulit dan lingkungan. Kelembapan absolut (dalam kg/m3), tekanan uap parsial (Pa dalam kPa) dan suhu T (dalam K) (Parsons, 2002). Berikut perhitungan untuk kelembapan mutlak:

$$\text{kelembaban Mutlak} : 2{,}17 \frac{Pa}{T} \qquad (2.5)$$

Kelembapan lingkungan merupakan suatu parameter dasar. Dapat digambarkan sebagai kelembapan relatif dan tekanan uap parsial.

1. Kelembapan relatif (sering diberikan sebagai persentase) adalah rasio tekanan parsial uap air yang berlaku dengan tekanan uap air jenuh.

2. Tekanan uap parsial Pa (N/ m2) adalah tekanan parsial uap air yang ada di udara. Parameter dasarnya merupakan kelembapan di lingkungan sekitar tubuh, yang mewakili kekuatan pendorong untuk kehilangan panas oleh uap atau transfer massa. Tekanan uap parsial dalam udara jenuh akan tergantung pada suhu udara: semakin tinggi suhu udara, semakin banyak uap yang dapat ditahan udara sehingga semakin besar tekanan uap parsial (Parsons, 2002).

2.3.4 Pegerakan Udara

Gerakan udara memengaruhi tingkat kehilangan panas oleh konveksi dan penguapan. Akibatnya, kecepatan udara memiliki efek yang sangat nyata pada kehilangan panas. Kisaran nyaman adalah dari sekitar 20-60 kaki/menit (fpm) (0,1 hingga 0,3 m/s). Pada kondisi sekitar 60-200 fpm (0,3 hingga 1 m/s), faktor angin sama dengan suhu udara, yang akan memiliki efek pendinginan yang sama pada manusia seperti halnya efek gabungan dari suhu aktual dan kecepatan angin (Lechner, 2015).

Gerakan udara di seluruh tubuh dapat mempengaruhi aliran panas ke dan dari tubuh, sehingga mempengaruhi suhu tubuh. Pergerakan udara akan bervariasi terhadap waktu, ruang dan arah. Berkaitan dengan kenyamanan, kecepatan udara dapat dianggap sebagai intensitas kecepatan udara rata-rata selama waktu pemaparan yang berpengaruh dan terintegrasi oleh segala arah (Parsons, 2002).

Kecepatang angin juga dipengaruhi oleh karakteristik tempat serta bentukan topografi yang berhubungan dengan kekasaran permukaan (*terrain roughness*). Gambaran kekasaran permukaan dapat dilihat berdasarkan standar kekasaran yang mengacu pada parameter yang ada serta kaitannya terhadap kecepatan angin dan distribusi udara ke dalam bangunan. Variasi dari kecepatan angin dapat dipengaruhi juga oleh *boundary layer*, maupun permukaan dan objek penyusunnya. *Boundary layer* dapat dikasifikasikan terhadap beberapa ketinggian tanpa hambatan yang bebeda, berdasarkan penggolongan wilayahnya seperti *open country* dan ketinggian maksimal yang 500m yang berada pada area *urban* (Szokolay, 2004). Berikut perhitungan kecepatan angin tertentu dengan menggunakan persamaan *power low*:

$$Vz = Vg\ (Z/Zg)^{\alpha} \qquad (2.5)$$

Dimana:

Vz = Rata-rata kecepatan angin pada ketinggian Z

Vg = kecepatan rata-rata angin pada ketinggian

α = Eksponen berdasarkan kekasaran permukaan (*terrain roughness)*

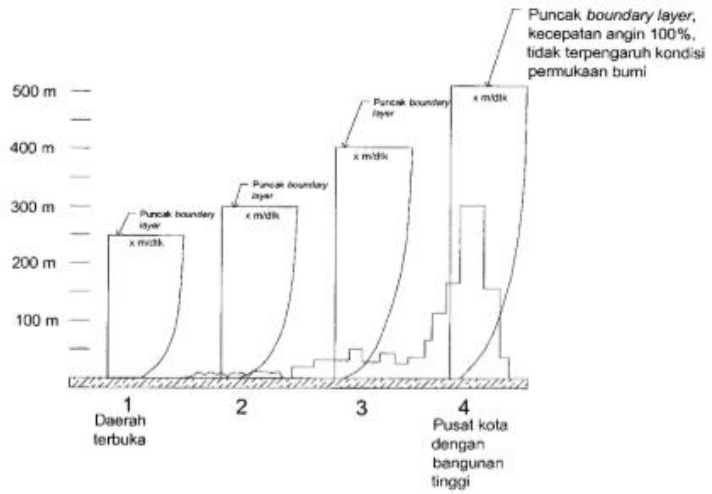
Adapun kategori *boundary layer* ditunjukkan oleh Ansley, (1977) dalam tabel 2.3 berikut:

Tabel 2. 3: *Boundary layer*

Kategori Permukaan Tanah	Deskripsi Permukaan Tanah	Ketinggian *Boundary Layer*, m	Eksponen Kecepatan Angin Rata-rata, (α)
1	*Open sea*	250	0,11
2	*Open Country*	300	0,15
3	*Suburban*	400	0,25
4	*City Centre*	500	0,36

Sumber : Ansley, (1977)

Kecepatan angin pada lokasi tertentu digunakan untuk memperkirakan perbedaan tekanan di sekitar bangunan sehingga dapat digunakan untuk menghitung debit ventilasi (*airflow rate*). Tipe kekasaran permukaan dapat dibedakan atas tingkat kepadatan bangunan yang ada pada masing-masing lokasi. Oleh sebab itu semakin tinggi tingkat kepadatan bangunan yang ada disuatu lokasi tertentu, maka kecepatan angin yang dibutuhkan semakin tinggi pula dalam hal ini kondisi angin 100% seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10. Lapisan batas di kondisi permukaan bumi yang berbeda (Satwiko, 2009)

Pergerakan udara sangat dipengaruhi oleh lokasi dan objek bangunan sekitarnya. Kekasaran permukaan suatu lokasi yang memilki kepadatan cukup tinggi dapat menghambat dan mengurangi laju pergerakan angin. Selain itu ketinggian bangunan dapat mempengaruhi kecepatan angin yang masuk ke dalam bangunan.

2.3.5 Suhu Radiasi

Radiasi termal adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang meliputi sinar-x (gelombang pendek), cahaya dan gelombang radio (gelombang panjang). Pada titik mana pun di bidang radiasi akan ada pertukaran energi (panas) oleh radiasi. Suhu radiasi biasanya digunakan untuk menyatakan pertukaran panas radiasi antara tubuh manusia dan lingkungan. Terdapat suhu rata-rata radiasi, yang memberikan nilai rata-rata keseluruhan, dan suhu radiasi bidang, yang memberikan informasi mengenai arah pertukaran radiasi (dan jika diukur dalam arah yang berbeda dapat memberikan variasi arah tentang suhu rata-rata radiasi) (Parsons, 2002).

Menurut Parsons (2002), suhu rata-rata radiasi didefinisikan sebagai suhu selungkup seragam yang permukaan ujinya memiliki pertukaran radiasi yang sama seperti halnya dengan lingkungan nyata. Dalam hal ini akan tergantung pada orientasi objek di sekitarnya. Selain itu menurut Koenigsberger, dkk (1973), suhu rata-rata radiasi dapat diartikan jika semua permukaan dalam suatu lingkungan seragam pada suhu tertentu, yang akan menghasilkan keseimbangan panas radiasi bersih yang sama seperti lingkungan yang diberikan dengan berbagai suhu permukaannya. Ketika MRT sangat berbeda dari suhu udara efeknya harus dipertimbangkan, karena MRT mempengaruhi persepsi seseorang terhadap rasa hangat atau sejuk (Lechner, 2015).

Parameter lingkungan yang sudah dijelaskan sebelumnya memiliki peran penting dalam pembentukan kondisi lingkungan bangunan, serta dapat mempengaruhi kinerja bangunan. Dengan demikian perlu adanya pendekatan terhadap parameter lingkungan tersebut, guna mengetahui karakteristik khusus yang ada pada suatu lokasi tertentu. Hal ini bertujuan memudahkan perancang

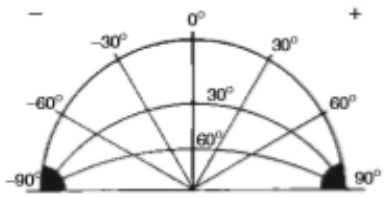
untuk merespon kondisi lingkungan yang ada terhadap desain bangunan yang sesuai.

2.3.6 Perilaku Termal pada Bangunan

Keseimbangan termal ada ketika jumlah dari semua aliran panas, ΔS adalah nol. Jika jumlahnya lebih besar dari nol, suhu di dalam gedung meningkat, atau jika kurang dari nol, bangunan tersebut menjadi dingin. Berikut faktor yang mempengaruhi perilaku termal bangunan:

a. Kontrol Surya

Tugas pertama dalam kontrol surya adalah menentukan kapan radiasi matahari akan menjadi masukan yang diterima (pemanas matahari untuk periode panas) atau ketika harus ditolak (periode yang terlalu panas). Kinerja perangkat bayangan digambarkan oleh *shading mask*, yang dapat dikonstruksi dengan bantuan busur sudut seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Sudut busur derajat (Szokolay, 2004)

Berikut merupakan aspek yang dapat dilakukan pada kontrol surya. **Desain shading** dilakukan untuk mengesampingkan surya adalah tugas geometrical. Perangkat bayangan eksternal merupakan alat yang paling efektif untuk mengendalikan penetrasi matahari. Tiga kategori dasar perangkat desain bayangan dapat dibedakan:

- Perangkat vertikal, misal kisi-kisi vertikal atau ujung-ujung proyeksi.
- Perangkat horizontal, misalnya memproyeksikan atap, kanopi atau tenda horizontal, atau kisi-kisi dan bilah horisontal.
- Perangkat *Egg-crate*, misalnya kisi-kisi beton, maupun kisi-kisi logam.

b. Ventilasi

Istilah ventilasi digunakan untuk tiga proses yang sangat berbeda dan melayani tiga tujuan berbeda:

(1) Sebagai pemasok udara segar, untuk menghilangkan bau, CO2 dan kontaminan lainnya,

(2) Menghapus beberapa panas internal ketika To <Ti,

(3) Mempercepat pembuangan panas dari kulit, yaitu pendinginan fisiologis.

c. Aliran *Steady-state*

Peroleh internal termasuk panas yang dihasilkan di dalam gedung: panas penghuni rumah tangga, peralatan dan penerangan, yang diberikan pada output tubuh manusia (pada berbagai tingkat aktivitas) dan peralatan. Berdasarkan peralatan dan penerangan listrik, tingkat konsumsi total (daya, dalam W) harus diperhitungkan sebagai keluaran panas selama durasi penggunaannya (daya × waktu = energi, W × h = Wh).

Dalam hal keperluan analisis *steady-state*, biasanya mengambil rata-rata tingkat perolehan panas internal harian, yaitu menambahkan semua perolehan pada hari itu (dalam Wh) dan membaginya dengan 24 jam untuk mendapatkan tingkat rata-rata dalam W.

d. Aliran panas konduksi.

- Isolasi berarti kontrol aliran panas, di mana tiga mekanisme yang terjadi dapat dibedakan atas: reflektif, resistif dan kapasitif.
- Jembatan termal yang merupakan multidimensi aliran panas keadaan stabil adalah fenomena yang sering diabaikan.

e. Tanggapan dinamis dari bangunan

Isolasi kapasitif, lapisan material dari kapasitas termal yang tinggi (konstruksi besar) berpengaruh tidak hanya pada besarnya aliran panas, namun juga terhadap waktunya (Szokolay, 2004).

Berdasarkan karakter serta indikator yang telah dipaparkan sebelumnya, kinerja termal dalam ruang pada umumnya dapat dipengaruhi oleh temperatur udara, kelembapan, serta kecepatan angin (Satwiko, 2009). Temperatur udara dijadikan sebagai nilai acuan kondisi panas dalam ruang, kelembapan yang mempengaruhi laju penguapan pada permukaan kulit, serta kecepatan angin yang dapat memberikan efek fisiologis bagi penghuni ruang. Sehingga kinerja termal

yang umumnya diteliti serta dibahas dalam penelitian ini yaitu hanya dari indikator temperatur udara, kelembapan dan kecepatan angin.

2.4 Kenyamanan Termal dan Iklim Tropis Lembab

Menurut Snyder (1979), kenyamanan termal secara langsung berkaitan dengan kemudahan pembuangan panas berlebih dari tubuh manusia. Berdasarkan kondisi normal, transfer panas ini terjadi antara tubuh dan udara sekitar. Tubuh manusai memiliki mekanisme pertahanan alami yang terus bekerja untuk menjaga keseimbangan yang diperlukan antara pembentukan panas dan pembuangan limbah panas. Menurut Szokolay (2004), Suhu dalam tubuh biasanya sekitar 37^{o}C, sementara suhu kulit dapat bervariasi antara 31-34^{o}C.

a. Faktor kenyamanan

Variabel yang mempengaruhi disipasi panas dari tubuh (dan dengan demikian juga kenyamanan termal) dapat dikelompokkan atas tiga kelompok:

- Lingkungan: suhu udara, pergerakan udara, kelembaban, radiasi.
- Individu: metabolisme (aktivitas), pakaian, kondisi kesehatan, aklimatisasi.
- Faktor kontribusi: makanan dan minuman, bentuk tubuh, lemak subkutan, usia dan jenis kelamin.

b. Mekanisme penyesuaian

Tubuh tidak sepenuhnya pasif, melainkan bersifat *homeothermic*, yang memiliki beberapa mekanisme penyesuaian termal. Tingkat pertama adalah penyesuaian vasomotor, yang terdiri dari vasokonstruksi (dalam kondisi yang dingin) akan mengurangi aliran darah ke kulit, mengurangi suhu kulit, serta mengurangi pembuangan panas. Sedangkan vasodilatasi (dalam situasi hangat) akan meningkatkan aliran darah ke kulit, sehingga pengangkutan panas dapat meningkatkan suhu kulit dan mengurangi disipasi panas.

c. Indeks kenyamanan, zona nyaman

Rentang kondisi kenyamanan yang dapat diterima umumnya disebut sebagai zona nyaman. Batas temperatur zona nyaman (untuk 90% penerimaan) dapat diambil relatif terhadap Tn (temperatur netral) yang memenuhi rentang (Tn

− 2.5)^{o}C hingga (Tn + 2.5)^{o}C kondisi nyaman pada zona tersebut (Szokolay, 2004). sehingga dapat diuraikan temperatur udara netral sebagai berikut:

$$Tn = 17{,}6 + (0{,}31 \times To.rata\text{-}rata) \quad (2.6)$$

Pendekatan lainnya yang dapat mengindikasikan kondisi kenyamanan adalah Temperatur Efektif. Skala TE mengintegrasikan efek dari tiga variabel yaitu temperatur udara, kelembapan dan pengaruh dari pergerkan angin. Skala temperatur efektif yang dikoreksi juga mencakup efek radiasi (Koenigsberger, dkk, 1973).

Sehubungan dengan pembahasan sebelunnya, pada kondisi temperatur udara dan kelembapan tertentu maka dibutuhkan kesesuaian terhadap besaran kecepatan angin. Dengan demikian untuk mendapatkan kecepatan angin yang sesuai dengan kebutuhan kondisi elemen iklim lainnya dalam hal ini temperatur udara dan kelembapan, maka direkomendasikanlah perhitungan terhadap kebutuhan kecepatan angin minimum pada kondisi (*wind support comfort*) (Ansley, 1977):

$$WSc = 0{,}15\ (DBT - 27{,}2 + 0{,}56\ (RH\text{-}60)/10) \quad (2.7)$$

dengan:

WSc = kecepatan angin yang dibutuhkan (m/s)

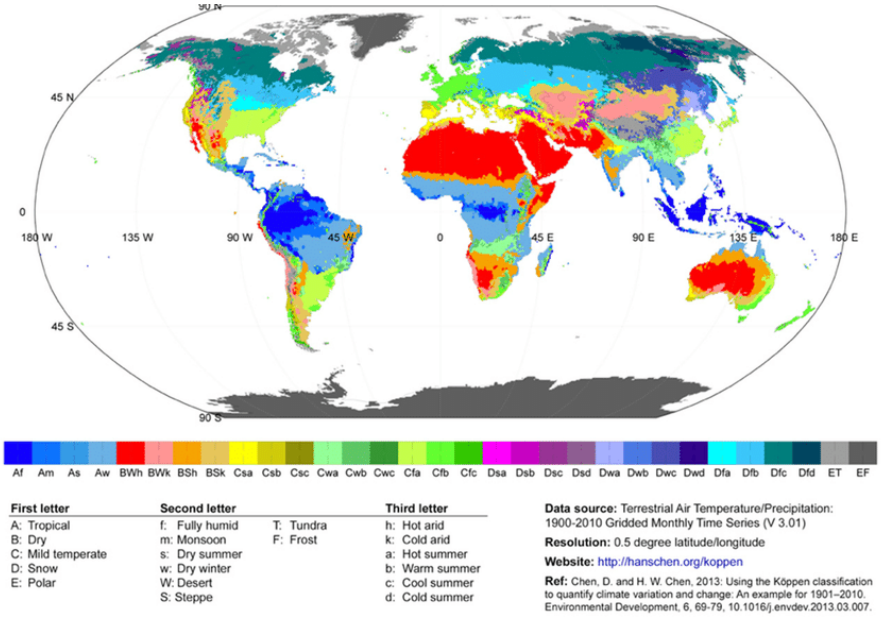
DBT = temperatur rata-rata (^{o}C)

RH = kelembapan udara (%)

Perhitungan diatas dapat digunakan sebagai dasar acuan untuk mengetahui kebutuhan kecepatan minimum pada kondisi tertentu (pada nilai temperatur dan kelembapan relatif tertentu).

2.4.1 Karakteristik Iklim Tropis Lembab di Indonesia

Iklim menurut Koenigsberger, dkk (1973), merupakan suatu integrasi keadaan fisik lingkungan atmosfer, dari karakteristik lokasi geografis tertentu dalam rentang waktu yang panjang. Iklim tropis lembab berada pada ordinat 15° LU- 15° LS. Berdasarkan klasifikasi iklim menurut Koppen, wilayah indonesia termasuk ke dalam iklim tropis.



Gambar 2. 12. klasifikasi iklim menurut Koppen (data didapat dari https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-e33af26a8971e1f9c86ce28b3d1508f3.jpg)

Iklim tropis menurut Koenigsberger, dkk (1973), adalah iklim di mana panas menjadi masalah dominan, dan hampir sepanjang tahun bangunan berfungsi untuk menjaga penghuninya agar sejuk. Suhu rata-rata tahunan tidak kurang dari 20°C. Parameter lingkungan yang dapat mengindikasikan ciri dari iklim tropis yaitu suhu udara, kelembapan, radiasi matahari, pergerakan angin dan hujan. Berikut merupakan penjebarannya:

A. Suhu Udara

Daerah tropis lembab memiliki suhu yang berkisar antara 21^{o}C-33^{o}C, dengan suhu rata-rata adalah 26^{o}C. Suhu rata-rata maksimum pada siang hari bekisar antara 27 dan 32 °C, dan pada malam hari rata-rata minimum bervariasi antara 21 dan 27 ° C. Adapun bulan-bulan dingin di daerah tropis terjadi antara bulan Oktober hingga Februari. Sedangkan bulan-bulan hangat berlangsung antara bulan April hingga Juli.

B. Kelembapan

Kelembapan di daerah tropis lembab memang cukup tinggi. Berkisar antara 55-100%, dengan rata-rata kelembapan yaitu sekitar 75%. Area ini memiliki tekanan uap stabil berkisar antara 2500 hingga 3000 N / m2.

C. Radiasi Matahari

Radiasi matahari sebagian dipantulkan dan sebagian tersebar oleh awan atau kandungan uap atmosfer yang tinggi, sehingga radiasi yang mencapai tanah tetap tersebar, namun cukup kuat dan dapat menyebabkan silau. Radiasi matahari cukup tinggi yaitu berkisar antara 5500-7500 wh/m2.

D. Pergerakan Angin

Kecepatan angin yang terjadi di daerah tropis lembab biasanya rendah. Umumnya yang terjadi merupakan periode angin yang tenang, tetapi angin kencang dapat terjadi selama hujan badai. kecepatan angin berkisar antara 1,5-5 m/s, dan biasanya terdapat satu atau dua arah yang dominan.

E. Curah Hujan

Curah hujan tinggi sepanjang tahun, umumnya menjadi lebih intens selama beberapa bulan berturut-turut. Curah hujan tahunan dapat bervariasi dari 2000 hingga 5000 mm dan dapat melebihi 500 mm dalam satu bulan, yang terjadi pada bulan terbasah. Selama badai parah, hujan dapat turun pada kecepatan 100 mm / jam untuk periode singkat.

2.4.2 Pendekatan Desain Pasif Bangunan pada Iklim Tropis Lembab

Menurut Koenigsberger, dkk (1973), karakteristik yang paling menonjol dari iklim ini adalah kondisi yang panas dan kelembapan yang terus ada. Suhu udara cukup tinggi, antara 21-32°C, dengan sedikit perbedaan suhu antara siang dan malam. Salah satu kenyamanan dapat dicapai dengan mendorong angin masuk tidak hanya melalui bangunan, tetapi juga dapat dirasakan pada seluruh permukaan tubuh penghuni.

Pergerakan udara merupakan keuntungan yang tersedia dari iklim tropis, kenyamanan dalam ruangan menjadi suatu yang penting, sehingga bangunan harus terbuka guna mendapatkan angin sepoi-sepoi dan berorientasi untuk menangkap pergerakan udara yang ada. Pada tipe iklim ini bangunan cenderung memiliki bentuk memanjang yang terbuka, dengan satu baris ruangan yang memungkinkan terjadinya ventilasi silang. Bukaan pintu dan jendela dibuat sebesar mungkin, demi memungkinkan udara bebas. Kelompok bangunan juga cenderung tersebar. Dalam hal ini adanya intensitas radiasi yang merupakan

sumber panas cukup signifikan, yang masuk ke dalam bangunan secara berlebihan harus dicegah. Perangkat peneduh dibutuhkan dalam kasus ini, sehingga keterbukaan dan naungan menjadi karakteristik dominan bangunan.

Menurut Hyde (2008), daerah yang iklimnya panas lembab tidak nyaman dan paling sulit dimaksimalkan dengan desain pasif. Pada lokasi daerah ini desain bangunan bertujuan untuk mengurangi suhu internal, memaksimalkan tingkat ventilasi untuk meningkatkan efektivitas penguapan keringat, dan memberikan perlindungan dari matahari, hujan, dan serangga.

2.4.3 *Cooling Degree Days*

Terlepas dari perubahan suhu di lingkungan eksterior, perubahan suhu udara di dalam bangunan menjadi perhatian khusus. Namun, untuk evaluasi kebutuhan energi untuk memelihara lingkungan interior dalam kondisi kenyamanan manusia, perubahan suhu ruangan yang diamati sangat penting. Dalam hal ini penggunaan kuantitas dapat memberikan perhitungan untuk kebutuhan energi banguan. Kuantitas tersebut yaitu hal yang dilakukkan untuk mendinginkan bangunan selama periode hangat, atau biasa disebut derajat pendinginan harian (DD). Pendinginan *degree days* selama sebulan ditetapkan sebagai penjumlahan dari penyimpangan positif dari suhu harian rata-rata nilai dasar, dengan suhu yang ingin dipertahankan konstan di dalam bangunan. Nilai yang ditentukan berdasarkan standar tertentu, biasanya tidak melebihi 25°C.

Evaluasi derajat pemanasan dan pendinginan harian, terutama di wilayah Eropa masih baru, sehingga hasilnya belum banyak diketahui. Dengan demikian dapat merujuk pada studi yang ada berkaitan dengan derajat pendinginan harian Athena (Yunani), ketika marak terjadinya peningkatan pemasangan pendinginan udara (Santamouris, 1996).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Assawamartbunlue. K, (2013), derajat pendinginan harian juga dapat diakumulasikan menjadi data per jam. Dalam hal ini nilai *cooling degree hour* dapat dihitung hanya dengan menjumlahkan perbedaan antara suhu bohlam kering atau temperatur indoor per jam dan temperatur referensi standar (*base temperature*). Pendekatan terhadap indikator *degree hours* bisa menggunakan temperatur netral (Tn) pada suatu

tempat untuk mendapatkan rentang kondisi nyaman pada zona tersebut. Berikut ini adalah persamaan yang dapat digunakan dalam mengakumulasikan perhitungan *cooling degree hours* (Szokolay, 2004):

$$CDH = \sum_{i=1}^{N} (Ti - Tb) \tag{2.8}$$

Dimana

N = Jumalah jam dalam satu hari,

Tb = Temperatur dasar/batas di mana *cooling degree hours* dihitung,

Ti = Rata-rata temperatur udara per jam.

2.5 Pengendalian Termal melalui Desain Pasif

Pendekatan desain pasif mengkaitkan permasalahan iklim yang ada dengan kebutuhan manusia. Terdapat empat dasar strategi desain pasif yaitu, *passive solar heating, mass effect, air movement,* dan *evaporative cooling*. Pada daerah dengan iklim yang memiliki perbedaan suhu cukup besar antara dalam dan luar ruang, diperlukannya strategi pendinginan pasif untuk pengendalian isolasi termal dari selubung bangunan (Szokolay, 2004).

Secara umum bila desain pasif tidak dapat sepenuhnya memberi kenyamanan termal, beberapa sistem mekanik dapat digunakan untuk menambah kinerjanya. Adapun dapat menggunakan alat pemanasan, ventilasi atau pendingin udara (HVAC) (Szokolay, 2004).

2.5.1 Pendinginan Pasif

Dalam kehidupan kita sehari-hari, seseorang akan memiliki pola perilaku dan pengalaman termal yang mencerminkan keadaan pribadinya, budaya dan iklim tempat tinggalnya. Dengan demikian, interaksi antara bangunan dan penghuninya sangat penting untuk pendekatan kenyamanan termal. Kondisi termal ruang yang panas dapat menimbulkan ketidaknyamanan. Desain pasif melalui pendinginan pasif merupakan salah satu cara untuk mencapai kenyamanan termal. Menurut Santamouris (1996), pendinginan pasif terdiri atas ventilasi sebagai pedinginan, *Solar Control, Ground Cooling, Evaporative Cooling* dan *Radiative Cooling*

Kondisi iklim yang memiliki perbedaan temperatur udara cukup besar pada bagian dalam dan luar bangunan, diperlukan desain untuk pendinginan, pemanasan serta isolasi termal dari selubung bangunan. Sebagian wilayah sudah memiliki persyaratan tersendiri untuk isolasi elemen fasad, dinding, atap dan jendela. Hal ini ditetapkan melalui nilai-U maksimum (yang tidak boleh dilampaui) atau nilai-R minimum (Ra-a) yang harus dicapai oleh konstruksi. Jika dilihat berdasarkan nilai-U, titik terlemah dari bangunan adalah jendelanya. Sehingga elemen bukaan dan fasad cukup berperan penting pada desain pasif bangunan. Berikut beberapa strategi pendinginan pasif menurut Szokolay (2004), yaitu *Passive solar heating*, *The mass effect*, Pergerakan Udara dan *Evaporative cooling.*

A. Ventilasi sebagai Pendinginan

Ventilasi alami dapat digunakan untuk memberikan udara segar bagi penghuni, serta diperlukan untuk mempertahankan kualitas udara yang diterima. Disisi lain, bertujuan untuk pendinginan, dengan kondisi iklim yang memungkinkan, dapat berpengaruh langsung pada sensasi kenyamanan termal yang dialami oleh penghuni.

Istilah ventilasi juga digunakan untuk menggambarkan proses yang disebabkan oleh perbedaan tekanan yang dihasilkan secara alami akibat angin dan efek tumpukan. Ventilasi alami dicapai dengan infiltrasi dan atau dengan membiarkan udara mengalir masuk dan keluar bangunan dengan membuka jendela dan pintu. Infiltrasi sendiri digunakan untuk menggambarkan aliran acak udara luar yang masuk melalui celah pada selubung bangunan. Dengan adanya celah dan berbagai bukaan yang tidak disengaja, dapat mempengaruhi distribusi serta potensinya terhadap infiltrasi udara (Santamouris, 1996).

B. Solar Control

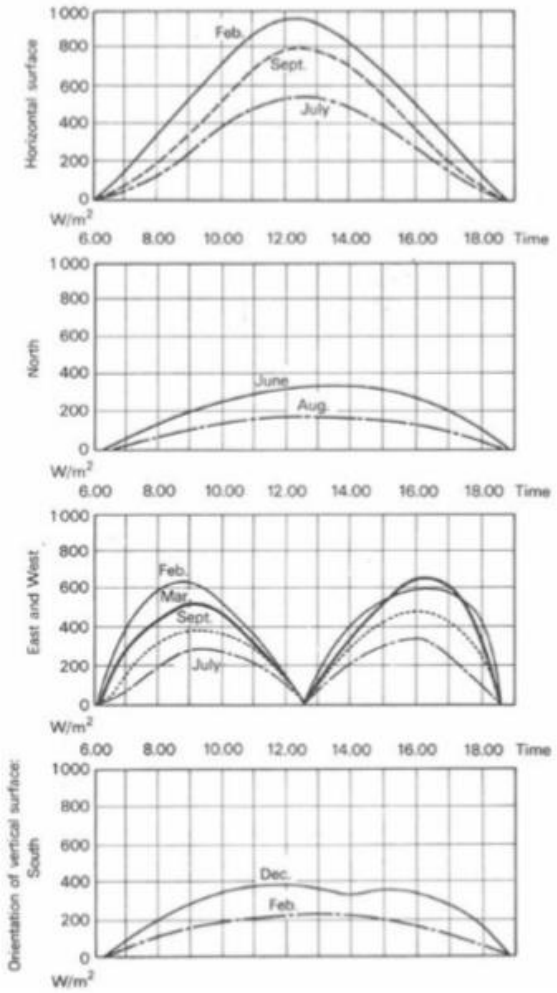
Pemanasan yang disebabkan oleh radiasi matahari paling sederhana dapat dihindari dengan tidak menempatkan jendela yang menghadap khatulistiwa. Perangkat naungan horizontal yang tepat dapat memberikan naungan di musim panas, namun masih memungkinkan masuknya radiasi matahari di musim dingin, sehingga perangkat naungan dapat disesuaikan dan dipertimbangkan. Pada bangunan dengan jenis selubung bangunan yang ringan, panas matahari yang

tinggi akan berpengaruh terhadap panas interior yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan. Disisi lain hal ini juga memberikan kehilangan panas yang cukup besar (Szokolay, 2004).

Parameter penting dari radiasi matahari pada permukaan vertikal yang menghadap ke khatulistiwa, untuk rata-rata hari pada bulan terdingin (Dv). Langkahnya dengan menemukan suhu terendah di mana perolehan panas dari sinar matahari bisa menyamai kehilangan panas. Kondisi pembatas adalah ketika input panas matahari sama dengan kehilangan panas. Modulasi perolahan panas matahari memasuki bangunan dapat dicapai melalui orientasi dan geometri apertur, perangkat peneduh, serta kontrol sifat optis-surya dari permukaan yang buram dan transparan (Santamouris, 1996).

Efek radiasi pada permukaan buram dapat dikombinasikan dengan efek udara hangat dengan menggunakan konsep suhu *sol-air*. Besarnya suhu *sol-air* dipengaruhi oleh faktor-faktor dalam kontrol desain, seperti absorbansi dan konduktansi permukaan. Selain itu diketahui juga bahwa pemilihan warna tidak banyak berpengaruh. Pemilihan material bangunan memiliki signifikansi yang lebih besar. Variasi konduktansi permukaan juga memiliki pengaruh lebih sedikit, tetapi absorbansi yang lebih rendah dan konduktansi permukaan yang lebih besar akan mengurangi efek pemanasan matahari (Koenigsberger, 1973).

Jika panas berlebih merupakan masalah, seperti di semua tempat di iklim tropis, ada empat metode yang tersedia untuk pengurangan panas matahari melalui jendela, empat variabel yang berada dalam kendali perancang yaitu, orientasi dan ukuran jendela, tirai internal dan gorden, kaca khusus, serta perangkat peneduh eksternal. Gambar 2.13 merupakan gambaran intensitas radiasi matahari untuk lokasi khatulistiwa, berdasarkan perbedaan orientasi fasad.



Gambar 2.13. Intensitas radiasi matahari untuk lintang 1 ° Selatan (Nairobi) - nilai yang diukur (Koenigsberger, 1973)

Jika intensitas radiasi matahari (l) yang terjadi pada bidang jendela diketahui merupakan nilai yang menunjukkan kepadatan laju aliran energi (W / m2). Hal ini harus dikalikan dengan area bukaan saja (m2) untuk mendapatkan laju aliran panas dalam watt. Untuk jendela berlapis kaca, nilai ini akan dikurangi oleh faktor penguatan matahari (θ), yang tergantung pada kualitas kaca dan sudut kemunculannya (Koenigsberger, 1973).

Oleh karena itu persamaan aliran panas matahari dapat rumuskan sebagai:

$$Qs = A \times l \times \theta \quad (2.9)$$

di mana

A = luas jendela, dalam m2

l = kepadatan aliran panas radiasi, dalam W / m2

θ = faktor penguatan surya dari kaca jendela

C. Ground Cooling

Bangunan dapat bertukar panas dengan lingkungannya secara konduksi, konveksi dan radiasi. Sebagian besar area bangunan yang tidak bersentuhan dengan tanah, mekanisme perpindahan panas utamanya adalah secara konveksi. Konsep pendinginan dengan kontak langsung terhadap tanah adalah untuk meningkatkan pertukaran panas secara konduktif. Bangunan yang dibangun sedemikian rupa pada bagian penting dari amplop bangunan langsung bersentuhan dengan tanah.

Teknik pendinginan ini dapat dicapai tidak hanya karena terjadinya peningkatan pelepasan panas konduktif melalui tanah, tetapi juga karena adanya perolehan panas surya melalui selubung bangunan. Tanah masif di sekitar bangunan dapat menyerap radiasi matahari pada siang hari. Panas berlebih yang ada pada bangunan dapat dibuang secara konvektif pada malam hari oleh udara sekitar, serta pada lokasi dengan kelembaban relatif rendah dan kondisi langit cerah (Santamouris, 1996).

D. Evaporative Cooling

Pendinginan evaporatif dapat disediakan sebagai bagian dari sistem pasif. Jika penguapan terjadi di dalam ruang tertutup, hal tersebut dapat menurunkan DBT, tetapi meningkatkan kelembapan yang pada dasarnya didapat dari perubahan panas lingkungan menjadi panas laten. Secara tidak langsung, kehilangan penguapan terjadi jika proses penguapan di dalam ruangan yang adiabatik, kemudian dihilangkan dengan ventilasi. Proses ini disebut sebagai transfer massa (Szkolay, 2004).

Proses pendinginan menggunakan teknis evaporatif menurut Lechner (2015), adalah ketika terjadi penguapan, yang menarik sebagian besar panas dari lingkungannya dan mengubahnya menjadi panas laten dalam bentuk uap air. Adanya proses konveksi panas dari lingkungan menjadi panas laten, ini lah yang menyebabkan penurunan suhu udara ruangan.

Berdasarkan beberapa strategi pendinginan pasif yang ada seperti ventilasi sebagai pedinginan, *Solar Control*, *Ground Cooling*, *Evaporative*

Cooling, fokus pada penelitian ini membahas mengenai strategi *solar control*. Dalam hal ini elemen fasad yang dijadikan perhatian utama melalui desain pasif bangunan. Elemen fasad yang menjadi perhatian adalah luasan jendela serta perangkat naungan yang sesuai.

2.5.2 Pengaruh WWR terhadap Beban Panas

Ukuran dan jenis kaca jendela memiliki fungsi yang kontekstual tehadap iklim, serta memberikan *view* maksimal ke luar, meningkatkan perolehan panas matahari di musim dingin dan memastikan ventilasi yang nyaman. Jendela besar dapat memberikan kerugian baik di musim panas dan musim dingin. Pada musim panas, jika tidak diarsir dengan baik, jendela besar menjadi sumber utama perolehan panas matahari. Selain itu, selama malam hari di musim dingin, sejumlah besar panas internal akan keluar dari dalam bangunan melalui jendela besar jika kaca tidak diperlakukan dengan benar.

Terdapat beberapa perbedaan antara iklim panas kering dan iklim panas lembab. Untuk iklim panas kering, jendela harus diinsulasi dan diarsir dengan sangat baik. Suhu di luar siang hari harus diminimalkan bersama dengan angin yang membawa banyak debu. Solusi yang baik adalah merencanakan bangunan kompak dengan atrium di mana jendela bisa lebih besar dan terlindung dari matahari dan angin, dengan bukaan ke luar harus kecil dan selalu teduh.

Pada iklim panas lembab, penting untuk memastikan ventilasi yang nyaman sepanjang hari dan masih dapat dimanfaatkan pada malam hari. Jendela harus ditempatkan sesuai dengan arah angin dan terlindungi dengan baik dari sinar matahari. Kondisi iklim ini juga dituntut membarikan perlindungan terhadap curah hujan, terutama di musim panas. Pada beberapa daerah, untuk menghindari kehilangan panas di musim dingin, dianjurkan menggunakan kaca ganda. Hal ini akan meminimalkan kehilangan panas di musim dingin dan mengurangi perolehan panas matahari selama musim panas.

Berdasarkan studi pemantauan kinerja beberapa rumah di wilayah Adelaide di Australia Selatan, area jendela sekitar 30 persen dari luas lantai akan meminimalkan perolehan panas di musim panas, namun tetap mempertahankan

akses view luar dan menyediakan kontak dengan matahari musim dingin (Hyde. R, 2008).

WWR adalah rasio persentase luasan area kaca terhadap area dinding fasad bangunan. Sasaran WWR adalah untuk mengurangi perolehan panas matahari dan meningkatkan pemanasan, pendinginan, pencahayaan siang hari dan ventilasi. Oleh karena itu, Kode Energi Nasional untuk Bangunan (NECB) 2011 dan Asosiasi Insinyur Pemanasan, Pendinginan dan Penyejuk Udara AS (ASHRAE 90.1) telah memasukkan WWR ke dalam standarnya untuk konstruksi bangunan baru. WWR diukur pada skala dari 0% hingga 100% atau dari faktor 0 hingga 1 tanpa jendela hingga jendela penuh. Dua ekstrem ini biasanya menghasilkan efek negatif dalam hal energi, pencahayaan, dan jarak pandang.

Aturan umum menyatakan bahwa untuk meningkatkan kinerja energi bangunan, WWR optimal untuk iklim panas dan dingin harus sekitar 40% atau kurang. WWR yang lebih tinggi hingga 90% dapat diterima di daerah beriklim dingin, namun hanya jika jendela terisolasi dengan baik, dan di tempat beriklim panas, hanya jika ternaungi dengan baik. Rumus untuk menghitung rasio dinding jendela diberikan oleh Persamaan berikut (Rendona, 2016):

$$WWR = NGA / GWA \quad (2.10)$$

Di mana, NGA adalah area kaca bersih dan GWA adalah area dinding buram.

2.5.3 Pengaruh Naungan terhadap Kinerja Termal Bangunan

Pilihan perangkat peneduh yang tepat dari berbagai elemen tetap dan dapat disesuaikan tergantung pada garis lintang, kondisi langit (komponen radiasi matahari yang dipantulkan langsung-baur), orientasi, jenis bangunan, dan keseluruhan desain bangunan. Perangkat peneduh eksternal lebih efektif karena menghalangi radiasi matahari sebelum mencapai interior bangunan. Keefektifan kondisi internal ditentukan oleh reflektivitas materialnya. Berdasarkan evaluasi koefisien naungan, rata-rata elemen naungan eksternal sekitar 35% lebih efektif daripada elemen naungan internal. Penerapan awning secara efektif dapat mengurangi perolehan panas musim panas hingga 65% pada fasad Selatan dan hingga 80% pada fasad Timur dan Barat (Santamouris, 1996).

Tabel 2. 4: Faktor penguatan matahari untuk berbagai elemen naungan

Position	Shading element	Solar gain factor (*) Galzing Type	
	Type	Single	Double
Internal	Dark-green open weave plastic blind	0.62	0.56
	White venetian blind	0.46	0.46
	White cotton curtain	0.41	0.4
	Cream holland-line blind	0.30	0.33
Mid-pane	White venetian blind	-	0.28
external	Dark-green open weave plastic blind	0.22	0.17
	Canvas roller blind	0.14	0.11
	White louvred sunbreaker, blades at 45^{o}	0.14	0.11

Sumber: (Santamouris, 1996)

Warna dan bahan elemen naungan juga menentukan efektivitas naungannya. Perbedaan dalam keefektifan elemen peneduh eksternal dibandingkan dengan internal meningkat dengan kegelapan warna. Sebuah penelitian telah menunjukkan bahwa kerai venesia putih memberi 20% lebih banyak perlindungan naungan daripada yang gelap, sedangkan untuk roller blinds efeknya bisa mencapai 40%. Alumunium blind dapat menambahkan perlindungan 10% lebih dari pada material yang berwarna. Tirai internal yang berwarna terang hanya 18% lebih efektif dari pada yang gelap.

Peningkatan efisiensi elemen peneduh eksternal berwarna gelap, dibandingkan dengan yang internal dengan warna yang sama, hanya berlaku untuk kasus jendela tertutup. Pada kondisi jendela terbuka, orientasi yang berkaitan dengan arah angin lebih penting daripada warna dan posisi elemen peneduh (Santamouris, 1996).

2.5.4 Pengaruh Balkon terhadap Kinerja Termal Bangunan

Salah satu parameter yang dapat mengubah aliran udara internal yaitu ukuran dan penempatan bukaan, tata letak, tinggi dan orientasi bangunan serta elemen fasad seperti balkon. Balkon dapat berperan sebagai ruang transisi antara *indoor* dan *outdoor* yang tidak hanya dapat mengurangi penghuni dari paparan polusi, namun juga membantu mengurangi perolehan beban panas bangunan. Selain itu balkon dapat berperan sebagai ventilasi alami, mengurangi tingkat kebisingan, maupun sebagai perangkat perlindungan akustik. Dalam hal perannya

sebagai ventilasi alami, penambahan balkon dapat mengubah distribusi tekanan pada fasad bangunan yang akibatnya mempengaruhi gaya ventilasi (Omrani, 2017).

Penyediaan balkon pada bangunan residensial juga memiliki manfaat lain seperti peningkatan tampilan fasad secara estetika, peningkatan ventilasi maupun ruang tanam. Selain itu manfaat lain balkon bertindak sebagai *overhang* dan menyediakan naungan matahari serta penghematan energi listrik dari konsumsi pengdinginan ruang dengan AC (Chan & Chow, 2010).

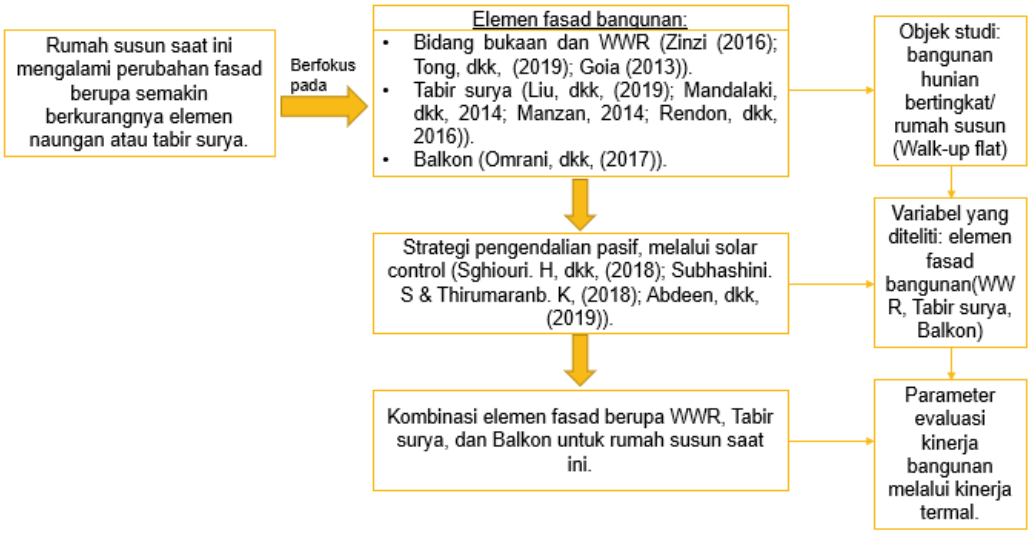
2.6 Sintesa Kajian Teori

Elemen bangunan yang yang paling berhubungan dengan lingkungan luar adalah fasad bangunan. Komposisi fasad dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan fungsionalnya, terdiri atas jendela, pintu, ventilasi, tabir surya, balkon dan bidang atap. Gabungan komposisi fasad tersebut pada dasarnya berkaitan dengan menciptakan harmoni dan proporsi yang baik terhadap penataan vertikal dan horizontal, mekanisme, bahan, warna dan elemen dekoratif bangunan (Krier, 1988).

Teori dasar yang digunakan mengenai pengendalian termal melalui elemen fasad bangunan dengan strategi pendinginan pasif. Menurut Santamouris (1996), pendinginan pasif terdiri atas ventilasi sebagai pedinginan, *Solar Control*, *Ground Cooling*, *Evaporative Cooling* dan *Radiative Cooling.* Salah satu strategi pendinginan pasif yang dapat digunakan untuk menghasilkan kenyamanan termal di dalam ruang adalah dengan *Solar Control*. Pendinginan pasif dengan strategi solar kontrol ini mengevaluasi panas radiasi yang masuk atau berasal dari elemen fasad bangunan baik melalui permukaan transparan maupun buram, sehingga perlu adanya kendali terhadap rancangan dari segi orientasi dan ukuran jendela, penggunaan tirai internal, jenis kaca yang digunakan, serta perangkat peneduh eksternal (Koenigsberger, 1973). Teknik *solar control* ini dilakukan dengan memodifikasi elemen fasad demi mencegah perolahan panas yang masuk ke dalam ruangan (Sghiouri. H, dkk, 2018; Subhashini. S & Thirumaranb. K, 2018; Abdeen, dkk, 2019).

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian meliputi persentase WWR, tipe dan panjang tabir surya, serta tipe dan kedalaman balkon. Elemen fasad yang paling berpengaruh pada perolehan panas yaitu bidang transparan. Berdasarkan penelitian Rendona (2016), WWR 20% dapat menurunkan permintaan energi tahunan sebesar 76,57%. Sejalan dengan ini menurut Goia (2013), fasad dengan kisaran 30-50% lebih dapat memenuhi permintaan total energi yang lebih rendah. Selain WWR elemen fasad lainnya yang membantu dalam mengurangi perolehan beban panas bangunan adalah tabir surya. Menurut Ghosh (2018), dari jenis perangkat horizontal *overhang*, fin vertikal, kombinasi horizontal-vertikal *overhang*, perangkat tabir surya yang paling efektif dengan jenis kombinasi horizontal-vertikal *overhang* dengan panjang 50 cm untuk kasus iklim panas dan lembab India. Selain itu penelitian oleh Liu, dkk (2019), mengevaluasi perangkat *shading device* dengan sudut dan panjang yang berbeda antara 0,1-0,7 m. Temuan berupa hasil efektif untuk *overhang* dengan sudut 90^{o} memiliki panjang 60 cm. Balkon juga menjadi elemen fasad yang berpengaruh terhadap kondisi termal ruang, dikarenakan perannya sebagai transisi antara indoor dan ourdoor yang dapat membantu mengurangi perolehan beban panas. Selain itu balkon juga dapat membantu mengubah distribusi tekanan pada fasad bangunan yang akibatnya mempengaruhi gaya ventilasi. Berdasarkan penelitian Omrani (2017), balkon terbuka menghasilkan kecepatan angin dalam ruang yang lebih tinggi dengan kinerja ventilasi 1 sisi (yang ditingkatkan hingga 80%) dibandingkan balkon semi tertutup. Kedalaman balkon juga mengambil peran naungan serta kaitannya terhadap pengaruh distribusi aliran udara dalam ruang. Berdasarkan penelitian ini kedalaman balkon yang digunakan adalah 10%-30%.

Penerapan kombinasi elemen fasad berupa perangkat tabir surya, WWR dan balkon pada rumah susun baru dapat menghasilkan kinerja termal yang efektif untuk menurunkan temperatur ruangan pada rumah susun, serta indikator kinerja termal lainnya.



Gambar 2. 14. Diagram kerangka pemikiran penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Paradigma Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi konfigurasi fasad berdasarkan perubahan tipologi fasad yang ada di rumah susun melalui tabir surya, WWR dan balkon terhadap kinerja termal ruang rumah susun. Analisa dan penyelesaian penelitian dilakukan dengan bantuan simulasi untuk melihat kofigurasi tabir surya, WWR dan balkon yang paling baik terhadap kinerja termal ruang yang berdasarkan kecenderungan dari tiap indikatornya. Karakteristik penelitian dapat digolongkan pada jenis penelitian kuantitatif.

Penelitian kuantitatif menurut Lucas, (2016), merupakan penelitian yang dapat diukur dan berkaitan dengan objektivitas. Dalam hal ini berupaya untuk menemukan kebenaran yang tak terbantahkan. Penelitian kuantitatif sering melibatkan sejumlah besar peserta atau setting data signifikan yang dapat dianalisis untuk dilihat kecenderungannya. Berdasarkan karakteristik penelitian dengan pernyataan Groat & Wang (2013), tentang penelitian kuantitatif:

1. Proses bersifat deduktif, mencari hubungan sebab akibat dari WWR, tabir surya dan balkon terhadap kinerja termal ruangan rumah susun.
2. Fenomena yang dapat diukur dengan angka, kinerja termal dapat diteliti dari pengukuran di lapangan serta beberapa permodelan yang dilakukan pada simulasi.
3. Realitas bersifat objektif, berupa realitas kinerja termal yang dihasilkan dari pengaturan konfigurasi tabir surya, WWR dan balkon yang settingnya pada rumah susun.

Penelitian ini menggunakan paradigma *positivism* sebagai dasar pedoman dalam pemilihan metodologi penelitian. Berikut dasar pemilihan paradigma *positivism* berdasarkan Groat & Wang (2013), yang memiliki pertimbangan sebagai berikut:

- Penelitian menggunakan objektivitas. Penelitian ini melalui prosedur yang relevan menggunakan instrumen yang terukur sehingga menghasilkan data yang konsisten dan teruji melalui pengukuran di lapangan dan percobaan simulasi. Serta adanya interaksi antara peneliti dengan objek penelitian untuk pengetahui kinerja termal rumah susun.
- Penelitian mengungkapkan validasi internal. Validasi internal bisa didapat melalui pengujian kesamaan data berupa kinerja termal bangunan melalui pengaturan konfigurasi tabir surya, WWR dan balkon agar diperoleh data yang akurat. Keakuratan didapat saat pengukuran lapangan dan simulasi yang dicobakan berkali-kali.
- Penelitian mengutamakan validasi eksternal. Validasi eksternaal pada penelitian ini bisa berupa hasil kinerja termal yang didapat harus bisa digeneralisasikan baik pada rumah susun maupun bangunan lain yang memiliki karakteristik sejenis.

3.2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini bertujuan mencari hubungan sebab akibat dari konfigurasi WWR, tabir surya dan balkon, untuk mencapai seberapa efektif penggunaan bagian elemen fasad terhadap kinerja termal ruang rumah susun. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen dengan bantuan simulasi komputasi. Eksperimen didalamnya termasuk memanipulasi variabel terikat dan bebas. Berdasarkan Niezabitowska, (2018), penelitian eksperimen merupakan pengetahuan yang dibuat dengan cara mengembangkan dan menguji teori-teori umum yang merupakan pokok masalah yang menarik. Penelitian dilakukan berdasarkan pencarian objektivitas, serta peneliti tidak berinteraksi secara sosial. Alat yang digunakan berupa alat ukur yang dipilih untuk tugas penelitian.

Menurut Groat & Wang (2013), metode eksperimen dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Fokus pada hubungan sebab akibat dari konfigurasi elemen fasad terhadap kinerja termal ruang rumah susun.
- Penggunaan variabel kontrol dalam penelitian ini dengan grup kontrol yang ditentukan berupa tinggi plafon, ukuran unit rumah susun.

- Penggunaan treatment atau variabel bebas, dalam hal ini konfigurasi elemen fasad berupa WWR, *shading device* dan balkon.
- Pengukuran hasil atau variabel terikat, dalam hal ini kinerja termal berupa penururnan temperatur.

Pengujian *software* simulasi mengadaptasi salinan bangunan beserta kondisi lingkungan dengan pendekatan tidak nyata yang dikendalikan oleh persamaan-persamaan matematis (Satwiko, 2010 dalam Cahyani, 2017), sehingga simulasi digunakan sebagai alat yang dapat membantu dalam penelitian ini. Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan cara simulasi yaitu:

- Kemampuan meniru atau memproduksi keadaan nyata menurut Satwiko (2009), dalam hal ini kinerja termal berupa temperatur udara dan kelembapan dipengaruhi oleh beberapa variasi yang dilakukan pada setting variabel dari elemen fasad ruang eksperimen.
- Tidak memerlukan ruang fisik yang besar, dalam hal ini ruang fisik secara nyata rumah susun Siwalankerto Surabaya.
- Perekaman visual dan numerik sangat mudah dilakukan dan disimpan dalam laporan, dalam hal ini visualisasi kinerja termal ruang serta penghematan energi dari simulasi dengan menggunakan software DesignBuilder V6.1 suport EnergyPlus 8.9.

Penelitian sebelumnya telah menggunakan metode eksperimen dengan simulasi DesignBuilder untuk mencari hasil terbaik. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Liu, dkk (2019), bertujuan mengusulkan perangkat *shading device* untuk mengevaluasi potensi penghematan energi pada kondisi musim panas dengan bantuan program simulasi. Fokus penelitian ini pada *shading device* untuk fasad yang bukan berada disekitar bukaan (untuk fasad buram). Penelitian oleh Fotopoulou, dkk, (2018), bertujuan untuk mengevaluasi dan menggambarkan potensi penghematan energi dari penambahan fasad pada bangunan hunian dalam konteks iklim yang berbeda. Studi ini mengilustrasikan penambahan fasad dan volumetrik melalui simulasi dengan mengusulkan beberapa hipotesis. Penelitian lainnya oleh Ghosh (2018), tentang konfigurasi WWR serta perangkat *shading device* yaitu mengusulkan desain perangkat naungan eksternal yang dibandingkan

dengan desain naungan yang ada, bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi tahunan bangunan. Beberapa penelitian sebelumnya sudah banyak dilakukan dengan menggunakan simulasi DesignBuilder untuk melihat performa maupun penghematan energi bangunan melalui EnergyPlus. Sehingga tidak menutup kemungkinan bahwa penelitian ini menggunakan metode yang serupa.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel adalah simbol yang menggunakan angka atau nilai. Disebutkan juga bahwa variabel merupakan sifat kasus (*case*) yang mempunyai kemungkinan lebih dari satu kategori. Variabel juga merupakan konsep yang mempunyai variasi nilai. Berdasarkan posisi dan fungsi, variabel dapat dibedakan atas beberapa jenis seperti variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi, menjelaskan, atau menerangkan variabel lain. Selanjutnya variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau diterangkan oleh variabel lain tetapi tidak dapat mempengaruhi variabel lainnya. Sedangkan variabel kontrol adalah variabel yang tidak dapat dimanipulasi dan digunakan sebagai salah satu cara untuk mengatur, meminimalkan, atau menetralkan pengaruh aspek tersebut (Yusuf, 2014).

Pemilihan variabel bebas berdasarkan acuan dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Konfigurasi tabir surya terdiri dari beberapa parameter yang ingin dilihat seperti tipe, kemiringan, panjang dan jumlah (Mandalaki, dkk, 2014; Manzan, 2014; Ghosh, dkk, 2018; dan Liu, dkk, 2019). Penelitian Omrani, dkk, (2017), tentang pengaruh balkon pada bangunan berventilasi alami dijadikan acuan dalam pemilihan variabel terkait konfigurasi balkon untuk fasad rumah susun. Variabel dalam penelitian ini terbagi menjadi 3, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol:

Tabel 3. 1. Jenis Variabel yang Digunakan

Jenis	Variabel	Sub Variabel	
Variabel bebas	Konfigurasi elemen fasad	Konfigurasi tabir surya	
		1. Tipe tabir surya	• Horizontal *overhang* • Vertikal

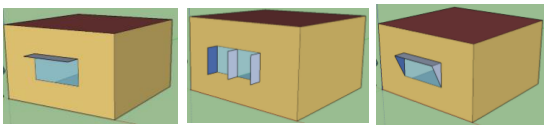
			overhang • Horizontal-vertikal *overhang*
		2. Panjang	• 0,4 m • 0,6 m • 0,8 m
		Konfigurasi WWR	• 10% • 20% • 30%
		Konfigurasi balkon	
		1.Tipe tabir surya	• Terbuka • Semi tertutup
		2. Kedalaman balkon	• Kedalaman 10% • Kedalaman 20% • Kedalaman 30%
Variabel terikat	Kinerja termal	Temperatur udara	
		Kelembapan	
		Kecepatan angin	
Variabel kontrol	Tinggi plafon		
	Ukuran unit rumah susun		

3.3.1 Definisi Variabel

Pendefinisian variabel dilakukan untuk memperjelas maksud dari masing-masing variabel yang digunakan pada penelitian ini. Dengan demikian, definisi operasional dari masing-masing variabel dipaparkan pada penjelasan berikut:

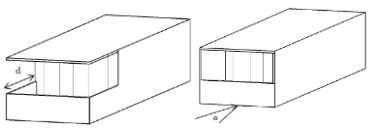
1. Variabel bebas terdiri atas Konfiguasi tabir surya, WWR dan balkon yang merupakan setting pada elemen fasad bangunan rumah susun. Adapun penjabarannya berikut ini:
   a. Tipe tabir surya adalah jenis bentukan dari *shading device*. Tipe tabir surya terbagi atas horizontal *overhang*, vertikal *overhang* dan Horizontal-vertikal *Overhang* (kombinasi), tipe ini dipilih berdasarkan hasil penelitian sebelumnnya (Ghosh, dkk, 2018). Pemilihan tipe tabir surya juga berdasarkan bentuk yang memungkinkan diterapkan pada karakteristik tipologi fasad yang ada di Surabaya. Dalam hal ini tipe horizontal *overhang* yang umumnya ditemukan pada tipologi rumah susun di Surabaya.

b. Panjang tabir surya adalah panjang bidang tabir surya diukur dari dinding bangunan. Panjang tabir surya dinilai memiliki pengaruh yang baik terhadap efek pembayangan fasad serta filter terhadap intensitas radiasi matahari yang masuk ke dalam ruang. Panjang *shading device* yang digunakan dipilih sebesar 0,4 m, 0,6 m dan 0,8 m, berdasarkan penelitian Liu, dkk, (2019) mengenai panjang dan sudut *shading device* untuk fasad yang bukan berada disekitar bukaan.



Gambar 3. 1. Tipe Horizontal *overhang*, vertikal *overhang* dan Horizontal *Overhang* sirip segitiga (Ghosh, dkk, 2018)

c. WWR adalah *Window to Wall Ratio,* merupakan perbandingan antara luas jendela dengan luasan total bidang dinding. WWR yang dipilih adalah 10%, 20% dan 30%, sesuai dengan tipologi fasad rumah susun yang ada di Surabaya dan penelitian sebelumnya (Goia, 2013; Rendona, dkk, 2016).
d. Tipe balkon adalah jenis dari balkon yang digunakan. Tipe balkon terbagi atas dua yaitu tipe terbuka dan semi tertutup. Pemilihan tipe balkon merujuk dari penelitian oleh Omrani. S, dkk, (2017). Balkon tertutup merupakan tipologi baklon yang pada umumnya ditemukan pada fasad rumah susun di Surabaya.
e. Kedalaman dari balkon adalah panjang balkon yang diambil dari persentase panjang dalam ruang rumah susun. Kedalaman balkon yang digunakan terbagi atas kedalaman 10%, 20%, dan 30% berdasarkan penelitian oleh Omrani. S, dkk, (2017).

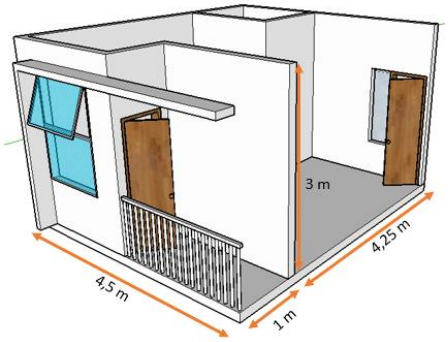


Gambar 3. 2. Tipe balkon terbuka (kiri), balkon semi tertutup (kanan) (Omrani. S, dkk, 2017)

2. Variabel Terikat berupa kinerja termal yang terjadi akibat variabel bebas. Kondisi ini diamati berdasarkan hasil dari kinerja termal ruang berupa:

a. Temperatur udara yang diteliti dalam hal ini merupakan nilai penurunan temperatur ruang.
b. Kelembapan yang diteliti merupakan pengaruhnya terhadap pemberian efek sejuk ke dalam ruang.
c. Kecepatan angin, dilakukan pengamatan pengaruhnya terhadap kinerja termal dalam ruang serta efek fisiologis yang didapatkan.

3. Variabel Kontrol berupa:
   a. Ketinggian plafon yaitu jarak dari lantai ke langit-langit, yang ditetapkan 3m.
   b. Ukuran unit rumah susun adalah dimensi ruang dari unit rumah susun. Ukuran unit rumah susun yang dibuat dalam simulasi (model), diambil sesuai dengan ukuran sebenarnya dari bangunan eksisting.



Gambar 3. 3. Model dan ukuran unit rumah susun

3.4 Subjek dan Objek Penelitian

3.4.1 Subjek Penelitian

Penentuan subjek penelitian bertujuan untuk menggeneralisasikan hasil penelitian yang dilakukan terhadap berbagai kondisi yang berhubungan dengan variabel-variabel sejenis. Pada penelitian ini subjek penelitian adalah unit bangunan rumah susun yang berada di Surabaya. Dalam hal memudahkan penelitian maka dipilihlah ruang eksperimen yang memiliki karakteristik bangunan mirip rumah susun yang ada di Surabaya. Karakteristik yang memenuhi kebutuhan variabel penelitian diantaranya:

1. Berada di lingkungan perkotaan dengan iklim tropis lembab.

2. Karakteristik kawasan merupakan kawasan berkepadatan bangunan menengah dengan koefisien dasar bangunan sekitar 20-50%.
3. Termasuk kategori bangunan *Walk-up Flat*, serta memiliki struktur yang sederhana dan menggunakan tangga sebagai sistem pencapaian vertikal.
4. Bangunan memiliki bukaan pada salah satu sisi fasad luar bangunan, yang tidak memiliki balkon indoor (tertutup).

Sehingga tipe rumah susun yang dipilih merupakan rumah susun dengan tipe twin block. Secara umum sebenarnya rumah susun di Surabaya merupakan tipe double loaded dengan penghawaan 1 sisi saja, yang biasanya memiliki masalah pada penghawaan alami dan panasnya temperatur udara dalam ruang. Namun tipe blok rumah susun Siwalankerto 2 ini dipilih karena meskipun terdapat void pada bagian antara dua baris bangunan, kondisi unit rumah susun masih dirasa memiliki masalah panas dalam ruang, serta ventilasi silang yang kurang berfungsi dengan baik. Unit rumah susun yang diteliti dipilih berada pada lantai 5, dikarenakan pengaruh dari radiasi matahari dinilai paling tinggi dan tidak terhalang dengan bangunan sekitar.

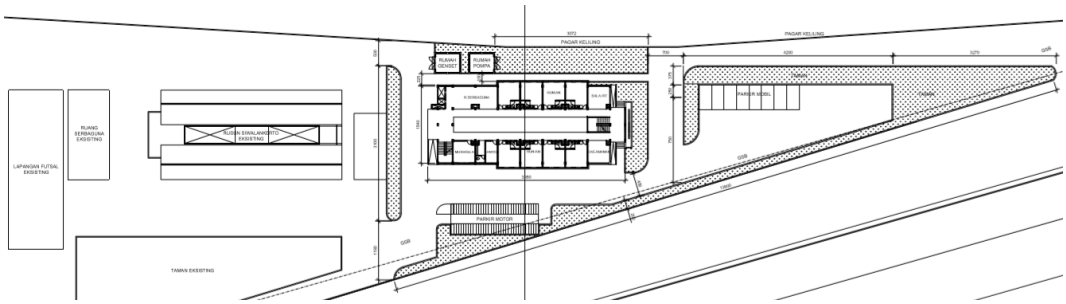
3.4.2 Objek Penelitian

Objek penelitian merupakan pokok persoalan yang hendak diteliti untuk mendapatkan data secara lebih terarah. Objek penelitian ini adalah konfigurasi tabir surya, WWR dan balkon terhadap pengaruhnya meningkatkan kinerja termal pada rumah susun.

3.4.3 Model Rujukan

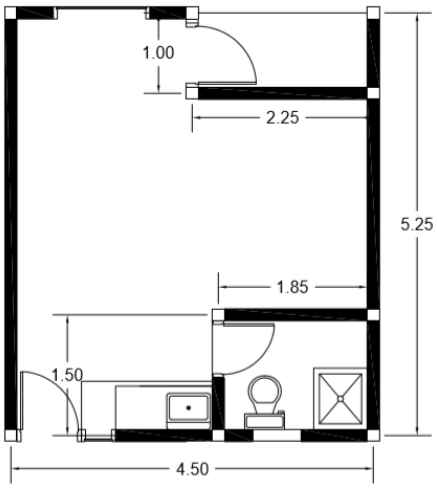
Rumah susun Siwalankerto 2 dipilih sebagai bangunan model rujukan (model rujukan) karena memiliki kriteria yaitu blok dengan jenis *twin block*, unit rumah susun berukuran terbatas (tipe studio), dan tidak memiliki balkon indoor (balkon tertutup). Rumah susun Siwalankerto terletak di jalan Siwalankerto Timur V Mulyosari, Kecamantan Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur 60236. Bangunan memiliki 5 lantai dengan sebagian besar unit hunian terletak di lantai 2 sampai 5. Setiap lantai tipikal memiliki 14 unit hunian dengan luasan 4,5 x 5,25 m^2 yang ditujukan untuk 2 sampai 3 penghuni setiap unitnya. Berdasarkan perhitungan

total terdapat 60 unit hunian ditambah 4 unit hunian di lantai dasar sesuai dengan standar bangunan rumah susun.



Gambar 3. 4. *Site Plan* rumah susun Siwalankerto 2

Gambar 3.5. Fasad rumah susun Siwalankerto 2



Gambar 3.6. Denah rumah susun Siwalankerto 2

Berdasarkan karakteristik unit rumah susun yang dijadikan sebagai ruang eksperimen dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.5 dan 3.6. Unit rumah

susun yang digunakan sebagai ruang ekperimen adalah ruangan paling ujung dengan fasad yang menghadap sisi Utara. Ruangan ini berada di lantai 5, dengan ketinggian kurang dari 15 m.

3.5 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data

3.5.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang didapat secara langsung dari lapangan. Data-data tersebut dapat terdiri dari data studi tipologi ruangan yang digunakan, elemen bangunan dan kondisi termal ruang eksisting. Dalam memperoleh data primer dapat dilakukan dengan teknik pengumpulan data seperti teknik pengukuran, teknik perekaman, dan teknik pencatatan.

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data penunjang yang diperlukan untuk melengkapi data primer, sehingga membantu dalam proses analisa data. Data sekunder dapat berupa hasil olahan dari data primer atau didapat dari sumber lainnya. Data inilah yang menjadi *setting* dalam eksperimen, dapat berupa data iklim Surabaya selama 5 tahun (tahun 2014-2019).

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian disusun sesuai dengan variabel penelitian dan teknik pengumpulan data dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 2: Jenis Data dan teknik pengumpulan data

Variabel bebas	**Jenis Data**	**Teknik Pengumpulan Data**
Konfigurasi Elemen fasad	Data sekunder: • Konfigurasi tabir surya : Tipe, dan Panjang • Konfigurasi Balkon: Tipe dan kedalaman Balkon • WWR	Studi literatur dari penelitian terkait sebelumnya.
Variabel terikat	**Jenis Data**	**Teknik Pengumpulan Data**
Kinerja termal	Data primer: • Temperatur dan penururnan urada	Pengukuran langsung di Lapangan dan hasil perhitungan simulasi.

	ruangan. • Kelembapan • Kecepatan angin	
Variabel kontrol	**Jenis Data**	**Teknik Pengumpulan Data**
• Ketinggian plafon • Ukuran unit rumah susun	Data sekunder	Studi literatur, dan pengukuran lapangan.

3.5.3 Pengambilan Data Eksisting

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengukuran kondisi eksisting di lapangan, untuk melihat kecenderungan kondisi termal ruang. Hasil pengukuran juga dimaksudkan untuk kepentingan validasi data BMKG dan *software* simulasi yang digunakan. Titik pengukuran berada di tengah ruang yang di posisikan melekat pada tripod, untuk alat ukur WBGT berada pada ketinggian ± 1 m dari permukaan lantai sedangkan anemometer berada pada ketinggian sekitar ± 1,5 m dari permukaan lantai. Adapun pengambilan data menggunakan datalogger dilakukan selama 24 jam, dengan durasi per 10 menit. Gambar 3.7 menunjukkan mengenai gambaran serta titik pengukuran di dalam ruang:

Gambar 3. 7. Titik pengukuran dalam ruang

Secara parsial pengukuran terhadap kecepatan angin juga dilakukan pada tiga waktu, yaitu pagi, siang dan sore. Pengukuran parsial ini dilakukan pada beberapa titik dalam ruang, dengan ketinggian alat ± 1,5 m dari permukaan lantai. Kondisi jendela pada fasad luar dibuka, sedangkan pintu dan jendela pada koridor

dibiarkan tertutup. Gambar 3.8 menunjukkan grid pengukuran parsial kecepatan angin dalam ruang.

Gambar 3.8. Grid pengukuran parsial kecepatan angin dalam ruang

Pengukuran variabel terikat berupa kinerja termal, dilakukan menggunakan beberapa jenis alat ukur dan cara penggunaan sebagai berikut:

1. WBGT Meter

WBGT meter yang digunakan adalah Lutron WBGT-2010SD buatan Amerika merupakan alat pengukuran yang dapat digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembapan udara yang dapat merekam data pengukuran sesuai waktu yang dibutuhkan. Sebelum digunakan alat di*setting* terlebih dahulu untuk melakukan lama pengukuran serta interval waktu perekaman per 10 menit. Penelitian ini menggunakan 1 alat, selanjutnya alat ditempatkan menggunakan tripod pada ruang eksperimen. Alat diletakkan ditempat yang kering agar tidak mudah rusak karena alat ini memiliki sensor dengan sensitifitas yang tinggi. Setelah pengukuran berakhir, data yang tersimpan pada memori akan dipindahkan pada media komputer untuk diolah selanjutnya.

Gambar 3. 9. WBGT Meter

2. Anemometer

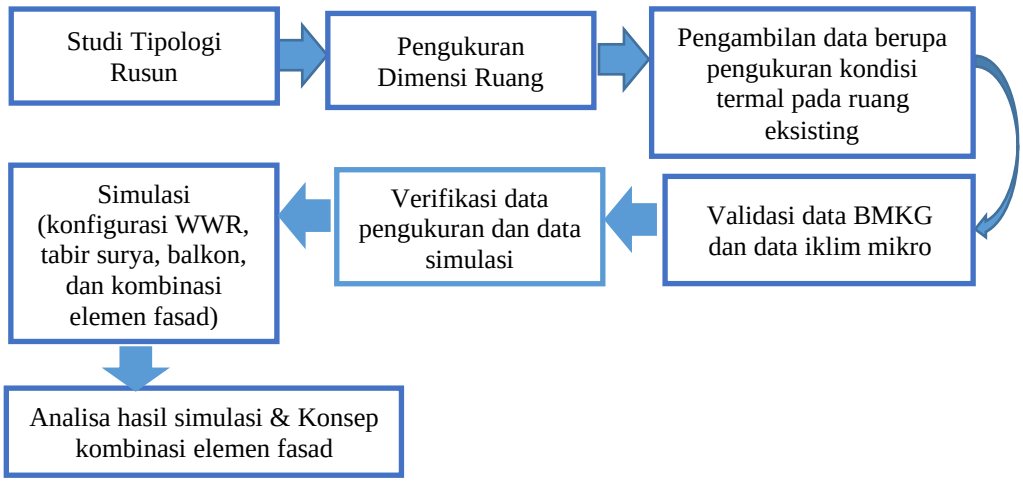
Anemometer yang digunakan adalah Lutron YK-2005AH Hot Wire Anemometer merupakan alat pengukuran yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Penelitian ini akan menggunakan 2 unit alat untuk pengukuran ruang eksperimen. Kedua alat ukur akan digunakan secara bersamaan pada saat pengukuran lapangan. Alat pertama ditempatkan pada tripod dengan pengukuran selama 24 jam, dan durasi per 10 menit. Adapun alat kedua digunakan untuk pengukuran parsial per 3 jam dalam waktu pengukuran pagi, siang dan sore. Ketinggian alat disesuaikan dengan kebutuhan pendinginan fisiologis terhadap tubuh manusia.

Gambar 3. 10. Anemometer

3.6 Rancangan Eksperimen

Prosedur eksperimen yang dirancang pada penelitian ini untuk mencapai tujuan dan menjawab pertanyaan penelitian, yang dilakukan dengan tahap sebagai berikut sebelum masuk tahap simulasi. Tahap pertama melakukan studi tipologi serta pengukur dimensi ruang sesuai dengan kondisi studi kasus rumah susun

Siwalankerto 2. Tahap kedua yaitu melakukan pengambilan data berupa pengukuran kondisi termal pada ruang eksisting yang dijadikan ruang eksisting, lalu dilanjutkan dengan tahapan ketiga yaitu melakukan validasi. Validasi yang dilakukan terbagi menjadi dua tahapan yaitu, tahap pertama melakukan validasi terhadap data BMKG dan iklim mikro lokasi penelitian. Tahap kedua melakukan verifikasi pada data simulasi di dalam bangunan terhadap hasil pengukuran lapangan. Apabila validasi serta verifikasi data sebelumnya sudah memiliki hasil yang benar, data BMKG dapat digunakan untuk simulasi dan barulah selanjutnya masuk ke tahapan simulasi dengan menguji beberpa variabel yang digunakan. Tahapan simulasi terbagi atas beberapa tipe eksperimen yaitu eksperimen mengubah besaran WWR, eksperimen mengubah konfigurasi tabir surya, eksperimen mengubah konfigurasi balkon, dan terakhir eksperimen kombinasi elemen fasad. Setelah melakukan eksperimen melalui simulasi, selanjutnya masuk ke tahap analisa hasil simulasi. Analisa hasil simulasi dilakukan terhadap parameter kinerja termal yang diperoleh. Selanjutnya didapatkanlah konsep kombinasi elemen fasad yang paling efektif untuk rumah susun. Berikut skema kerangka eksperimen:



Gambar 3. 11. Skema Kerangka Eksperimen

3.6.1 Model Dasar Ruang Eksperimen

Penelitian ini dilakukan dengan bantuan simulasi sebagai solusi yang sulit dilakukan pada kondisi lansung eksperimen di lapangan. Ruang eksperimen

yang dijadikan sebagai model rujukan merupakan hasil dari studi tipologi rumah susun yang saat ini berkembang di Surabaya. Deskripsi ruang eskperimen adalah sebagai berikut:

1. Ruang eksperimen memiliki ukuran ±24 m^2 (berdasarkan ukuran rumah susun Siwalankerto 2) dengan tinggi lantai ke plafon 3 m.
2. Ruang eksperimen memiliki salah satu sisi bukaan yang diberlakukan *setting* konfigurasi dari beberapa elemen fasad, berupa WWR, tabir surya dan balkon pada bagian fasad bangunan.

Penelitian ini membutuhkan 1 ruang eksperimen sebagai model rujukan untuk mengamati perbandingan dari kondisi yang diuji. Hal ini dilakukan berdasarkan tujuan untuk mengetahui pengaruh konfigurasi tabir surya, WWR dan balkon terhadap kinerja termal ruang.

Observasi awal mengenai data iklim mikro dilakukan di awal penelitian melalui pengukuran langsung kondisi temperatur udara, kelembapan dan kecepatan angin pada ruang eksperimen. Selanjutnya juga perlu adanya identifikasi kondisi eksisting sekitar bangunan meliputi orientasi, jarak dan ketinggian bangunan.

Tahap awal dilakukan dengan mempersiapkan ruang eksperimen, sedangkan untuk tahapan pengujian variabel dilakukan pada program simulasi DesignBuilder. Sebelumnya untuk tahap pengukuran lapangan dilakukan pada bulan Februari-Maret. Setelah data hasil pengukuran didapatkan baru masuk ke tahap simulasi dan analisa data.

3.6.2 Tipe Eksperimen

Variabel penelitian mempengaruhi perlakuan terhadap ruang eksperimen, dengan melakukan setting tertentu pada elemen fasad yang diujikan dalam simulasi DesignBuilder. Variabel bebas yang menjadi dasar pertimbangan pengaturan adalah konfigurasi elemen fasad seperti tabir surya, WWR dan balkon. Penelitian ini menggunakan tipe eksperimen yang merujuk dari Groat dan Wang (2013), yang dalam prosesnya memperhatikan 3 hal yaitu:

- *Random assigment* atau penugasan acak merupakan kriteria penting dalam penelitian eksperimen yang mendasari keyakinan bahwa unit penugasan tidak

selalu setara (tidak diperhatikan secara jelas), dikarenakan peneltitian ini lebih berfokus pada desain fasad bangunan bukan manusia.

- Adanya pengamatan lapangan yang dilakukan sebelum melakukan *treatment* tertentu.
- Perlakuan pada objek penelitian dilakukan lebih dari satu dan dibandingkan hasilnya.

Proses eksperimen pada penelitian ini dimulai dengan melakukan pengukuran lapangan demi mencari tahu dan mengamati fenomena untuk proses *modeling*. Tahapan selanjunya dengan melakukan *treatment* untuk melihat pengaruh perlakuan tersebut terhadap kondisi di lapangan. Berikut penjabaran rancangan eksperimen pada penelitian ini:

a. Permodelan Kondisi Eksisting

Tabel 3. 3: Kondisi Eksisting

Deskripsi	Adapun untuk model eksisting pada penelitian ini, bentukan ruang, bukaan dan pintu yang ada sesuai dengan keadaan aslinya tanpa ada perubahan. Tahapan ini merupakan langkah awal dalam eksperimen, untuk melihat hasil pengamatan lapangan dimodelkan dalam simulasi.
Dasar Acuan	Hasil pengukuran di lapangan. Berdasarkan hasil pengukuran ukuran WWR adalah 26%, dengan balkon terbuka yang sejajar dengan fasad lainnya. Memiliki *overhang* horizontal dan *overhang* vertikal pada salah satu sisi bukaan dengan panjang 0,4 m.
Tujuan	Tujuannya untuk mengetahui kinerja termal pada pada kondisi model rujukan yang akan diverifikasi dengan hasil pengukuran di lapangan.
Gambar	Kondisi Eksisting

b. Eksperimen 1: Mengubah besaran WWR

Tabel 3. 4: Eksperimen mengubah besaran nilai WWR

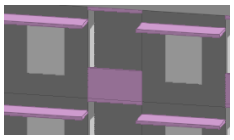
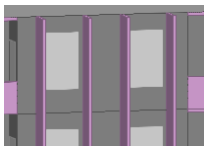
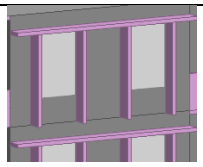
Deskripsi	Salah satu elemen fasad yang mengalami modifikasi adalah besaran luasan bukaan atau WWR. Dalam eksperimen ini dilakukan perubahan pada luasan jendela yaitu dengan menambah serta mengurangi luasannya. Adapun untuk ukuran pintu tetap sesuai dengan kondisi eksisting.
Dasar Acuan	Berdasarkan luasan area jendela rumah susun terdahulu yang memikiliki kecenderungan luasan lebih kecil (sekitar 10%), sedangkan kebanyakan rumah susun pada umumnya memiliki luasan yang lebih besar dari pada rumah susun saat ini (rusun saat ini sekitar 26%). Berdasarkan penelitian Randon (2016), WWR 20% dapat

	menurunkan permintaan energi tahunan sebesar 76,57%. Sedangkan menurut Goia (2013), fasad dengan kisaran 30-50% lebih dapat memenuhi permintaan total energi yang lebih rendah.
Tujuan	Tujuannya untuk mengetahui luasan WWR terhadap kinerja termal di dalam ruang, serta melihat perbandingan performa model yang paling baik.
Variasi Luasan	Terdapat 3 variasi dalam eksperimen ini yakni: 1. Luasan WWR 10% (Berdasarkan luasan area jendela rumah susun terdahulu yang memiliki kecenderungan luasan lebih kecil). 2. Luasan WWR 20% (Berdasarkan penelitian Randon (2016), WWR 20% dapat menurunkan penggunaan energi bangunan). 3. Luasan WWR 30% (Berdasarkan penelitan Goina (2013), fasad dengan kisaran 30-50% lebih dapat memenuhi permintaan total energi yang lebih rendah, sehingga dipilihlah WWR dengan luasan 30%).
Gambar	 WWR 10% WWR 20% WWR 30%

c. Eksperimen 2: Mengubah Konfigurasi Tabir Surya

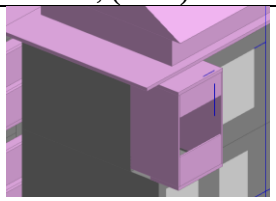
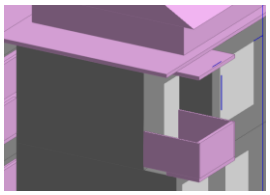
Tabel 3. 5: Eksperimen mengubah konfigurasi tabir surya

Deskripsi	Salah satu elemen fasad yang mengalami modifikasi adalah bentukan serta panjang tabir surya. Dalam eksperimen ini dilakukan perubahan pada tipe *overhang* yang digunakan dengan bebepara panjang dari *overhang* yang berbeda. Dengan melihat kecenderungan rumah susun yang ada saat ini semakin meminimalkan peran *overhang*.
Dasar Acuan	Berdasarkan tipe *overhang* yang biasa digunakan pada rumah susun terdahulu dan kebenyakan pada umumnya, serta hasil penelitian sejenis. Pada penelitian Ghosh, dkk (2018), salah satu yang paling efektif adalah horizontal-vertikal dengan panjang 50 cm. Selain itu penelitian oleh Liu, dkk (2019), mendapatkan hasil efektif untuk dengan sudut 90^{o} memiliki panjang 60 cm.
Tujuan	Tujuannya untuk mengetahui konfigurasi dari segi tipe dan panjangnya terhadap kinerja termal di dalam ruang, serta melihat perbandingan performa model yang paling baik.
Variasi Model	Terdapat 3 variasi dalam eksperimen ini yakni: 1. Tipe horizontal 2. Tipe vertikal 3. Tipe Kombinasi horizontal vertikal Pemilihan tipe horizontal *overhang* dan vertikal *overhang* didasarkan pada jenis perangkat yang telah umum digunakan di lapangan, serta tipe kombinasi horizontal *overhang* dan vertikal *overhang* didasarkan pada salah satu tipe yang paling efektif dengan panjang 50 cm

	(Ghosh, dkk, 2018). Dengan perbedaan panjang yaitu: • 0,4 m • 0,6 m • 0,8 m Pemilihan panjang *overhang* berdasarkan atas beberapa variasi panjang *overhang* yang telah diteliti oleh Liu, dkk (2019), yaitu panjang 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; dan 0,7, dan hasil yang efektif untuk *overhang* dengan sudut 90^{o} memiliki panjang 60 cm. Sehingga panjang 60 cm digunakan sebagai acuan dengan batas bawah 40 cm dan batas atas 80 cm.
Gambar	   Horizontal *overhang* Vertikal *overhang* Horizontal-vertikal

d. Eksperimen 3: Mengubah Konfigurasi Balkon

Tabel 3. 6: Eksperimen mengubah konfigurasi balkon

Deskripsi	Salah satu elemen fasad yang mengalami modifikasi adalah bentukan balkon. Dalam eksperimen ini dilakukan perubahan pada tipe balkon yang digunakan, seta balkon dibuat lebih menonjol dibanding area fasad lain berdasarkan tipologi fasad rumah susun pada umumnya yang ada di Surabaya. Adapun untuk jendela yang berada pada fasad bagian dalam dipindahkan ke fasad luar pada area balkon untuk melihat efek lain dari pengaruh angin.
Dasar Acuan	Berdasarkan penelitian Omrani (2017), balkon terbuka menghasilkan kecepatan angin dalam ruang yang lebih tinggi dengan kinerja ventilasi 1 sisi (yang ditingkatkan hingga 80%).
Tujuan	Tujuannya untuk mengetahui tipe balkon seperti apa yang lebih berpengaruh terhadap kinerja termal di dalam ruang, serta melihat perbandingan performa model yang paling baik.
Variasi Model	Terdapat 2 variasi dalam eksperimen ini yakni: 1. Tipe balkon terbuka 2. Tipe balkon semi tertutup Dengan perbedaan kedalaman yaitu: • 10% • 20 % • 30% Tipe dan kedalaman balkon dipilik berdasarkan acuan dari penelitian Omrani, (2017).
Gambar	  Balkon semi tertutup Balkon terbuka

e. Eksperimen 4: Kombinasi elemen fasad

Tabel 3. 7: Eksperimen mengatur kombinasi elemen fasad

Deskripsi	Dalam eksperimen ini dilakukan kombinasi elemen fasad yang meliputi luasan WWR, tabir surya dan balkon. Adapun untuk ukuran pintu tetap sesuai dengan kondisi eksisting. Bukaan yang ada pada sisi fasad bagian dalam dipindahkan ke area balkon, untuk melihat pengaruhnya.
Dasar Acuan	Berdasarkan hasil eksperimen sebelumnya terhadap WWR, tabir surya serta balkon, maka dipilihlah beberapa kombinasi elemen fasad. Kombinasi pertama dan kedua dipilih berdasarkan hasil pengaruh tertinggi dan terendah pada kinerja termal ruang. Serta kombinasi lainnya dengan rentang antara hasil tertinggi dan terendah tersebut.
Tujuan	Tujuannya untuk mengetahui konsep kombinasi elemen fasad terhadap kinerja termal di dalam ruang, serta melihat perbandingan performa antar model.
Variasi	Terdapat 4 variasi dalam eksperimen ini yakni: 1. Kombinasi dengan WWR 10%, tipe tabir surya horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8 m, balkon semi tertutup 30% (yang merupakan eksperimen dengan hasil yang memiliki nilai tertinggi). 2. Kombinasi dengan WWR 30%, tipe tabir surya horizontal *overhang* panjang 0,4 m, balkon terbuka 10% (yang merupakan eksperimen dengan hasil yang memiliki nilai terendah). Selanjutnya merupakan kombinasi dengan hasil eksperimen yang memiliki nilai antara rentang tertinggi dan terendah: 3. Kombinasi dengan WWR 20%, tipe tabir surya vertikal *overhang* panjang 0,6 m, balkon semi tertutup 20%. 4. Kombinasi dengan WWR 10%, tipe tabir surya horizontal *overhang* panjang 0,8 m, balkon terbuka 20%. Lebih detail dijelaskan pada Tabel 5.6.

3.7 Simulasi

3.7.1 Deskripsi Program Simulasi DesignBuilder V6.1

Program simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *software* DesignBuilder V6 - EnergyPlus. *Software* ini sendiri memiliki keunggulan dari segi *solve engine* yang sangat kuat yaitu *EnergyPlus*, dimana memiliki keakuratan untuk studi simulasi energi. Program ini juga telah menggunakan metode kesetimbangan termal untuk estimasi kinerja energi bangunan dan telah sesuai dengan standar *American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE). Komponen perolehan panas per jam, yang berasal dari panas konduksi dan radiasi matahari melalui selubung bangunan dapat dihitung

dengan Energy-Plus. Sejalan dengan ini DesignBuilder juga telah divalidasi untuk mensimulasikan keseimbangan energi secara rinci antara fasad dan perangkat shading (Liu, dkk, 2019).

DesignBuilder juga ditujukan bagi para perancang serta *engineer* dalam hal mendesain bangunan yang berkelanjutan dan mendapatkan verifikasi bangunan yang ramah lingkungan dengan label LEED dan BREEAM. *Software* ini mengedepankan pengoptimalan pilihan desain yang lebih efisien energi, meningkatkat kenyamana, dan menghemat biaya.

3.7.2 Kelebihan Program Simulasi DesignBuilder V6.1

EnergyPlus dan Radiance, merupakan software simulasi yang kuat dan banyak diakui secara global. Simulasi ini memiliki beberapa kelebihan sehingga menjadi salah satu yang paling andal dalam kaitannya dengan estimasi kinerja energi. Salah satu kelebihan yang dimiliki adalah model 3-D geometrinya yang mudah dipelajari dan digunakan, serta didukung dengan impor model dari *software* lain seperti Revit dan BIM. Selanjutnya terintegrasi dengan penggunaan energi bangunan yang berasal dari pencahayaan alami, serta analisa kenyamanan yang besaral dari pengaruh kecepatan angin melalui CFD, memudahkan dalam pengambilan keputusan desain dengan informasi yang lebih lengkap. Hal lainnya dari segi analisis dampak berbagai pilihan fasad terhadap pemanasan dan beban pendinginan, kinerja pencahayaan alami dan kenyamanan termal (www.designbuilder.co.uk).

EnergyPlus pada dasarnya secara akurat dapat memodelkan potensi dari desain pasif yang menggunakan ventilasi alami, dan pelapis elektrokromik, energi surya terbarukan, massa termal dan PCM, dll. Tidak hanya itu, secara visualisasi dan pengkomunikasiannnya terbilang cukup baik dengan adanya fitur pemberian warna yang informatif untuk zona dan permukaan yang berbeda, hingga penggunaan kisi.

3.7.3 Kekurangan Program Simulasi DesignBuilder V6.1

Perangkat DesignBuilder ini juga memiliki kekurangan dalam pengoperasiannya. Seperti halnya dalam pembuatan model bangunan pada

simulasi DesignBuilder ini, dilakukan penyederhanaan dari kondisi aslinya. *Software* ini juga memiliki limitasi yaitu untuk zona model tidak boleh melebihi 50 zona (Dewi, 2016). Selain itu untuk beberapa wilayah, data iklim yang disediakan oleh softwere ini masih memiliki kekurangan dalam hal ketersediaan lokasi iklim yang lebih terperinci.

3.7.4 Referensi DesignBuilder V6.1

Untuk tujuan penelitian ini, perangkat lunak simulasi DesignBuilder telah dipilih, yang mampu menampilkan kinerja termal bangunan dengan indikator temperatur udara, kelembapan, radiasi matahari serta didukung dengan komputasi CFD dan pencahayaan alami dan konsumsi energi. Untuk memastikan keakuratan hasil simulasi, tahap awal penelitian dapat dilakukan dengan verifikasi terhadap studi di lapangan.

Adapun dalam menjalankan simulasi melewati beberapa tahapan dan proses, mulai dari membuat model rujukan, input data, tahap simulasi, serta *output* data. Berikut gambaran proses simulasi designbuilder:

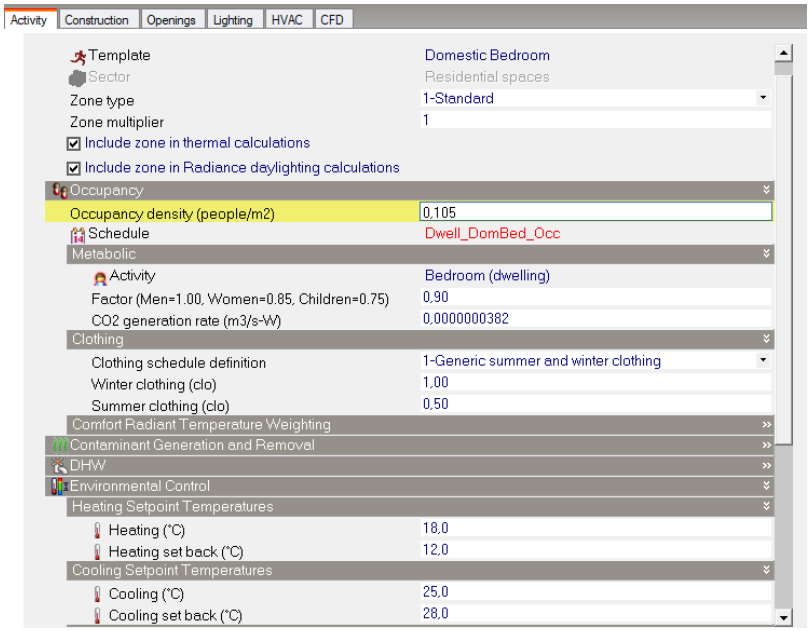
- Membuat model bangunan model rujukan
- Data *input*

Tabel 3. 8: Input data simulasi

	Input Simulasi	Sumber & Keterangan
Activity Template: Domestic Bedroom, Residential spaces		
Okupansi	0,105 orang/m^2	Jumlah orang dalam hunian (2-3 orang)
Pola Penghunian	*For weekdays* Hingga: 07:00, 100%, Hingga: 08:00, 50%, Hingga: 09:00, 25%, Hingga: 17:00, 0, Hingga: 23:00, 25%, Hingga: 24:00, 100%,	Pola penghunian ruang mengikuti pola huni untuk fungsi bangunan rumah susun
Metabolic	Faktor 0,90	*Metabolic* faktor untuk pria & wanita
Clothing	0,5	*Summer clothing* 0,5 clo.
Lighting	Target Illuminance: 150 Lux. General lighting: Normalised Power density: 3 W/m^2 – 100 Lux	Acuan 150 lux untuk kamar tidur, berdasrkan SNI-03-6575-2001, dalam hunian terdapat beberapa buah lampu.
Construction		
Dinding Bata	Dinding bata 15 cm, 3 *layer*, U-	Acuan material mendekati:

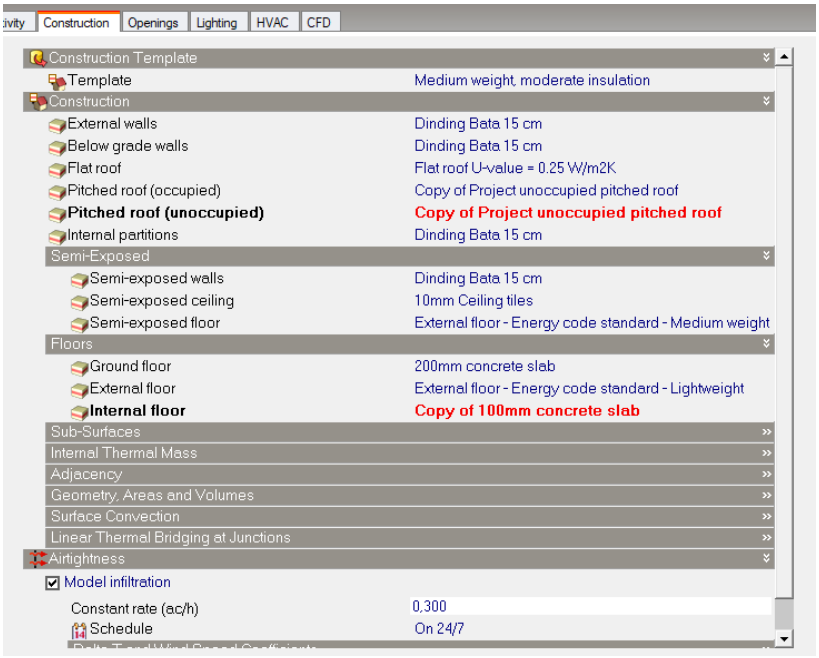
(*external Wall*)	Value: 2,643 W/m^2-K, R-Value: 0,378 m^2-K/W	*single skin*, 220mm *plastere* (Szokolay, 2004)
Jendela	*Single clear* 6 mm *glazing, with aluminium window frame,* U-Value: 5,77 W/m^2-K, Total solar transmission 0,819	
Lantai	*Concrate slab* 100mm, *2 layer, with ceramic,* U-Value: 2,864 W/m^2-K	Acuan material mendekati: *Concrate on slab: 2 edges expose* (Szokolay, 2004).
Atap	*Unoccupied pitched roof,* U-Value: 0,192 W/m^2-K	
Ventilasi Alami		
HVAC	*Natural Ventilation- No Heating/cooling*	

Gambar dibawah ini menunjukkan *setting* untuk *activity* dalam simulasi. Setting disesuaikan dengan fungsi bangunan residential dan berupa ruang hunian. Adapun kondisi ruang dalam keadaan kosong.

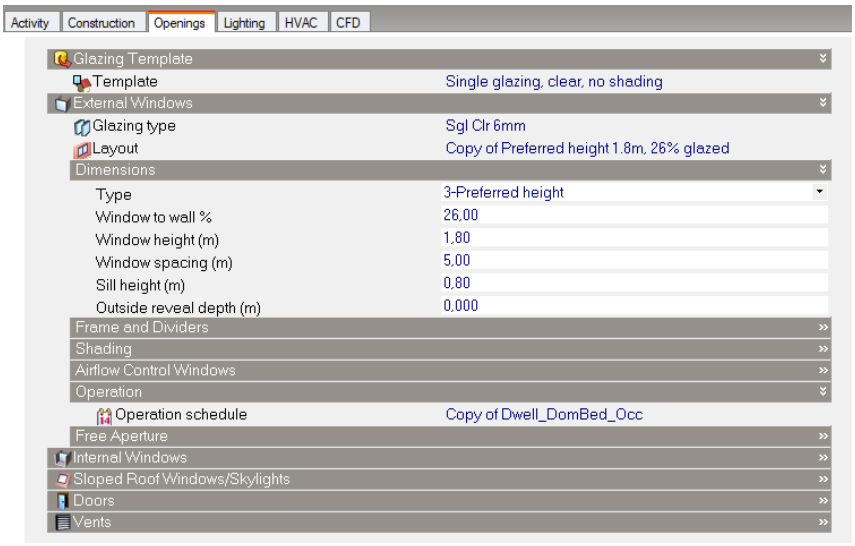


Gambar 3. 12. *Setting activity*

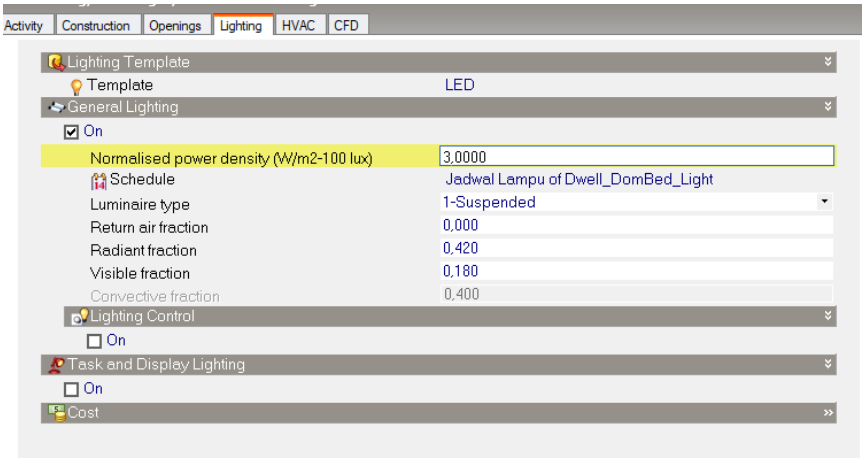
Gambar 3.12, 13, 14 menunjukkan *setting* untuk jenis material yang digunakan untuk bangunan model rujukan. Material bangunan disesuaikan mendekati kondisi pada eksisting.



Gambar 3. 13. *Setting* jenis material

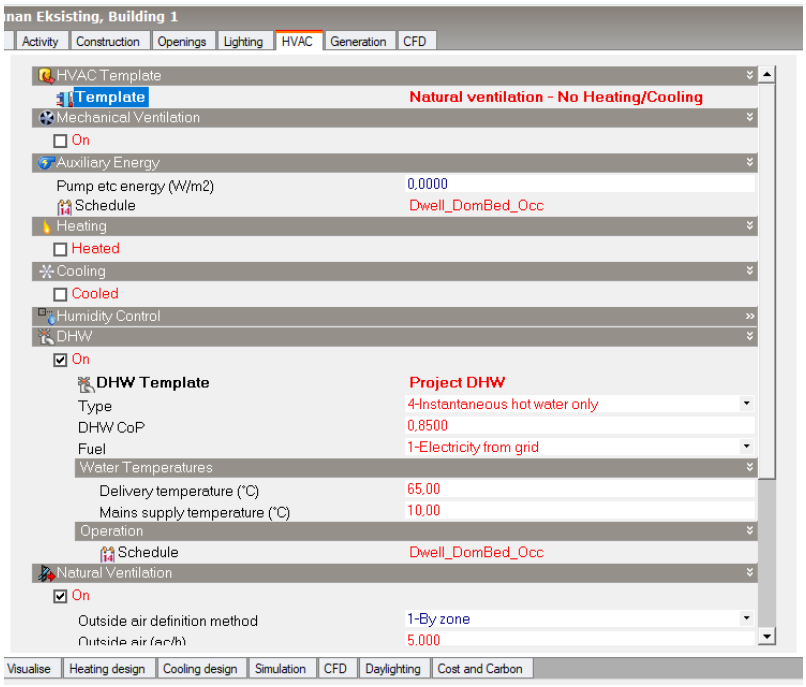


Gambar 3. 14. *Setting opening*



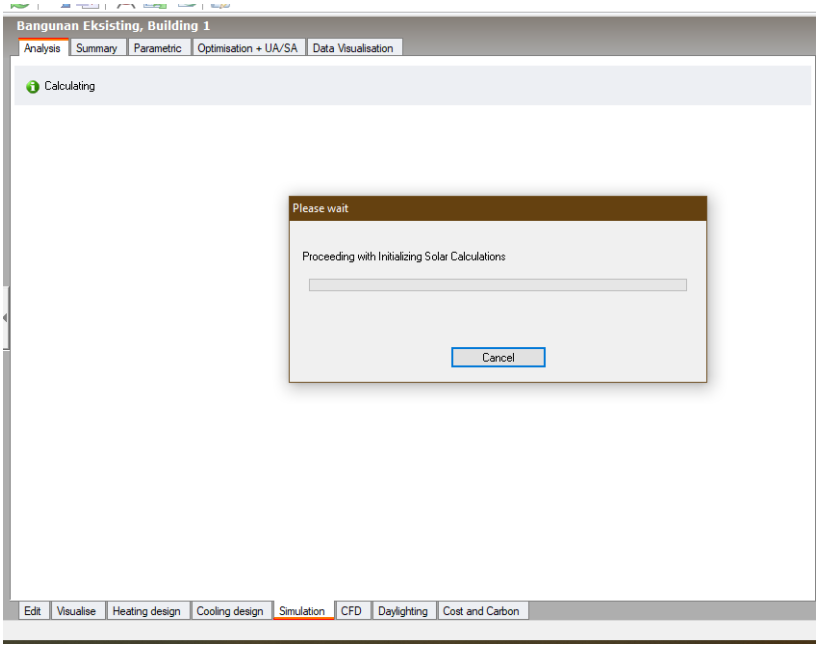
Gambar 3. 15. *Setting* pencahayaan

Gambar 3.15 merupakan *setting* untuk sistem penghawaan bangunan model rujukan pada simulasi. *Tamplate* untuk sistem panghawaan diatur hanya menggunakan ventilasi alami.



Gambar 3. 16. *Setting* sistem penghawaan

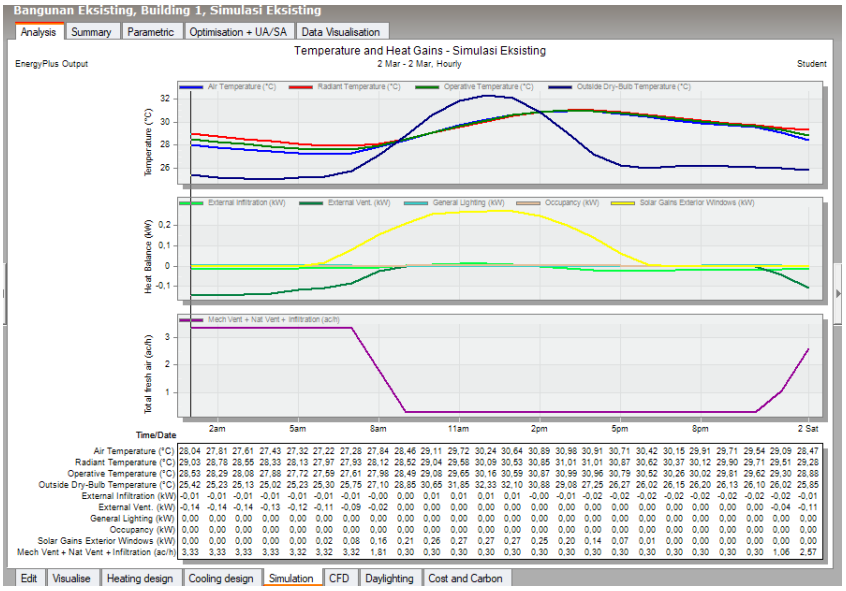
- Proses simulasi



Gambar 3. 17. Proses simulasi

- Data *output*

Gambar 3.17 menampilkan hasil simulasi yang dapat menyajikan data dalam bentuk grafik maupun tabel. Data yang dihasilkan dapat berupa data kondisi termal bangunan per jam, per hari, per bulan bahkan data tahunan.



Gambar 3. 18. *Output* data

3.8 Metode Analisa Data

Analisa data yang akan dilakukan pada penelititan ini yaitu analisa deskriptif kuantitatif dan statistik inferensial. Analisis deskriptif kuantitatif terdiri dari mengumpulkan data, mengatur, meringkas, menampilkan, serta menganalisa data. Data-data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah dan dianalisis dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) Microsoft Excel. Microsoft Excel digunakan untuk mentabulasi data, mengolah, memilah-milah dan mengelompokkan data berdasarkan hasil pengukuran temperatur, kelembaban, kecepatan angin, dll. Penyajian data dapat berupa tabel, diagram maupun grafik yang sesuai untuk merepresentasikan data tersebut.

Metode analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini mempertimbangkan tujuan penelitian melalui tahapan-tahapan berikut ini:

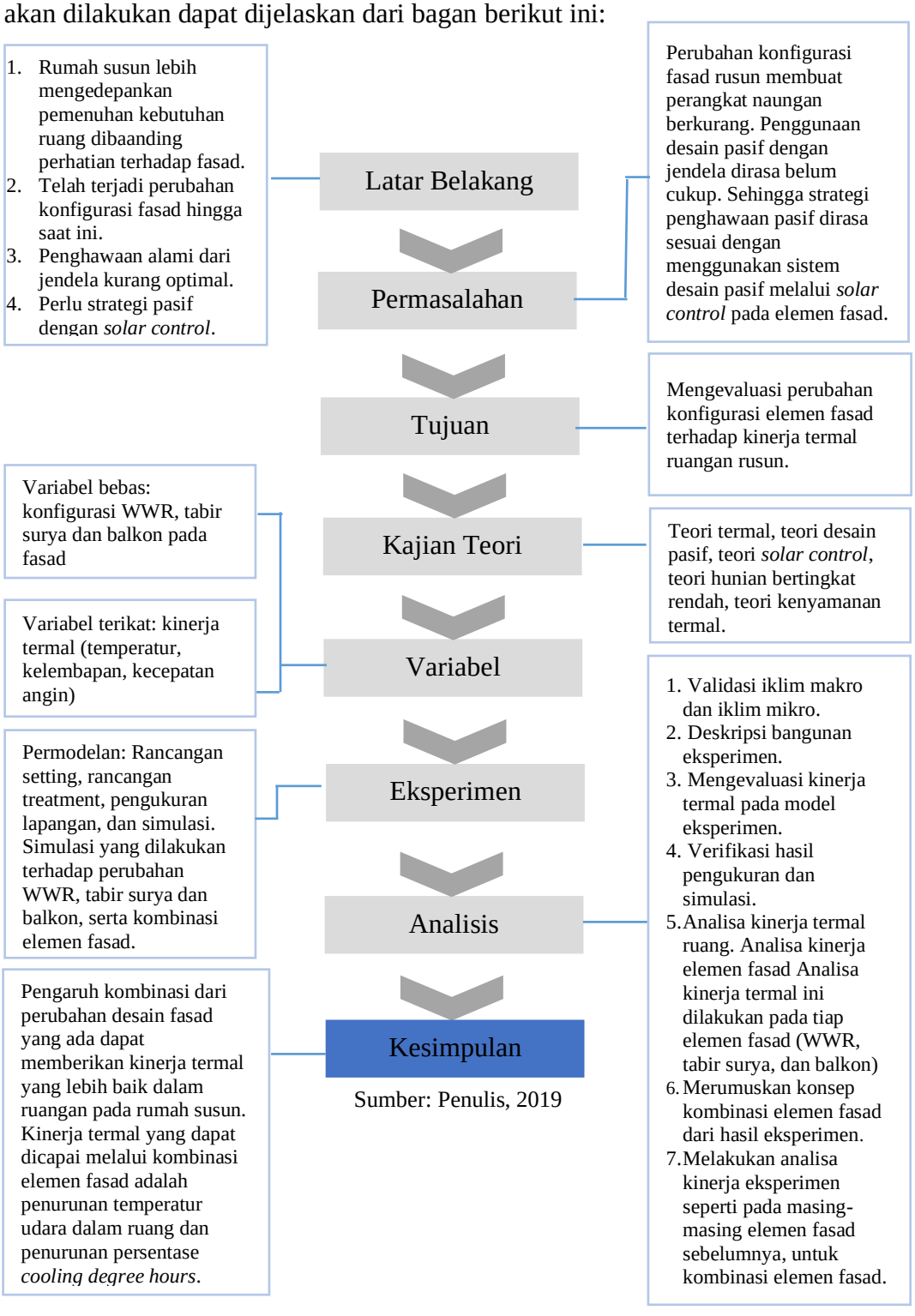
1. Menganalisa validasi kondisi iklim makro Surabaya dan iklim mikro kawasan penelitian melalui penjelasan hubungan antara variabel iklim (temperatur udara, kelembapan dan kecepatan angin). Hasil validasi ini digunakan sebagai acuan penggunaan data ilkim untuk simulasi.
2. Mendeskripsikan kondisi bangunan eksperimen serta karakteristik dari kinerja elemen fasad yang digunakan.
3. Menganalisa kinerja termal pada area ruang dalam dengan parameter temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin pada model eksperimen. Kinerja termal dianalisa melalui perbandingan kondisi pada ruang eksperimen dan kondisi di luar ruang.
4. Melakukan verifikasi bangunan model rujukan pada simulasi.
5. Melakukakan analisa terhadap indikator kinerja termal berupa profil temperatur, kelembapan dan kecepatan angin yang dipengaruhi oleh perbedaan luasan WWR, penggunaan tabir surya dengan masing-masing tipe dan panjang yang berbeda, serta dua tipe balkon dengan masing-masing kedalaman yang berbeda. Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil profil temperatur, kelembaban, dan kecepatan angin yang didapatkaan antara tiap model eksperimen terhadap model rujukan.
6. Melakukan analisa kinerja termal dari masing-masing elemen bangunan. Dalam hal ini parameter yang menjadi pembahasan dalam evaluasi kinerja

termal bangunan yaitu *cooling degree hours*, lama kenyamanan, serta efek fisiologis dari kecepatan angin yang dihubungkan dengan WSc. Tiap parameter ini akan digunakan untuk membahas kinerja termal masing-masing elemen fasad yaitu luasan WWR, tabir surya, serta balkon.

7. Melakukan analisa kinerja elemen fasad bangunan dengan mengkaitkannya terhadap salah satu paremeter kinerja termal. dalam hal ini masing-masing elemen fasad luasan WWR, tabir surya dan balkon dilihat pengaruhnya. Nilai penurunan temperatur ruang dan persentase penurunan *cooling degree hours* menjadi penilaian untuk kinerja elemen fasad bangunan.
8. Merumuskan konsep kombinasi elemen fasad dari hasil eksperimen, yang dapat digunakan sebagai bahan diskusi dalam perancangan fasad bangunan rumah susun. Adapun pertimbangan model kombinasi didapatkan dari hasil pengaruh elemen fasad terhadap kinerja termal yang dilakukan pada eksperimen. Pertimbangan pemilihan kombinasi elemen fasad dilakukan dengan melihat hasil terbaik maupun yang paling buruk, serta kombinasi dari rentang antara performa terbaik dan paling buruk tersebut.
9. Melakukan analisa hasil seperti pada masing-masing elemen fasad sebelumnya, yaitu dengan melakukan analisa terhadap profil temperatur, kelembaban serta kecepatan angin. Selanjutnya melakukan analisa terhadap kinerja termal ruang dengan parameter *cooling degree hours*, lama kenyamanan, serta efek fisiologis dari kecepatan angin. Terakhir adalah melakukkan analisa terhadap kinerja elemen bangunan, dalam hal ini untuk melihat kinerja dari model kombinasi elemen fasad terhadap penurunan temperatur udara dalam ruang dan persentase panurunan *cooling degree hours*.

3.9 Tahap Penelitian

Tahap penelitian merupakan tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini untuk mencapai tujuan yang telah dirumuskan. Berikut tahapan yang akan dilakukan dapat dijelaskan dari bagan berikut ini:



Sumber: Penulis, 2019

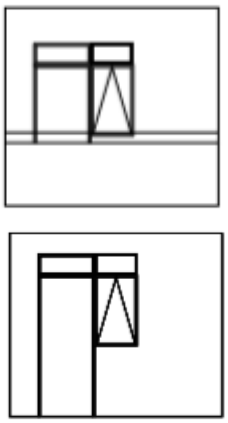
BAB 4
KINERJA TERMAL RUMAH SUSUN

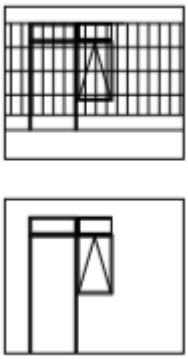
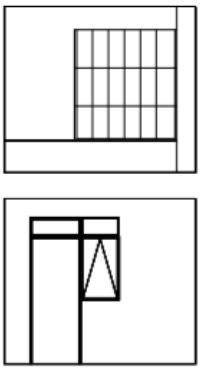
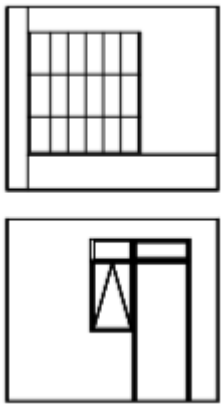
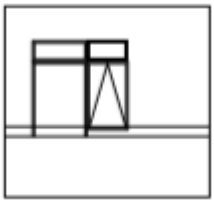
Hasil pengukuran lapangan yang dilakukan untuk memvalidasi data iklim dibahas dalam bab ini. Selanjutnya akan dilakukan analisa dan pembahasan, sehingga akan diketahui hubungan sebab akibat dari faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi lingkungan setempat. Selanjutnya hasil pengukuran berupa data nilai temperatur udara, kelembapan, arah dan kecepatan angin, yang dilihat pada lokasi *indoor* dan *outdoor*.

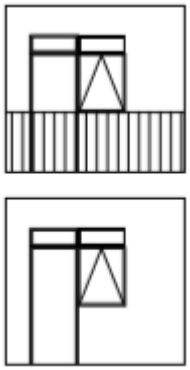
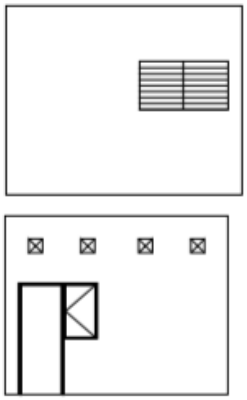
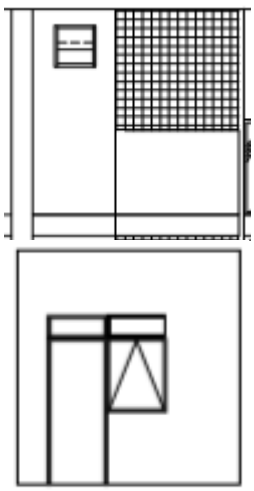
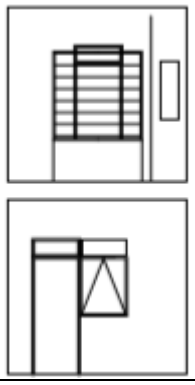
4.1 Studi Tipologi Perubahan Fasad Rumah Susun di Surabaya

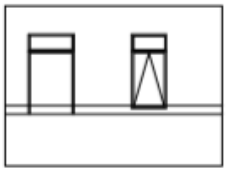
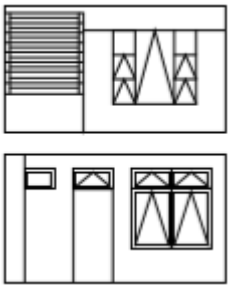
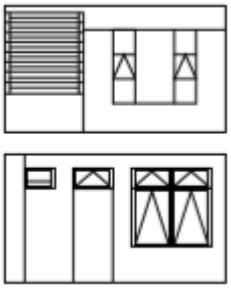
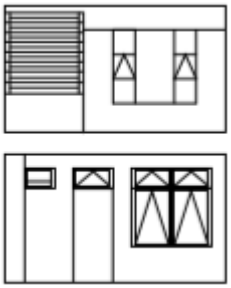
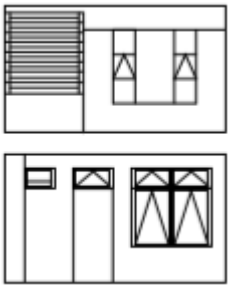
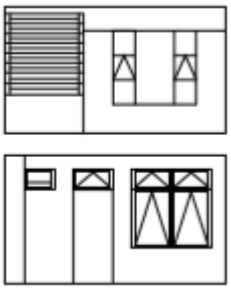
Seiring dengan perkembangan zaman, desain rumah susun masih memiliki tipologi yang cenderung mirip baik dari segi ruang maupun fasad. Selama ini yang menjadi fokus dalam penyediaan rumah susun adalah pemenuhan kebutuhan ruang di tengah keterbatasan lahan yang ada. Dengan demikian, elemen desain lainnya seperti fasad masih kurang mendapat perhatian, dalam mempengaruhi performa kinerja termal ruang. Karakterisasi unit dapat dilihat pada tabel 4.1:

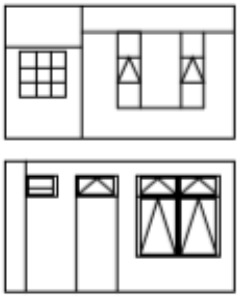
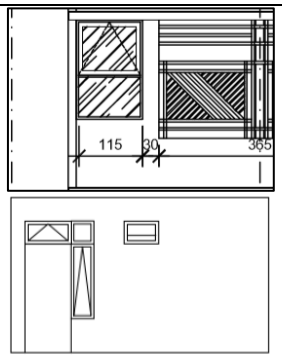
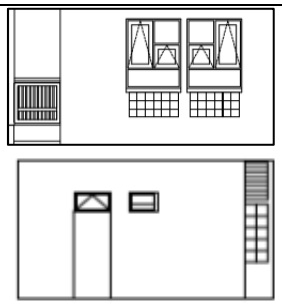
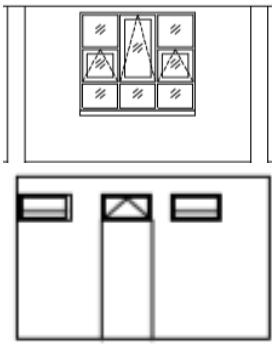
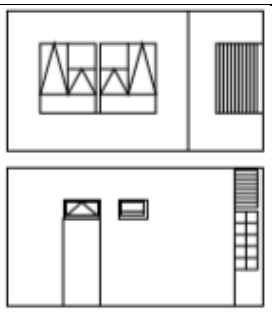
Tabel 4. 1: Gambaran tipologi fasad unit rumah susun

No	Tipe	Nama Rusun	Gambar Fasad
1	Balkon di Depan	Sombo Simolawang	

		Penjaringansari 1	
		Penjaringansari 2	
		Wonorejo	
		Tanah Merah 1	

		Dupak	
		Gunung Sari	
		Randu	
		Urip Sumoharjo	

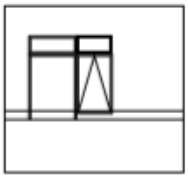
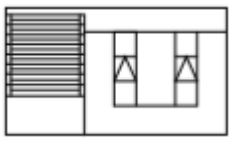
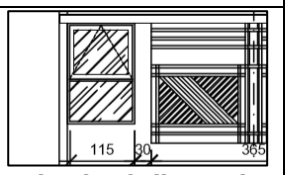
		Waru Gunung	
2	Balkon di Samping Menjorok ke Depan	Penjaringansari 3	
		Tanah Merah 2	
		Grudo	
		Jambangan	
		Pesapen	

		Siwalankerto 1	
3	Balkon di Samping	Siwalankerto 2	
		Keputih	
4	Tanpa Balkon	Dukuh Menanggal	
		Tambak Wedi	

Sumber: Gambar tampak dari Dinas Perumahan Rakyat Kawasan Permukiman Cipta Karya dan Tata Ruang

Telah terjadi sedikit perubahan salah satunya pada perkembangan tipologi fasad rumah susun yang ada di Surabaya. Tabel 4.2 dijelaskan beberapa perubahan yang terjadi pada elemen fasad rumah susun:

Tabel 4. 2: Perubahan fasad rumah susun di Surabaya

No	Elemen Fasad	Rusun Terdahulu	Rusun Kebanyakan Umumnya	Rusun Saat Ini
1	Balkon	 Balkon yang ada pada fasad rumah susun terdahulu seperti Sombo, Simolawang, Dupak, dll memiliki karakteristik tipe balkon terbuka.	 Tipe balkon yang ada pada rusun kebanyakan yang pada umumnya ada di Surabaya adalah tipe semi tertutup dengan balkon disalah satu sisi fasad. Adapun balkon lebih sedikit menjorok ke depan dari fasad bangunan.	 Sedangkan balkon pada fasad rumah susun saat ini memiliki tipe terbuka yang dibatasi oleh reling, dengan luas area setengan dari panjang keseluruhan fasad tiap unitnya. Balkon berada sejajar dengan fasad bangunan.
2	Tabir Surya	Pola susunan ruang serta desain fasad pada rumah susun terdahulu memiliki ciri khas sosoran atap yang lebih panjang, serta balkon dan pola ruang yang menonjol ke depan dapat difungsikan sebagai perangkat tabir surya.	Selanjutnya elemen fasad pada rumah susun yang umumnya dijumpai di Surabaya mengalami perkembangan dan sedikit perubahan. Sosoran atap tidak sepanjang seperti yang ada di rumah susun terdahulu, dan hanya bagian balkon yang menjorok ke depan. Namun elemen tabir surya masih dapat djumpai pada bagian atas bukaan berupa horizontal dengan panjang ±0,7m.	Pada rumah susun saat ini, terdapat beberapa perubahan dari fasad rumah susun sebelumnya. Seperti adanya perubahan pada bentukan balkon, serta yang semakin berkurang dengan panjang hanya 0,4m.

3	WWR	Bukaan atau bidang transparan pada rumah susun terdahulu cenderung mimiliki luasan yang tidak terlalu besar, kurang lebih 15% dari total luasan dinding.	Kebanyakan tipologi fasad rumah susun, memiliki bukaan atau bidang transparan yang cukup besar sekitar rata-rata kurang lebih 40% dari luas total area dinding. Selain memiliki bidang yang luas, jendelanya terdiri atas beberapa bagian bidang kaca masif dan jendela .	Pada rumah susun saat ini, luas bukaan atau bidang transparan memiliki area yang cukup luas sekitar kurang dari 30% luasan total dinding. Namun bukaan hanya terbagi 2, bagian atas merupakan jendela sedangkan bagian bawah merupakan kaca mati.

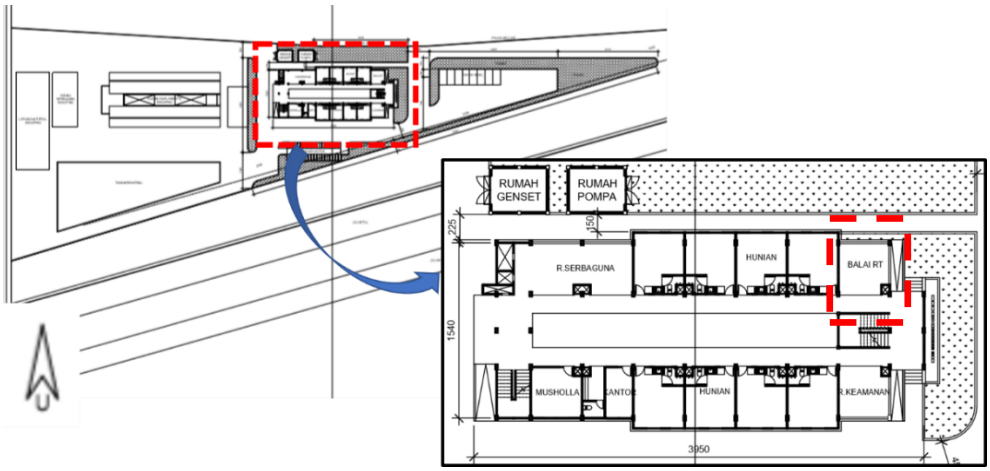
Berdasarkan hasil pemaparan tabel 4.2 diketahui bahwa elemen fasad yang mengalami perubahan pada rumah susun di Surabaya dari segi ukuran WWR, tabir surya, serta bentukan balkon. Luasan bukaan maupun WWR berubah lebih besar yang lebih mengedepankan tampilan visual, serta kebutuhan akan *view* luar dibandingkan dengan fungsinya sebagai penyedia ventilasi alami. Begitupula dengan perangkat tabir surya yang semakin berkurang dibandingkan pada rumah susun terdahulu. Selanjutnya elemen fasad balkon juga mengalami perubahan bentuk yang tidak menonjol ke depan, dengan efek naungan yang semakin berkurang.

4.2 Deskripsi Subjek dan Objek Penelitian

4.2.1 Lokasi dan Orientasi

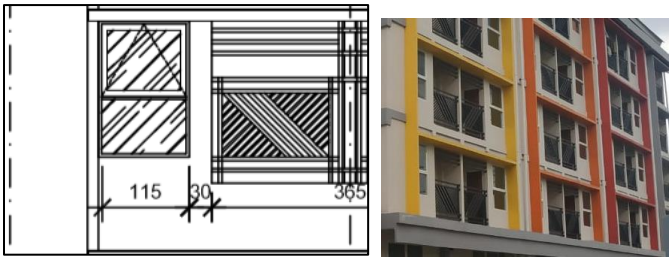
Unit rumah susun Siwalankerto 2 dipilih sebagai bangunan model rujukan karena memiliki kriteria yaitu blok dengan jenis *twin block*, unit rumah susun berukuran terbatas (tipe studio), dan memiliki balkon di samping seperti kebanyakan rumah susun di Surabaya berdasarkan studi tipologi sebelumnya. Rumah susun Siwalankerto terletak di jalan Siwalankerto Timur V Mulyosari, Kecamantan Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur 60236. Bangunan memiliki 5 lantai dengan sebagian besar unit hunian terletak di lantai 2 sampai 5. Setiap lantai tipikal memiliki 14 unit hunian dengan luasan 4,5 x 5,25 m2 yang ditujukan untuk 2 sampai 3 penghuni setiap unitnya. Berdasarkan perhitungan total terdapat 60 unit hunian ditambah 4 unit hunian di lantai dasar sesuai dengan standard bangunan rumah susun. Sebelah Utara lokasi *site* berbatasan dengan area

persawahan dan kolam pemancingan, sedangkan sisi Selatan berbatasan dengan jalan tol Waru-Juanda.



Gambar 4. 1. *Site plan* rumah susun Siwalankerto (Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Cipta Karya & Tata Ruang)

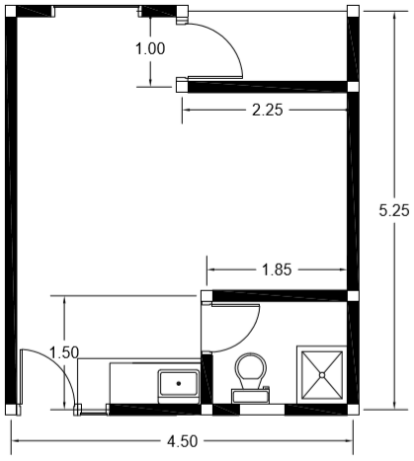
Bentuk fasad dari bangunan rumah susun ini dapat dilihat pada gambar 4.2 yang dibuat tipikal, dengan tiap dua ruangan yang disusun secara *mirror*. Fasad bagian depan unit rumah susun terdiri dari satu jendela besar, dengan ukuran 115 x 180 cm yang terbagi atas dua jenis jendela. Jendela yang pertama berada dibagian atas dengan jenis jendela *awning* berukuran 115 x 90 cm, dengan jarak bukaan jendela sekitar 30 cm, sedangkan pada bagian bawahnya merupakan jendela dengan kaca mati yang memiliki ukuran yang sama. Selain itu fasad bagian dalam rumah susun terdapat satu buah pintu serta jendela dengan jenis *awning* yang berbentuk memanjang berukuran 40 x 150 cm yang pada bagian atasnya terdapat *bovenlight*.



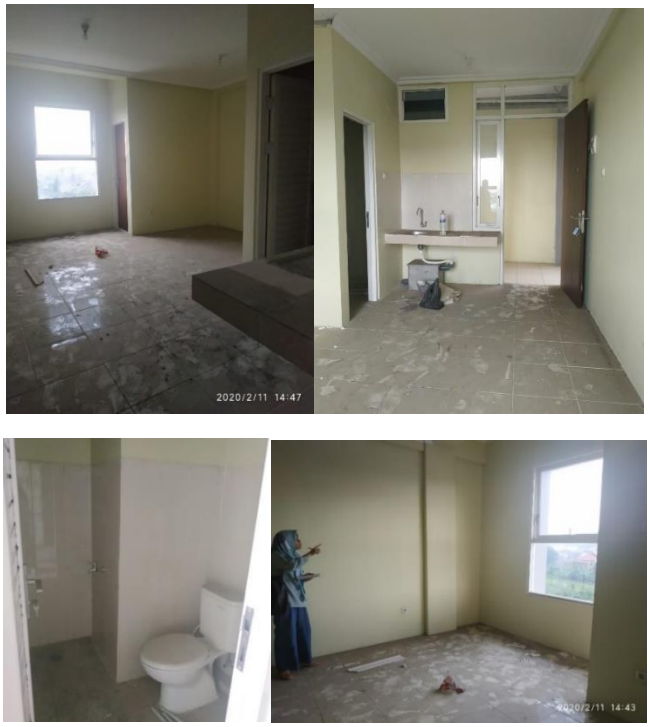
Gambar 4. 2. Fasad rumah susun Siwalankerto 2

4.2.2 Dimensi Ruang dan Keberadaan Bukaan

Unit rumah susun Siwalankerto 2 ini merupakan unit tipe studio dengan sistem *open plan* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3. Denah dari unit rumah susun ini sendiri berukuran 4,5 x 5,25 m. Selain itu susunan letak ruang yang ada pada rumah susun ini berdasarkan studi tipologi merupakan jenis rumah susun yang memiliki balkon di samping. Namun untuk perletakkan area servis terdapat sedikit perbedaan dengan rumah susun yang memiliki balkon di samping yaitu dapur yang berada tidak bersebelahan dengan area balkon melainkan berdekatan dengan pintu masuk. Selanjutnya untuk area kamar mandi masih sama dengan tipologi rumah susun pada umumnya yang terletak di sudut ruangan. Bukaan pada unit rumah susun ini hanya terdapat pada dua sisi fasad saja, mengandalkan prinsip ventilasi silang sebagai sistem penghawaan alami.



Gambar 4. 3. Denah



Gambar 4. 4. Kondisi dalam unit

1. Tipe Bukaan

Jenis bukaan yang ada pada rumah susun Siwalankerto 2 ini secara rincinya dapat dilihat pada Gambar 4.5. Terdapat tiga jenis bukaan yang digunakan yaitu jendela dengan jenis *awning* dan kaca mati, serta terdapat *bovenlicht* pada sisi atas jendela dan pintu. Sayangnya tipe jendela ini masih kurang maksimal sebagai ventilasi yang memasukkan aliran udara secara merata ke dalam ruang.

2. Dimensi Bukaan

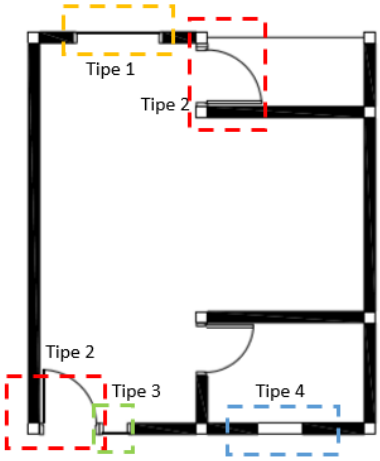
Bukaan pada unit rumah susun memiliki dimensi yang berbeda-beda sesuai dengan tipenya, yaitu:

Gambar 4. 5. Jenis jendela dan dimensi bukaan unit rumah susun

3. Posisi Bukaan

Bukaan pada unit rumah susun ini berada di dua sisi dinding yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:

a. Tipe 1 dan 2 berada pada sisi fasad Utara.
b. Tipe 2, 3 dan 4 berada di sisi fasad Selatan dengan posisi dinding yang berbatasan dengan koridor dengan ketinggian yang sama.



Gambar 4. 6. Posisi bukaan pada unit rumah susun

Ikim memiliki kaitan yang sangat erat sebagai penentu kenyamanan termal di dalam ruang. Perlu adanya analisa iklim untuk mengetahui apa saja potensi dan permasalahan dari faktor iklim yang mempengaruhi kondisi termal di dalam ruang pada konteks penelitian ini. Elemen iklim yang dijadikan dasar pertimbangan dalam analisis adalah temperatur udara, kelembapan relatif, serta kecepatan dan arah angin yang ada d lingkungan Rusunawa Siwalankerto 2.

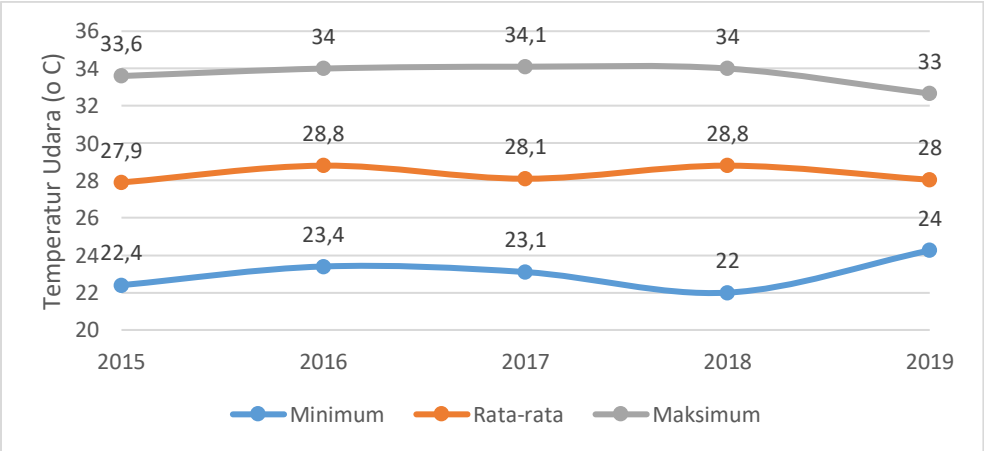
4.2.3 Kondisi Iklim Makro Surabaya

Secara geografis letak kota Surabaya berada antara 07,21 Lintang Selatan dan 112,36 s.d 112,54 Bujur Timur. Sebagian besar wilayahnya merupakan daratan rendah dengan ketinggian 3-6 meter diatas permukaan air laut, kecuali di sebelah Selatan ketinggian 25-50 meter di atas permukaan air laut. Data klimatologi terdekat dapat diperoleh dari stasiun BMKG Surabaya. Selain itu untuk melihat kecenderungan dari kondisi iklim Kota Surabaya secara umum, dapat dilihat dari data rata-rata iklim 5 tahun terakhir. Gambaran kondisi iklim 5 tahun terakhir yang dapat dilihat pada tabel 4.1 serta grafik 4.7 berikut:

Tabel 4. 3: Nilai Rata-rata, Minimum, dan Maksimum Kondisi Temperatur Udara dan Kelembaban Kota Surabaya per 5 Tahun

Tahun	Temperatur Udara (°C)			Kelembaban Relatif (RH %)		
	Minimum	Rata-rata	Maksimum	Minimum	Rata-rata	Maksimum
2015	22.4	27.9	33.6	45.9	75.2	92.7
2016	23.4	28.8	34	51.2	78.1	95.6
2017	23.1	28.1	34.1	46.1	76.8	94.8
2018	22	28.8	34	67	76	84
2019	24.3	28.0	32.7	43.3	68.8	94.3

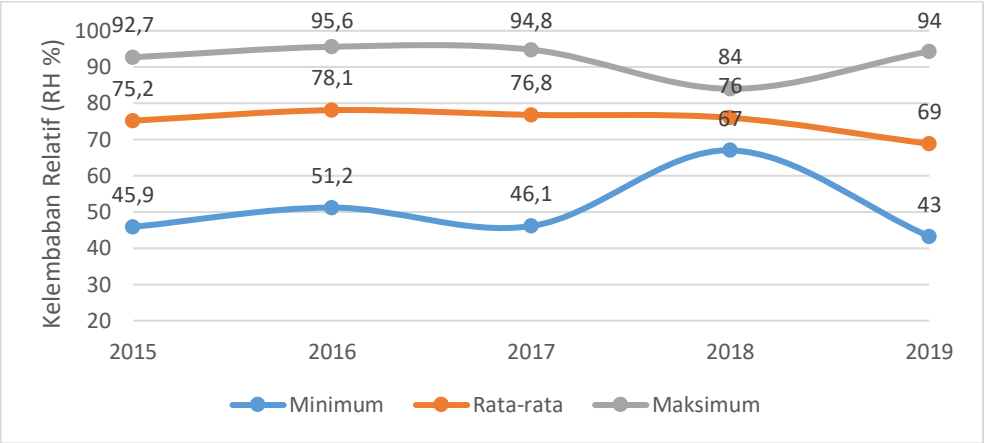
Sumber: Stasiun Meteorologi BMKG Surabaya



Gambar 4. 7. Grafik Temperatur Udara per 5 Tahun

Gambar 4.7 menunjukkan kondisi gambaran umum temperatur udara selama 5 tahun dari data iklim di Stasiun BMKG Surabaya, untuk rata-rata

temperatur udara tidak memiliki fluktuasi yang cukup signifikan dengan selisih pertahunnya kurang lebih 1^{o}C. Begitupula dengan kondisi maksimum dan minimum dari pertahunnya juga memiliki pola grafik yang sama tiap tahunnya, dengan selisih perbedaan temperatur udara yang tidak begitu jauh.



Gambar 4. 8. Grafik Kelembaban per 5 Tahun

Gambar 4.8 memperlihatkan adanya perbedaan kondisi dari nilai rata-rata, minimum, serta maksimum data kelembapan relatif per 5 tahun. Data minimum kelembapan memiliki bentuk yang kurang landai yang menandai adanya fluktuasi yang cukup signifikan pada data iklim tersebut. Nilai kelembapan maksimum dan minimum di tahun 2018 memiliki selisih angka yang cukup jauh bila dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Di samping itu nilai rata-rata dan maksimum per tahunnya tidak begitu menunjukkan perbedaan yang cukup jauh dengan selisih hanya sekitar kurang lebih 10%.

Data Iklim Kota Surabaya tahun 2019 dijadikan sebagai data terkini yang didapatkan dari BMKG stasiun Juanda Surabaya. Data yang diperoleh untuk mengetahui perbandingan kondisi iklim makro secara umum pada waktu penelitian. Hal ini dikarenakan kondisi iklim makro akan mempengaruhi kondisi iklim mikro di dalam bangunan yang dijadikan objek penelitian. Tabel 4.3 menyajikan data rata-rata temperatur udara tertinggi berada di bulan Oktober dan November dengan rentang temperatur minimum dan maksimum antara 24,1-25,8^{o}C dan 34-34,6^{o}C. Adapun untuk kecepatan angin berkisar antara 6,4-8,8 m/s, dengan arah angin yang dominan ke arah Timur.

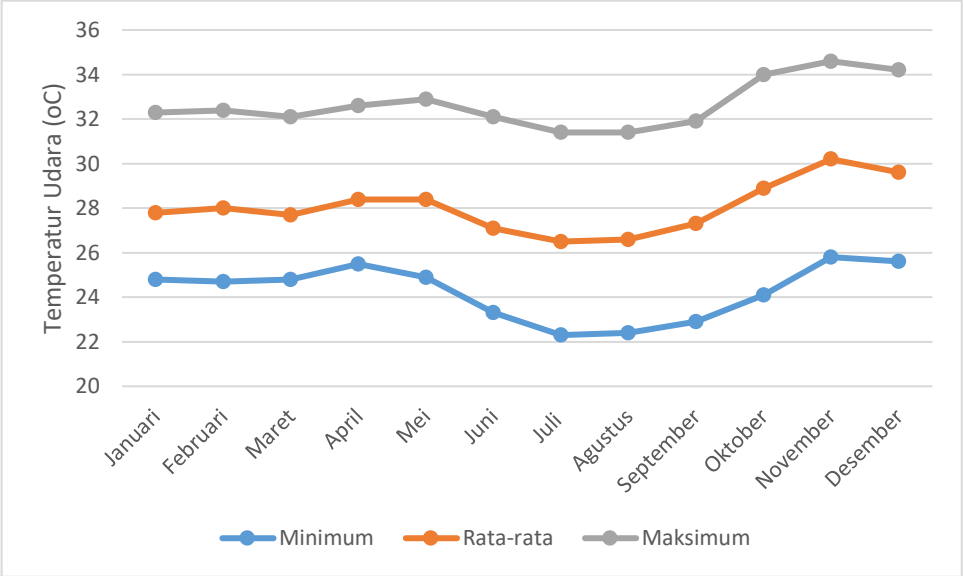
Tabel 4. 4: Kondisi Iklim Kota Surabaya di Tahun 2019

Bulan	Temperatur Udara (°C)			Kelembaban (RH)			Kecepatan Angin (m/s)	Arah Angin (°)
	Mini-mum	Rata-rata	Maksi-mum	Mini-mum	Rata-rata	Maksi-mum		
Januari	24.8	27.8	32.3	55	77	99	8.8	255
Februari	24.7	28	32.4	53	75	97	7.1	250
Maret	24.8	27.7	32.1	53	74.5	96	7.4	232
April	25.5	28.4	32.6	53	75.5	98	6.8	184
Mei	24.9	28.4	32.9	47	71.5	96	6.5	99
Juni	23.3	27.1	32.1	47	70.5	94	6.8	103
Juli	22.3	26.5	31.4	41	67	93	7.4	100
Agustus	22.4	26.6	31.4	38	64	90	8.3	109
September	22.9	27.3	31.9	34	62.5	91	8.6	130
Oktober	24.1	28.9	34	35	63	91	8.1	97
November	25.8	30.2	34.6	30	60	90	6.8	197
Desember	25.6	29.6	34.2	33	65	97	6.4	255

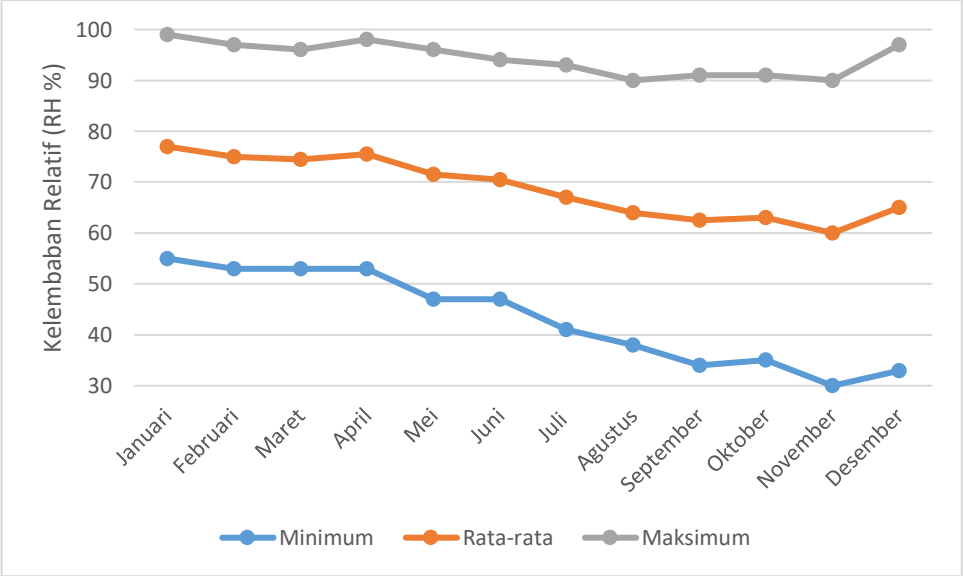
Sumber: Stasiun Meteorologi BMKG Surabaya

Gambar 4.9 menggambarkan kondisi temperatur udara per bulannya di tahun 2019. Dapat diketahui bahwa temperatur relatif turun di bulan Juli dan Agustus, yang merupakan bulan-bulan dengan musim ternyaman dalam satu tahun. Selanjutnya bulan yang memiliki nilai fluktuasi naik adalah pada bulan April dan bulan Oktober serta November yang merupakan nilai puncak temperatur udara terpanas yaitu 34,6°C. Sebaliknya gambaran grafik yang menunjukkan nilai penurunan berada di bulan Januari dan Februari.

Dari data iklim tahunan ini dapat dilihat bahwa Juli mewakili bulan terdingin di Surabaya pada tahun 2019, rata-rata temperatur udara di bulan Juli adalah 26,5° C dengan kelembapan 67%. Temperatur udara maksimum 31,4° C dan temperatur minimum 22,3° C. Sedangkan bulan terpanas adalah bulan November dengan rata-rata temperatur udara 30,2° C dengan temperatur maksimum mencapai 34,6° C. Namun pada bulan terpanas ini kelembapan mengalami penurunan, dengan nilai kelembapan hanya 60%. Dalam hal ini bulan terpanas dan terdingin tersebut merupakan pengaruh dari pergantian antara musim hujan dan kemarau yang terjadi tiap tahunnya.



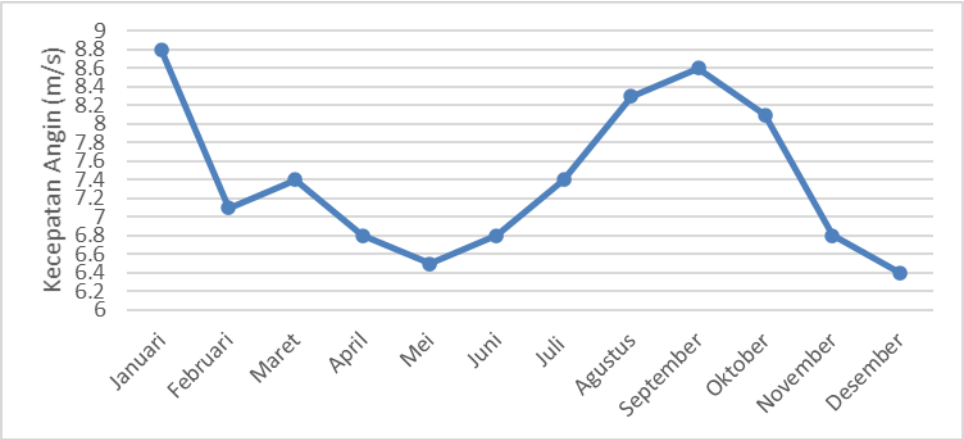
Gambar 4. 9. Grafik Kondisi Temperatur Udara tahun 2019



Gambar 4. 10. Grafik Kondisi Kelembaban Udara tahun 2019

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa kondisi kelembapan selama tahun 2019 memiliki kecenderungan yang sama dengan kondisi temperatur udara di tahun 2019. Namun untuk kondisi kelembapan itu mengalami penurunan di bulan-bulan terpanas serta kondisi temperatur udara yang tinggi, dan mengalami kenaikan pada bulan-bulan terdingin dengan temperatur udara yang cenderung lebih rendah. kelembapan tertinggi berada di bulan Januari sedangkan terendah berada di bulan November.

Kondisi kecepatan angin selama setahun cukup menunjukkan adanya nilai fluktuasi yang naik dan turun. Bulan Januari memiliki angka tertinggi untuk nilai kecepatan angin mencapai 8,8 m/s, sedangkan bulan Mei memiliki nilai terandah yaitu 6,5 m/s. Nilai dari kecepatan angin ini sendiri memiliki kecenderungan yang berbeda antara kondisi temperatur dan kelembapan, dengan pola yang dapat berubah cukup drastis

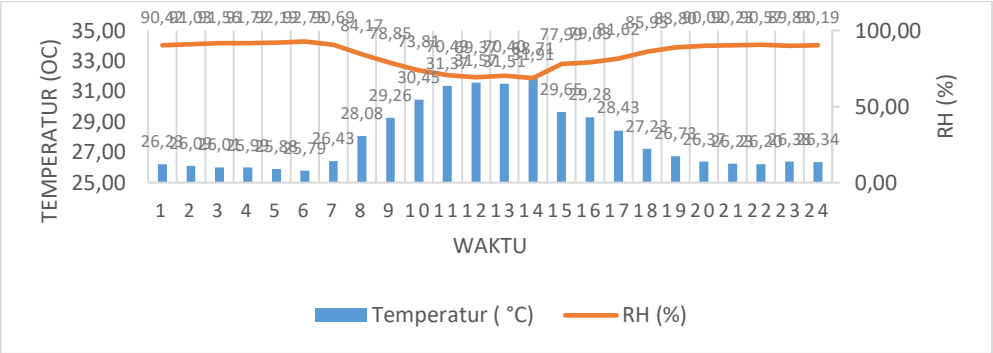


Gambar 4. 11. Grafik Kondisi Kecepatan Angin tahun 2019

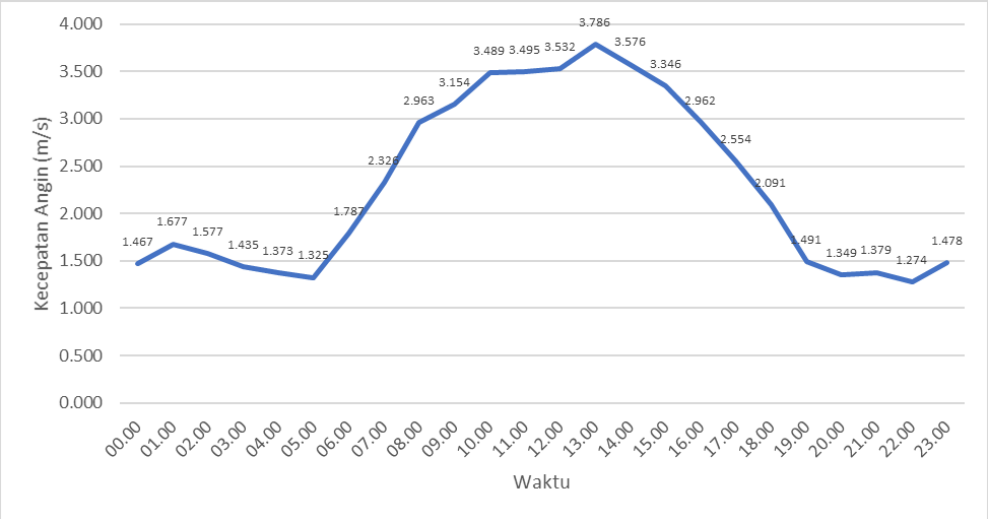
4.2.4 Kondisi Iklim Mikro Lokasi Penelitian

Demi mendapatkan hasil yang lebih jelas serta untuk mendapatkan kondisi yang lebih *real* pada penelitian ini, diambillah data iklim mikro yang didapat dari pengukuran langsung di lokasi penelitian dengan menggunakan *weather station*. *Weather station* diposisikan berada pada atap rumah susun yang mewakili kondisi diketinggian yang relatif mirip dengan pengukuran di dalam ruang. Adapun data yang didapatkan berupa PAR, kecepatan angin, arah angin, temperatur udara, serta kelembapan relatif dan dapat mewaliki kondisi langsung di lapangan.

Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 27-02-2020 hingga 03-03-2020 selama 6 hari berturut-turut. Kecenderungan kondisi cuaca setiap harinya relatif mirip. Sistem pengambilan data menggunakan data logger pada alat yang diambil dengan rentang waktu per 10 menit. Dalam hal ini untuk memudahkan pengolahan serta penyajian data, data yang telah didapat diringkas menjadi per jam. Berikut hasil pengukuran iklim mikro lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13:



Gambar 4. 12. Kondisi eksisting iklim mikro temperatur udara dan kelembapan



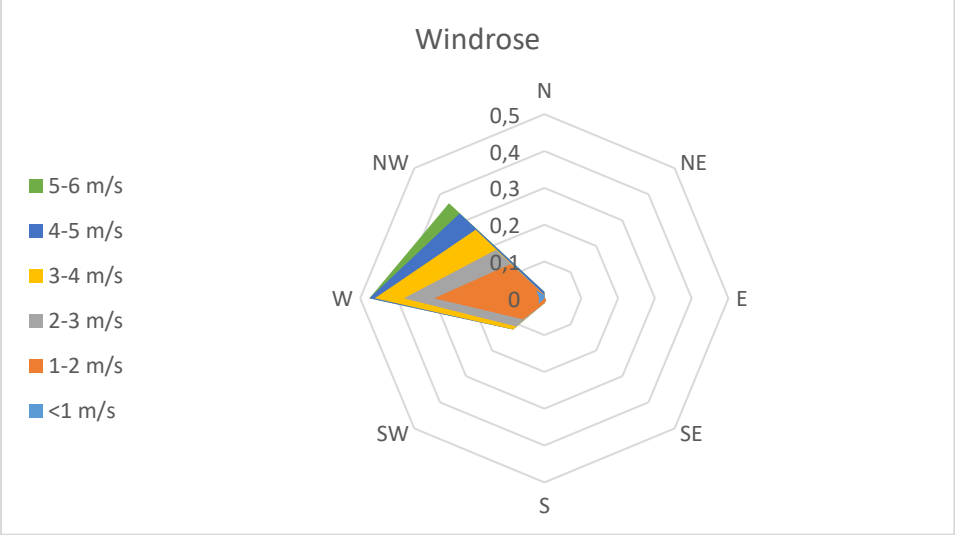
Gambar 4. 13. Kondisi kecepatan angin

Gambar 4.12 menunjukan perbandingan kecenderungaan kondisi cuaca per harinnya pada saat pengukuran. Nilai kelembapan relatif dari lokasi eksisting tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan tiap jamnya, namun memiliki angka terendah di jam 14.00 siang. Hal ini sejalan dengan teori yang dikemukalan oleh Szokolay, (2004), yang menyatakan bahwa penurunan temperatur udara sejalan dengan naiknya kondisi kelembapan.

Kelembapan relatif rata-rata tiap harinya berkisar antara 67,98 % hingga 92,73%, sedangkan temperatur udara hanya memiliki selisih sekitar 6,24 ^{o}C yang berkisar antara 25,80 hingga 32,04 ^{o}C. Temperatur udara memiliki nilai tertinggi yang berada pada pukul 14.00 siang. Pada iklim tropis, umumnya temperatur

udara luar lebih tinggi dari dalam ruang sehingga panas dari lingkungan berpindah ke bangunan (Hyde. R, 2008).

Kecepatan angin yang memiliki nilai tertinggi berada antara pukul 10.00-13.00 siang. Kondisi iklim mikro ini dapat dimanfaatkan sebagai potensi dari pengkondisian pasif bangunan untuk mencapai kenyamanan termal. Gambar 4.13 menunjukkan kondisi rata-rata angin selama pengukuran, kecepatan angin terendah berapa pada pukul 05.00 pagi sebesar 1,325 m/s. Kecepatan angin kian meningkat menjelang siang hari dengan nilai puncak sebesar 3,786 pada pukul 14.00. Selanjutnya kecepatan angin kembali berfluktuasi turun menjelang sore hingga malam hari, dan kembali mencapai titik terendah sebesar 1,274 pada pukul 22.00 malam.



Gambar 4. 14. Windrose lokasi penelitian

Berdasarkan kondisi arah datangnya angin pada lokasi penelitian, secara garis besar berasal dari arah Barat dan Barat Laut. Gambar 4.14 menunjukkan sebagian besar arah datang angin berasal dari Barat. Namun jika dilihat dari kecepatan angin tertinggi yang berasal dari arah Barat Laut. Arah datang angin serta orientasi bangunan sangat erat kaitannya dengan kecepatan angin yang dalam bangunan.

4.2.5 Perbedaan Kondisi Termal pada Lokasi Penelitian dan BMKG Surabaya

Tabel 4.5 menampilkan rata-rata dari temperatur udara, kelembapan, serta kecepatan angin yang diukur pada lokasi penelitian dan stasiun BMKG Surabaya. Nilai pengukuran dari stasiun BMKG Surabaya diambil dari rata-rata di bulan Februari dan Maret. Sedangkan pengukuran lapangan diambil dari rata-rata pengukuran mulai tanggal 27-02-2020 hingga 03-03-2020. Nilai yang ditampilkan ini diperlukan untuk melihat kecenderungan korelasi antar kedua data. Perbandingan hasil pengukuran iklim mikro dan iklim makro dapat dilihat pada tabel 4.5:

Tabel 4. 5: Hasil Pengukuran Iklim Mikro Eksisting dan Iklim Makro

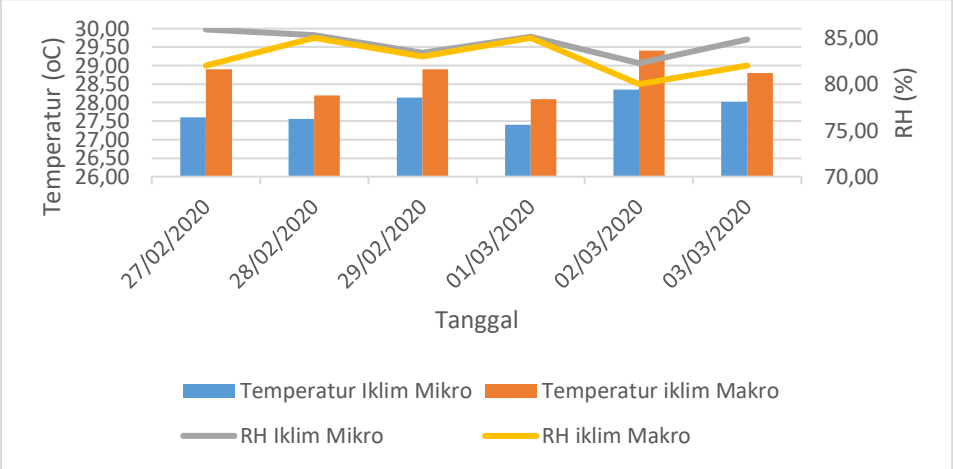
Tanggal	Temperatur Udara (°C)			Kelembapan (%)			Kecepatan Angin (m/s)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
27-02-2020	28,9	27,61	1,29	82	85,91	3,91	1	2,30	1,30
28-02-2020	28,2	27,56	0,64	85	85,28	0,28	1	2,03	1,03
29-02-2020	28,9	28,13	0,77	83	83,41	0,41	1	2,93	1,93
01-03-2020	28,1	27,40	0,7	85	85,11	0,11	1	2,88	1,88
02-03-2020	29,4	28,35	1,05	80	82,27	2,27	1	2,31	1,31
03-03-2020	28,8	28,02	0,78	82	84,85	2,85	1	1,28	1,28
A = Data BMKG harian B = Data pengukuran lapangan C = Perbedaan antara A dan B									

Tabel 4. 6: Hasil Analisis Regresi

Regression Statistics	
Multiple R	0.999267
R Square	0.998534

Tabel 4.6 memperlihatkan hasil nilai R2 sebesar 0,998534 yang menunjukkan korelasi yang signifikan, positif dan sangat kuat. Sehingga

kecenderungan antara indikator kondisi iklim BMKG dan pengukuran di lokasi penelitian memiliki kemiripan hasil.



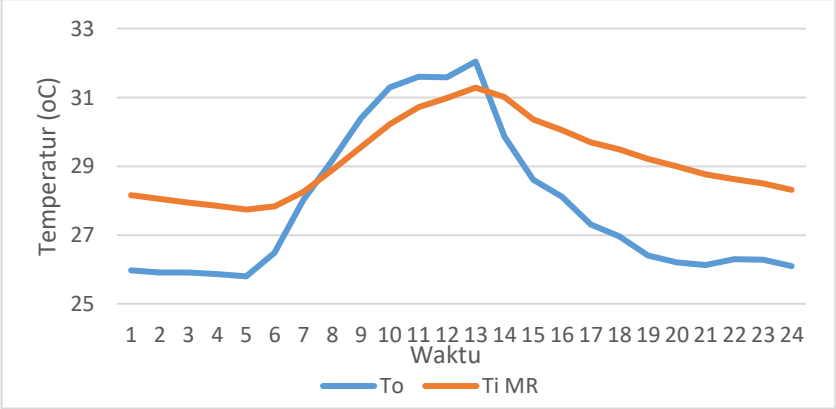
Gambar 4. 15. Perbandingan kondisi iklim mikro dan iklim makro

Gambar 4.15 menunjukkan perbandingan antara iklim mikro lokasi penelitian dan iklim makro kota Surabaya. Dalam hal ini kecenderungan antara tempertatur udara pada lokasi penelitian lebih rendah dibandingkan dengan iklim makro. Temperatur udara tertinggi terjadi pada tanggal 02 Maret dengan temperatur makro sebesar 29,4^{o}C, sedangkan pada lokasi penelitian hanya sebesar 28,35 ^{o}C. Sejalan dengan ini, kondisi kelembapan juga memiliki kemiripan pola namun berbanding terbalik dengan kondisi temperatur udara, yang mana pada tanggal 02 Maret merupakan titik terendah dari kondisi kelembapan di lokasi pengukuran dan iklim makro.

4.3 Hasil Pengukuran Lapangan

Berikut adalah pemaparan kondisi eksisting dalam ruang unit rumah susun yang dijadikan model rujukan pada penelitian ini. Titik pengukuran berada di tengah ruang yang di posisikan melekat pada tripod, untuk alat ukur WBGT berada pada ketinggian ± 1 m dari permukaan lantai sedangkan anemometer berada pada ketinggian sekitar ± 1,5 m dari permukaan lantai (Gambar 3.7). Sebaliknya, pengukuran parsial kecepatan angin yang dilakukan pada model rujukan berdasarkan *grid* yang ditunjukkan pada gambar (Gambar 3.8).

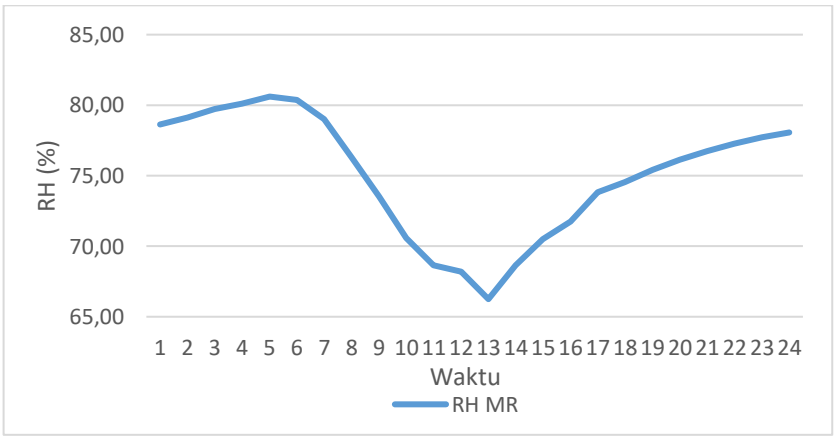
4.3.1 Kondisi Profil Temperatur, Kelembapan, dan Kecepatan Angin Model Rujukan



Gambar 4. 16. Profil temperatur model rujukan

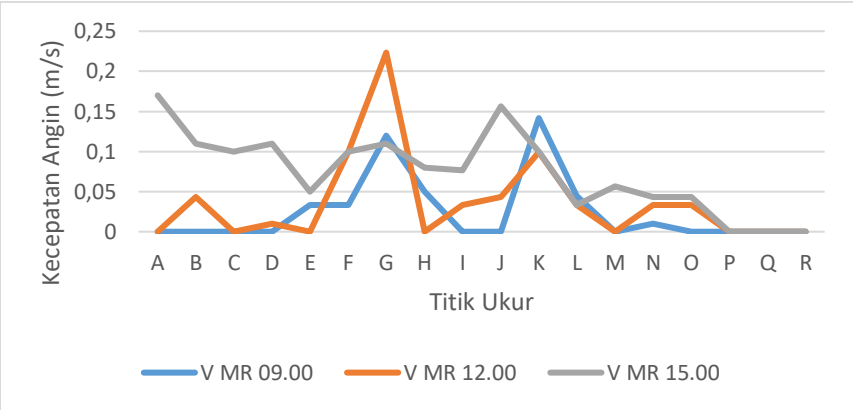
.

Gambar grafik 4.16 menunjukkan perbedaan temperatur yang tidak cukup besar, antara temperatur *indoor* (Ti) dan *outdoor* (To) ruang. Bentuk kurva Ti dan To memiliki bentuk yang cenderng mirip namun memiliki selisih nilai To yang berbeda dijam-jam tertentu. Temperatur *indoor* mengalami penurunan yang cukup terlihat pada dini hari antara jam 01.00-05.00 dan di siang hari melonjak pada jam-jam tertentu antara pukul 10.00-14.00. Sebaliknya temperatur *outdoor* mengalami kenaikan suhu pada pagi hari menjelang siang dan turun kembali setelah malam hari dengan rata-rata selama 24 jam sebesar 27,79^{o} C. Temperatur *indoor* mengalami kelonjakan yang cukup tinggi pada pukul 14.00 dengan nilai 31.01^{o} C.



Gambar 4. 17. Grafik kelembaban model rujukan

Kondisi kelembaban di dalam ruang memiliki kecenderungan yang terbalik dari kondisi temperatur udara (Gambar 4.17). Kelembaban mengalami penurunan pada saat pukul 10.00-13.00 yang hanya memiliki nilai 66,2%, dengan nilai tertinggi pada saat pukul 05.00 pagi hari mencapai 80,61%. Selanjutnya, dari waktu siang menuju sore hari kondisi kelembaban dalam ruang mengalami kenaikan kembali.



Gambar 4. 18. Grafik Kecepatan Angin model rujukan

.

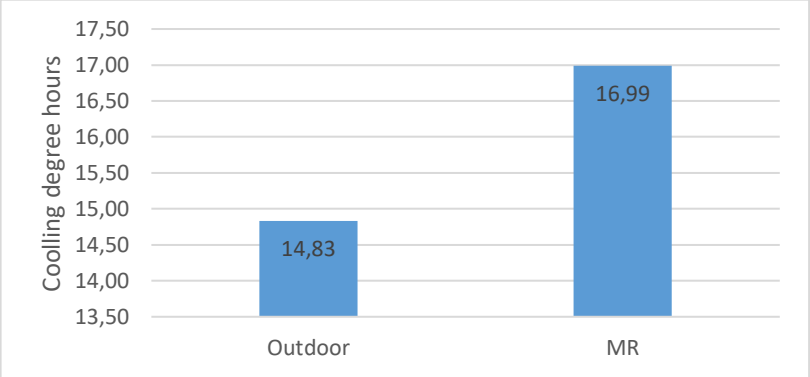
Gambar 4.8 menunjukkan nilai kecepatan angin antar tiap titik ukur dalam ruang. Kondisi kecepatan angin rata-rata paling tinggi tiap titiknya didapatkan pada hasil pengukuran di pukul 15.00 sebesar 0,07 m/s. Nilai kecepatan angin paling tinggi berada pada titik G di pukul 12.00 sebesar 0,22 m/s. Titik G dan F merupakan titik yang berdekatan dengan jendela. Pengukuran kecepatan angin pada pukul 09.00 memiliki nilai paling rendah, dengan nilai sebesar 0,11 m/s di titik G. Kecepatan angin di dalam ruang jauh lebih rendah dibandingkan di luar ruang. Rata-rata kecepatan angin paling tinggi di dalam ruang hanya memiliki nilai 0,07m/s, sedangkan di luar ruang bisa mencapai rata-rata 2,285 m/s.

4.3.2 Kinerja Termal pada Model Rujukan

Kinerja termal ruang dapat diindikasikan dengan *degree hours*, yang bertujuan untuk mengetahui rentang waktu kondisi nyaman dan tidak nyaman karena *overheating* dan *underheating*. Dengan demikian, dapat diketahui

kebutuhan beban pendingin dan pemanas yang dibutuhkan dalam mengatasi permasalahan ketidak nyamanan ruang.

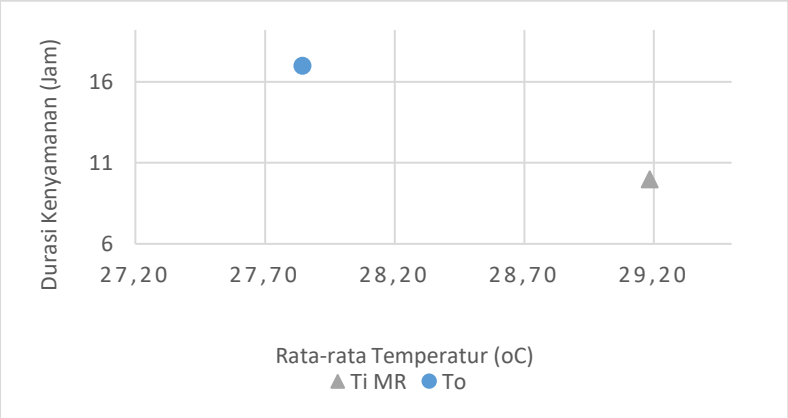
Dalam melakukan analisa dengan indikator *degree hours*, dapat menggunakan temperatur netral (Tn) untuk mendapatkan rentang kondisi nyaman dalam ruang. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan dilapangan pada tanggal 27-02-2020 hingga 03-03-2020 diperoleh temperatur udara luar (To) rata-rata sebesar 27,85 ^{o}C, menggunakan persamaan (2.6). Dengan demikian, didapatlah nilai Tn sebesar 26.23 ^{o}C, sehingga dapat diketahui rentang kenyamanan pada lingkungan penelitian sebesar Tn ± 2,5 ^{o}C yaitu 23,73 ^{o}C - 28.73 ^{o}C.



Gambar 4. 19. Kinerja *cooling degree hour* model rujukan

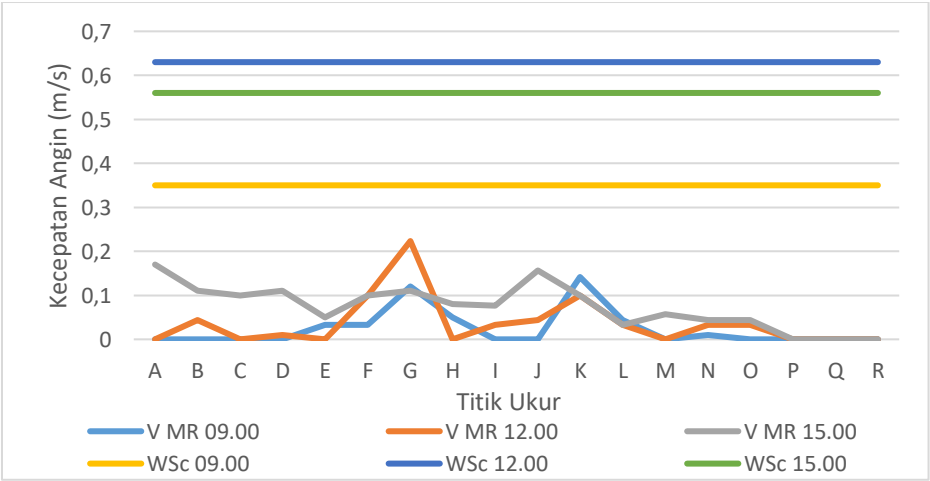
.

Gambar 4.19 menunjukkan perolehan *cooling degree hours* yang didapatkan oleh model rujukan dan kondisi *outdoor*, melalui persamaan (2.8). Perolehan *cooling degree hours* untuk kondisi *outdoor* selalu lebih rendah dibandingkan dalam ruang. *Cooling degree hours* untuk *outdoor* sebesar 14,83, sedangkan model rujukan sebesar 16,99. Selisih perolehan *cooling degree hours* antara model rujukan dan *outdoor* sebesar 2,16, lebih tinggi dibanding model rujukan.



Gambar 4. 20. Rata-rata temperatur udara selama durasi kenyamanan

Gambar 4.20 menunjukkan bahwa sebagian besar dari 24 jam pengukuran belum memenuhi rentang kenyamanan termal, terlebih di waktu siang menjelang sore hari. Hal ini tidak terlepas dari faktor kondisi iklim sekitar lingkungan penelitian seperti perolehan panas dari radiasi matahari. Selain itu rentang nyaman termal ruang yang didapatkan hanya berada antara pukul 22.00-07.00 selama 10 jam, dengan rata-rata temperatur udara 29,18 ºC.



Gambar 4. 21. Grafik kecepatan angin model rujukan dan WSc

Kecepatan angin sangat dibutuhkan untuk proses pendinginan. Oleh sebab itu, untuk mengetahui kebutuhan kecepatan angin dalam ruang model rujukan maka digunakan kondisi temperatur dan kelembapan pada jam tertentu. Perhitungan kebutuhan kecepatan angin (WSc) terkait temperatur dan kelembapan udara dapat dilihat pada lampiran 4. Gambar 4.21 menunjukkan kecepatan angin

pada titik ukur model rujukan terhadap kebutuhan WSc pada jam 09.00, 12.00, dan 15.00. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa belum ada kondisi kecepatan angin yang memenuhi kinerja WSc. Namun kondisi kecepatan angin mengalami kenaikan dari pagi hingga sore hari. Rata-rata kecepatan angin tertinggi didapatkan pada pukul 15.00 sebesar 0,07 m/s.

4.4 Rangkuman Pengamatan Lapangan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan penelitian lapangan, didapatkan kesimpulan yang berhubungan dengan kinerja termal ruang rumah susun yaitu:

1. Nilai temperatur udara puncak tertinggi dalam ruang pada pukul 14.00 sebesar 31,01^{o}C, yang dipengaruhi oleh naiknya temperatur *outdoor* diikuti dengan meningkatnya radiasi matahari. Pada iklim tropis, umumnya temperatur udara luar lebih tinggi dari dalam ruang sehingga panas dari lingkungan berpindah ke bangunan (Hyde. R, 2008). Hal ini lah yang menyebabkan permasalahan panas dalam ruang. Pengaruh tingginya temperatur udara tidak terlepas dari faktor elemen fasad bangunan yang langsung bersinggungan dengan iklim luar bangunan. Selain itu kondisi bukaan serta jendela memperburuk kondisi temperatur udara dalam ruang.
2. Kondisi kelembapan ruang selalu berbanding terbalik dengan temperatur ruang. Kelembapan rata-rata cenderung mengalami penurunan dari pagi menjelang siang hari, dan kembali meningkat menjelang sore hari dan mencapai puncak ketika malam hingga pagi hari pada pukul 05.00 sebesar 80,61%. Hal ini sejalan dengan teori yang dikemukalan oleh Szokolay, (2004), yang menyatakan bahwa penurunan temperatur udara sejalan dengan naiknya kondisi kelembapan.
3. Kecepatan angin dalam ruang memiliki nilai yang tidak terlalu besar. Kecepatan angin puncak terjadi antara pukul 12.00-15.00, dengan nilai pada titik pengukuran tidak lebih dari 0,22 m/s. Hal ini juga dipengaruhi oleh arah datang angin dilokasi yang secara umum berasal dari arah Barat dan Barat Laut.

4. Berdasarkan analisa dengan indikator *cooling degree hours* dengan mengetahui temperatur netral (Tn), didapatlah nilai Tn sebesar 26,23 ^{o}C, selanjutnya dapat diketahui rentang kenyamanan pada lingkungan penelitian sebesar Tn ± 2,5 yaitu 23,73 ^{o}C – 28,73 ^{o}C. Selama hasil pengukuran rata-rata temperatur udara yang memenuhi rentang kenyamanan hanya didapatkan pada pukul 22.00-07.00 selama 10 jam, selebihnya kondisi temperatur udara dalam ruang masih belum memenuhi batas atas.
5. Kecepatan angin di titik pengukuran dalam ruang pada pagi, siang dan sore hari belum memenuhi kebutuhan kecepatan angin (WSc). Namun rata-rata kecepatan angin dari pagi hingga sore hari mengalami peningkatan, dengan rata-rata paling tinggi sebesar 0,07m/s.

BAB 5
HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Bab ini memaparkan verifikasi hasil simulasi terhadap model rujukan. Selanjutnya, membahas pengaruh variabel elemen fasad dan kombinasi variabel elemen fasad terhadap kinerja termal bangunan. Oleh sebeb itu didapatkanlah hasil eksperimen dengan performa paling efektif yang akan dijadikan acuan konsep perancangan fasad. Faktor-faktor elemen fasad yang dilihat pengaruhnya adalah perbedaan nilai WWR, tipe dan panjang , serta tipe balkon. Dalam hal ini kombinasi elemen fasad yang dijadikan acuan untuk melihat pengaruh paling efektif terhadap kinerja termal ruang rumah susun.

5.1 Verifikasi Model Rujukan

Model model rujukan yang selanjutnya disebut model rujukan yang dibuat pada prorgam simulasi meniru bentukan asli semirip mungkin dengan beberapa penyederhanaan. Dalam hal ini, model rujukan juga berada pada lantai 5 bangunan sesuai dengan posisi pada saat pengukuran di lapangan. Berikut gambaran model rujukan pada simulasi:

Gambar 5. 1. Model Simulasi

Tabel 5. 1: Verifikasi Input Simulasi dan Kondisi Pengukuran

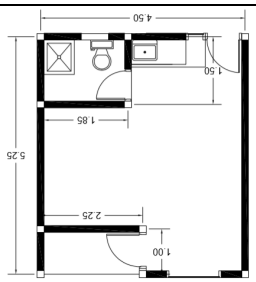
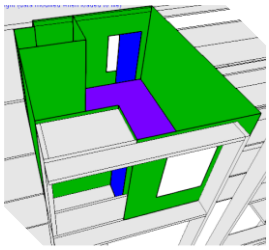
	Input Simulasi	Sumber & Keterangan	Kondisi Eksisting
Activity Template: Domestic Bedroom, Residential spaces			
Okupansi	0,105 orang/m^2	Jumlah orang saat pengukuran	2-3 orang
Pola Penghunian	For weekdays Hingga: 07.00, 0 Hingga: 08.00, 0 Hingga: 09.00, 0,25 Hingga: 17.00, 0,25 Hingga: 23.00, 0,0 Hingga: 24.00, 0,0	Ruangan hanya dihuni dari pukul 09.00 padi hingga 17.00 sore	Ruangan hanya dihuni dari pagi-sore hari (penghuni tidak selalu berada tetap di dalam ruang, hanya untuk kepentingan pengukuran parsial).
Metabolic	Faktor 0,85	Metabolic faktor untuk wanita	Penghuni pada saat pengukuran wanita.
Clothing	0,5	Summer clothing 0,5 clo.	Pakaian yang digunakan jenis pakaian ringan.
Lighting	Target Illuminance: 150 Lux. General lighting: Normalised Power density: 1,5 W/m^2 – 100 Lux	Acuan 150 lux untuk kamar tidur, berdasrkan SNI-03-6575-2001	Lampu dinyalakan dari sore hingga pagi hari (dalam ruangan hanya menyalakan 1 lampu, di dalam satu unit terdapat 3 lampu bawaan).
Construction			
Dinding Bata (external Wall)	Dinding bata 15 cm, 3 layer, U-Value: 2,643 W/m^2-K, R-Value: 0,378 m^2-K/W	Acuan material mendekati: single skin, 220mm plastere (Szokolay, 2004)	Dinding bata, diplaster kedua sisinya.
Jendela	Single clear 6 mm glazing, with aluminium window frame, U-Value: 5,77 W/m^2-K, Total solar transmission 0,819		Jendela dengan kaca bening, menggunakan frame dari alumunium.
Lantai	Concrate slab 100mm, 2 layer, with ceramic, U-Value: 2,864 W/m^2-K	Acuan material mendekati: Concrate on slab: 2 edges expose (Szokolay, 2004).	Lantai beton dengan lapisan keramik.
Atap	Unoccupied pitched roof, U-Value: 0,192 W/m^2-K		Atap miring, genteng metal.
Ventilasi Alami			
HVAC	Natural Ventilation-No Heating/cooling		Selama waktu pengukuran jendela dan pintu dibuka, tetapi pada sore-pagi hari semua pintu dan jendela ditutup kecuali

			jendela besar yang berada pada fasad luar.

Tabel 5.1 merupakan tabel yang memaparkan verifikasi input simulasi dan kondisi pengukuran. Komponen-komponen input data dibuat sedekat mungkin dengan kondisi eksisting saat pengukuran di lapangan guna kebutuhan verifikasi. Adapun dalam kondisi nyata saat dihuni membutuhnya penyesuaian kembali, terlebih mengenai pola penghunian dan kelengkapan data lainnya. Input data simulasi sudah dipaparkan sebelumnnya pada tabel 3.8.

Tabel 5. 2: Penyederhanaan pada Model dan Simulasi

	Eksisting	Penyederhanaan Simulasi	Argumentasi
Lingkungan sekitar	Terdapat vegetasi di sekitar	Pohon dihilangkan	Pohon yang ada tidak membayangi dan tidak terlalu dekat dengan bangunan sehingga tidak membayangi dan mempengaruhi kinerja termal bangunan.
Model rujukan	Bangunan eksisting dijadikan sebagai acuan untuk model rujukan pada penelitian.	Adapun bentukan bangunan dibuat sedekat mungkin, dengan fasad yang memiliki sepanjang 40 cm, dengan tipe horizontal dan 1 sisi vertikal.	Bangunan rusun Siwalankerto 1 yang ada di sekitar bangunan eksisting tidak dimasukkan ke simulasi karena tidak terlalu dekat sehingga tidak membayangi bangunan.

Unit Eksperimen	 Denah unit eksisting terdapat relling pada area balkon.	 Reling pada balkon dibuat menjadi bidang masif.	Penyederhanaan pada relling untuk lebih mempermudah simulasi. Jendela dan pintu yang ada dibuat berdasarkan bangunan eksisting.
Model WWR	Bangunan rujukan sebagai acuan. Jendela pada fasad luar model rujukan memiliki WWR 26%. Jenis jendela dengan frame dari alumunium.	Terdapat tiga model yang berbeda, model dengan luasan WWR 10%, 20% dan 30%.	Pada model WWR, bentukan balkon serta yang ada pada fasad masih dipertahankan, hanya mengganti luasan WWR saja.
Model Tabir surya	Bangunan rujukan sebagai acuan. pada bangunan model rujukan memiliki panjang 0,4 m.	1. Tipe tabir surya horizontal dengan panjang 0,4, 0,6, dan 0,8 m 2. Tipe tabir surya vertikal pada kiri dan kanan jendela dengan panjang 0,4, 0,6, dan 0,8 m. 3. Tipe tabir surya horizontal-vertikal dengan panjang 0,4, 0,6, dan 0,8 m.	Pada model tabir surya, ukuran jendela serta bentuk balkon masih sama dengan kondisi model rujukan, hanya mengalami perubahan pada tabir surya saja. Posisi beberapa model tabir surya berada tepat di sisi bukaan.

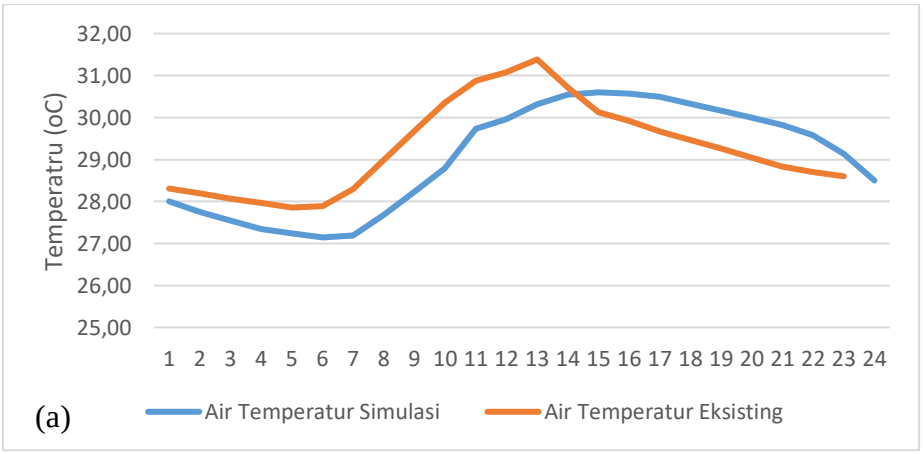
Model Balkon	Bangunan rujukan sebagai acuan. Balkon pada bangunan model rujukan memiliki kedalamn 20%.	1. Tipe balkon terbuka dengan kedalaman 10%, 20%, dan 30%. 2. Tipe balkon terbuka dengan kedalaman 10%, 20%, dan 30%.	dan bentuk jedela disesuaikan dengan model rujuakan. Hanya merubah bentuk dan kedalaman balkon, serta balkon dibuat menjorok keluar dengan penambahan 0,5m. Adapun jendela pada fasad dalam dipindahkan ke area balkon.

Verifikasi model model rujukan dilakukan dengan cara melakukan verifikasi antara pengukuran di lapangan dengan hasil simulasi. Berkaitan dengan itu, indikator kondisi termal seperti temperatur udara dan kelembaban dapat dilihat kecenderungannya antara pengukuran di lapangan dengan hasil simulasi per jam pada gambar dibawah ini:

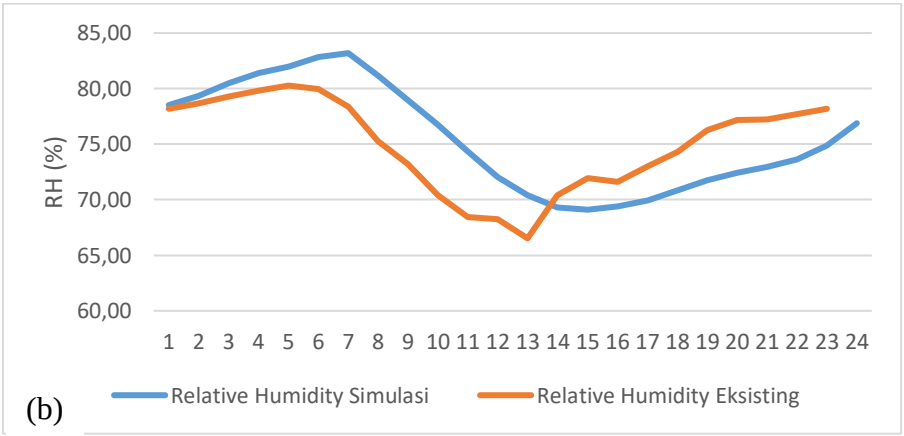
Tabel 5. 3: Tabel Temperatur dan Kelembaban per Jam Kondisi Eksisting dan Simulasi

Pukul	Temperatur Udara (°C)			Kelembaban (%)		
	A Pengukuran lapangan	B Simulasi	C (A-B)	A Pengukuran lapangan	B Simulasi	C (A-B)
01.00	28.44	28.00	0.44	78.07	77.36	1.14
02.00	28.31	27.75	0.56	78.64	78.17	1.16
03.00	28.19	27.54	0.65	79.13	78.64	1.82
04.00	28.07	27.35	0.72	79.71	79.31	2.11
05.00	27.97	27.24	0.73	80.11	79.79	2.17
06.00	27.86	27.14	0.71	80.61	80.27	2.57
07.00	27.89	27.19	0.70	80.36	79.97	3.22
08.00	28.30	27.68	0.62	79.03	78.35	2.80
09.00	29.00	28.23	0.77	76.33	75.23	3.72
10.00	29.68	28.80	0.88	73.52	73.18	3.54
11.00	30.36	29.73	0.63	70.59	70.38	3.97

12.00	30.87	29.96	0.92	68.65	68.43	3.60
13.00	31.08	30.32	0.77	68.18	68.23	2.16
14.00	31.38	30.54	0.84	66.25	66.52	2.76
15.00	30.73	30.60	0.13	68.63	70.40	-1.30
16.00	30.13	30.57	-0.44	70.51	71.92	-2.55
17.00	29.93	30.50	-0.57	71.75	71.62	-1.68
18.00	29.67	30.33	-0.66	73.81	72.99	-2.17
19.00	29.47	30.16	-0.70	74.56	74.29	-2.56
20.00	29.27	30.00	-0.74	75.41	76.28	-3.86
21.00	29.05	29.82	-0.77	76.14	77.18	-4.22
22.00	28.83	29.58	-0.76	76.73	77.24	-3.64
23.00	28.71	29.13	-0.42	77.28	77.69	-2.83
00.00	28.59	28.50	0.10	77.71	78.17	-1.29
Mean	29.24	29.03	0.21	75.07	75.07	0.44
Sdev			0.63	Sdev		2.74



(a)



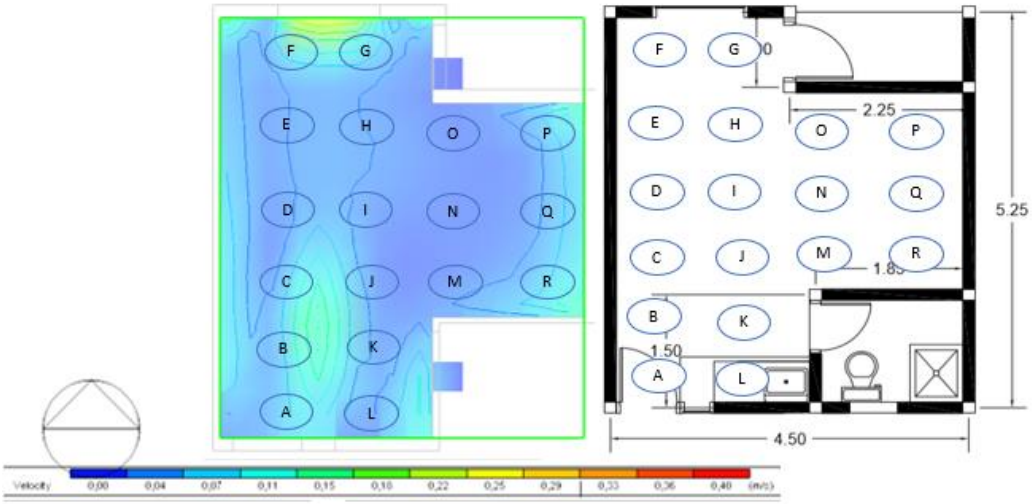
(b)

Gambar 5. 2. Perbandingan antara hasil simulasi dan kondisi eksisting temperatur udara (a), kelembaban (b)

Gambar 5.2 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran kondisi model rujukan. Grafik temperatur udara dan kelembapan menunjukkan kemiripan pola. Kondisi temperatur udara pada pagi menjelang siang hari menunjukkan hasil yang mirip, begitupula dengan kelembaban yang menunjukkan kecenderungan nilai yang sama. Namun dari waktu siang hingga sore hari dari kedua grafik menunjukkan perbedaan kondisi yang cukup. Verifikasi simulasi dapat dilakukan dengan melihat nilai R^2 atau koefisien determinasinya. Berdasarkan hasil perhitungan melalui Microsoft Exel nilai R^2 untuk hasil simulasi dan pengukuran eksisting temperatur ruang senilai 0.748, sedangkan hasil simulasi dan pengukuran eksisting kelembaban ruang senilai 0.661. Hasil simulasi yang didapat menunjukkan hubungan yang cukup kuat jika nilai mendekati 1. Nilai R^2 yang didapatkan antara hasil simulasi dan pengukuran eksisting untuk temperatur udara dan kelembaban tergolong sangat kuat sesuai dengan pernyataan Moore, Notz, & Flinger (2013), yang menyebutkan hubungan antar variabel sangat kuat jika menunjukkan nilai R2>0,7. Hubungan yang tergolong cukup kuat ini dapat dilihat pada tabel 5.3. berkaitan dengan itu menururt Chung, dkk, (2015), perbedaan antara kondisi pengukuran dan hasil simulasi dapat diterima dengan perbedaan 0,44% - 1,49% atau menunjukkan deviasi 0,4^{o}C – 1,5^{o}C. Oleh sebab itu, hasil simulasi dapat mewakili kondisi sebenarnya pada saat pengukuran di lapangan.

Tabel 5. 4: Tabel Hasil Regresi antara Kondisi Eksisting dan Simulasi

Regression Statistics Temperature		*Regression Statistics RH*	
R Square	0.74874	R Square	0.66133



Gambar 5. 3. Grid kecepatan angin model rujukan dan titik pengukuran angin di lapangan

Gambar 5.3 menunjukkan *grid* kecepatan angin untuk hasil simulasi model rujukan. *Grid* yang digunakan pada simulasi berdasarkan acuan dari titik pengukuran di lapangan. Pengaturan terhadap grid pada hasil simulasi bertujuan untuk memudahkan dalam menganalisis kondisi kecepatan angin pada model eksperimen.

Tabel 5. 5: Tabel nilai Kecepatan Angin Kondisi Eksisting dan Simulasi

	pukul 09.00			pukul 12.00			pukul 15.00		
Titik Ukur	Eksis-ting (a)	Simu-lasi (b)	Selisih (a-b)	Eksis-ting (a)	Simu-lasi (b)	Selisih (a-b)	Eksis-ting (a)	Simu-lasi (b)	Selisih (a-b)
A	0	0.02	-0.02	0	0.02	-0.02	0.17	0.06	0.11
B	0	0	0	0.043	0.02	0.023	0.130	0.06	0.070
C	0	0	0	0	0	0	0.1	0.08	0.02
D	0	0	0	0.01	0.01	0	0.11	0.11	0
E	0.033	0.02	0.013	0	0.01	-0.01	0.05	0.11	-0.06
F	0.033	0.07	-0.037	0.1	0.07	0.03	0.1	0.16	-0.06
G	0.12	0.1	0.02	0.223	0.055	0.168	0.11	0.14	-0.03
H	0.05	0.04	0.01	0	0.01	-0.01	0.08	0.1	-0.02
I	0	0	0	0.033	0	0.033	0.077	0.08	-0.003
J	0	0.02	-0.02	0.043	0.01	0.033	0.157	0.06	0.097
K	0.060	0.04	0.020	0.099	0.02	0.079	0.1	0.02	0.08
L	0.044	0.02	0.024	0.033	0.01	0.023	0.033	0.04	-0.007
M	0	0.02	-0.02	0	0.02	-0.02	0.057	0	0.057
N	0.01	0	0.01	0.033	0	0.033	0.043	0	0.043
O	0	0.02	-0.02	0.033	0	0.033	0.043	0.04	0.003
P	0	0	0	0	0.03	-0.03	0	0.06	-0.06
Q	0	0.04	-0.04	0	0.03	-0.03	0	0.04	-0.04
R	0	0.045	-0.045	0	0.03	-0.03	0	0.02	-0.02

Mean	0.020	0.025	-0.006	0.036	0.019	0.017	0.076	0.065	0.010
		Sdev=	0.021		Sdev=	0.047		Sdev=	0.053

Tabel 5.5 menampilkan hasil perhitungan deviasi antara pengukuran lapangan dan hasil simulasi eksisting. Kecepatan angin hasil pengukuran di lapangan cenderung lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi. Meskipun demikian hasil perhitungan standar deviasi menunjukkan angka perbandingan yang kecil yakni >0.021. Menurut Chung, dkk (2015), deviasi yang diperbolehkan untuk kecepatan angin pada program CFD yakni 7.2% hingga 18%. Berdasarkan hal tersebut model dan penyederhanaan yang dilakukan dapat digunakan pada proses eksperimen. Verifikasi simulasi juga dapat dilakukan dengan melihat nilai R^2 atau koefisien determinasinya. Berdasarkan hasil perhitungan melalui Microsoft Exel nilai R^2 untuk hasil simulasi dan pengukuran eksisting kecepatan angin senilai 0.575. Nilai R^2 yang didapatkan anatara hasil simulasi dan pengukuran eksisting untuk kecepatan angin tergolong cukup sesuai dengan pernyataan Moore, Notz, & Flinger (2013), yang menyebutkan hubungan antar variabel cukup jika menunjukkan nilai 0,5 < R2 < 0,7. Hubungan yang tergolong cukup kuat ini dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5. 6: Tabel Hasil Regresi antara Kondisi Eksisting dan Simulasi

Regression Statistics	
R Square	0.57518

5.2 Pengaruh Kinerja Elemen Fasad terhadap Kinerja Termal bangunan

Sub bab ini menjelaskan hasil eksperimen terhadap kinerja termal ruang di rumah susun. Eksperimen membahas mengenai konfigurasi elemen fasad bangunan berupa konfigurasi WWR sebesar 10%, 20% dan 30%, konfigurasi tabir surya dengan tipe horizontal , vertikal , dan horizontal-vertikal dengan panjang 0,4m, 0,6m dan 0,8m, serta dua tipe balkon yaitu balkon terbuka dan tertutup. Ekperimen ini dihitung dengan pengukuran selama 24 jam untuk melihat kecenderungan kondisi termal selama satu hari.

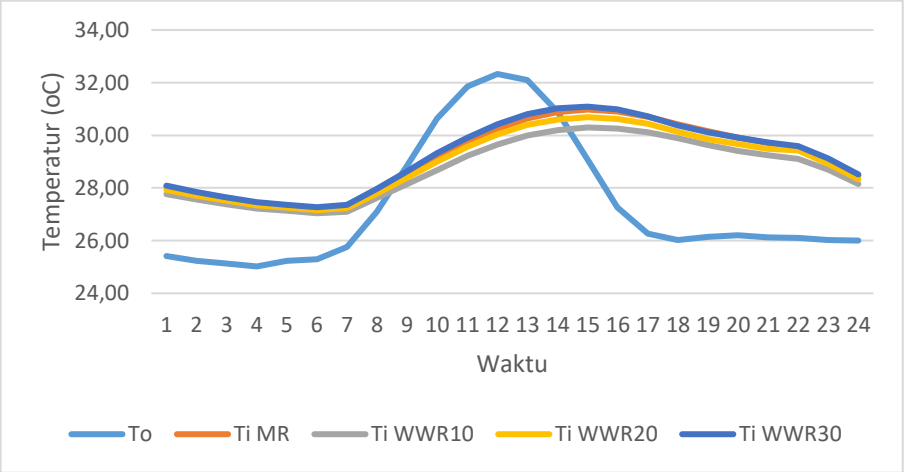
5.2.1 Pengaruh Konfigurasi WWR terhadap Kinerja Termal Bangunan

Eksperimen ini memodifikasi luasan bukaan fasad luar yang dijadikan sebesar 10%, 20% dan 30%. Fasad pada model rujukan memiliki WWR sekitar 26%, dengan bagian atas merupakan jendela dan bagian bawah merupakan kaca mati. Berikut ini merupakan analisa yang dilakukan untuk melihat pegaruh dari masing-masing luasan WWR yang berbeda.

- **Pengaruh Konfigurasi WWR terhadap profil Temperatur, Kelembaban, dan Kecepatan angin**

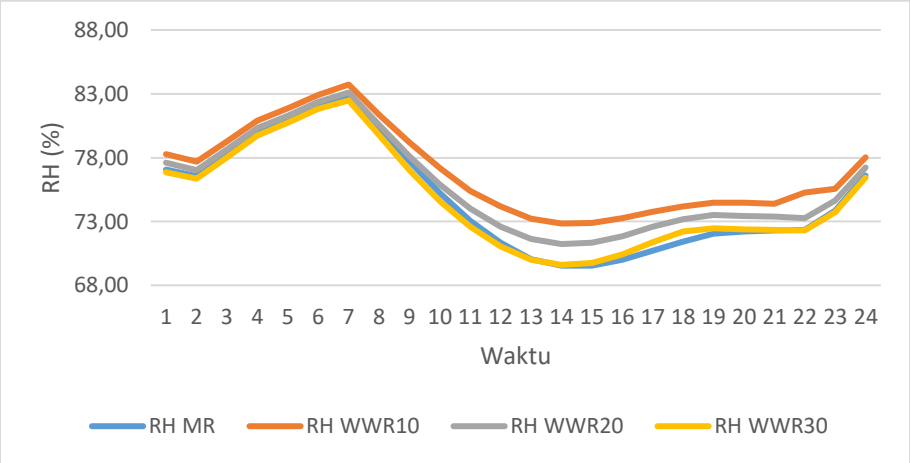
Gambar 5. 4 merupakan profil temperatur yang didapatkan dari hasil eksprimen pada perbedaan ukuran WWR terhadap temperatur udara dalam ruang. Temperatur udara terendah terjadi pada pukul 06.00 pagi yaitu 27,04^{o}C untuk WWR 10%, 27,16^{o}C untuk WWR 20% dan 27,27^{o}C untuk WWR 30%, yang dipengaruhi oleh kondisi temperatur udara di luar ruang yang juga menunjukkan nilai rendah seberar 25,30^{o} C. Selisih temperatur udara antara kondisi model rujukan dan tiap hasil eksperimen belum signifikan pada dini hari hingga pagi hari. Temperatur udara puncak terjadi pada pukul 15.00 dengan nilai temperatur udara tertinggi didapatkan oleh WWR 30% sebesar 31,09^{o}C, yang lebih tinggi jika dibandingkan kondisi model rujukan sebesar 30,98^{o}C. Sebaliknya nilai temperatur udara paling rendah di jam puncak pada WWR 10% sebesar 30,30^{o}C. Kondisi temperatur udara mulai mengalami penurunan dari sore hingga malam hari.

Berdasarkan hasil eksperimen perubahan WWR sejalan dengan luasan bidang transparan yang berpengaruh pada perolehan temperatur udara dalam ruang. Performa temperatur udara terbaik jika dibandingkan dengan kondisi model rujukan didapatkan oleh WWR 10%. Sebaliknya kondisi kurang baik untuk temperatur udara terjadi pada WWR 30%, yang memiliki luasan bidang transparan lebih besar dari kondisi model rujukan dengan WWR 26%.



Gambar 5. 4. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap profil temperatur ruang

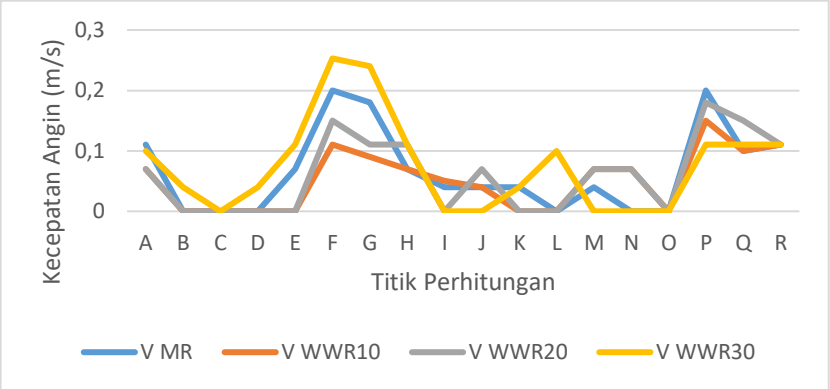
Gambar 5.5 merupakan perolehan kelembaban berdasarkan hasil eksperimen perbedaan WWR. Berdasarkan hasil grafik kelembaban, pola fluktuasi nilai kelembaban berbanding terbalik dengan temperatur udara. Kelembaban udara puncak tejadi pada pukul 07.00 pagi, dengan perolehan kelembaban 82,84% pada model rujukan. Kondisi puncak di pukul 07.00 ini, nilai kelembapan terbesar terjadi pada WWR 10%, sebesar 83,73% dan selisih terhadap model rujukan mencapai 0,9%. Nilai kelembapan terendah terjadi pada pukul 14.00, dengan nilai terendah terjadi pada WWR 30% sebasar 69,60%. Kelembapan tertinggi pada waktu ini terjadi pada WWR 10% sebesar 72,84%. Perbedaan selisih kelembapan tidak terlalu signifikan pada waktu dini hari hingga pagi hari. Selisih cukup besar antara tiap model dapat dilihat pada waktu penurunan kelembapan di siang singga sore hari. Terjadinya kenaikan dan penurunan kelembaban udara dalam ruang sangat dipengaruhi oleh kondisi fluktuasi temperatur udara. Dalam hal ini, ketika terjadi kenaikan temperatur udara kelembaban berangsur mengalami penurunan begitupula sabaliknya.



Gambar 5. 5. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap Kelembaban ruang

Gambar 5.6 menunjukkan terjadinya perbedaan kecepatan angin antar titik di dalam ruang. Kecepatan angin pada kondisi model rujukan mengalami nilai tertinggi sebesar 0,18-0,2m/s pada titik yang berdekatan dengan bukaan. Kondisi kecepatan angin pertiap titik yang menunjukkan nilai paling rendah adalah pada WWR 10% dengan kecepatan tertingginya hanya sebesar 0,09-0,11m/s. Model WWR 20% yang memiliki luasan jendela lebih kecil jika dibandingkan dengan model rujukan juga menunjukkan nilai kecepatan angin yang lebih rendah. Kecepatan aliran udara yang paling merata pada tiap titik didapatkan oleh WWR 30% dengan luas jendela paling besar. Aliran angin dalam ruang jika dilihat dari hasil eksperimen pada ketiga model tersebut, nilai kecepatan angin tertinggi didapatkan pada titik yang berdekatan dengan bukaan, sedangkan pada titik lain kecepatan angin cenderung lebih rendah.

Jika dibandingkan dengan kondisi kecepatan angin di luar bangunan, distribusi kecepatan angin di dalam bangunan jauh lebih kecil terhadap kecepatan angin *outdoor* pada pukul 15.00 yang mencapai 4,47 m/s. Dapat diketahui bahwa bangunan kurang baik dalam merespon kondisi iklim mikro sekitar. Di samping itu, luasan dimensi bukaan jendela yang mencukupi paling tidak sebesar 20% x luas dinding (Koenigsberger, dkk, 1973). Jenis bukaan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan engsel di atas, serta jendela yang berupa bukaan hanya setengah dari luas WWR.



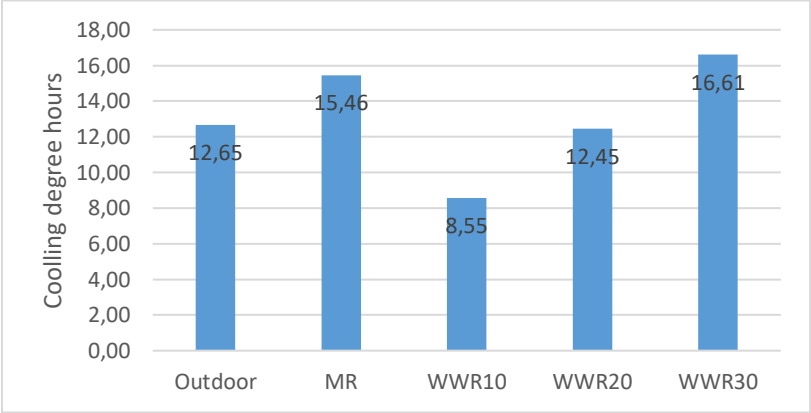
Gambar 5. 6. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap kecepatan angin

Tiga gambar sebelumnya menampilkan kondisi kinerja termal dalam ruang yang dapat dilihat berdasarkan perolehan temperatur udara, kelembapan serta kecepatan angin dari tiap model yang diteliti. Temperatur udara dalam ruang dipengaruhi oleh temperatur luar ruang, serta pelorehan panas dalam bangunan dan perbedaan luasan bidang transparan. Kelembapan juga saling terkait dengan terjadinya fluktuasi kenaikan dan penurunan temperatur ruang. Kecepatan angin dalam rungan juga dipengaruhi oleh luasan bukaan, serta diperlukan dalam proses pelepasan panas dalam ruang.

- **Pengaruh konfigurasi WWR terhadap kinerja termal dalam ruang**

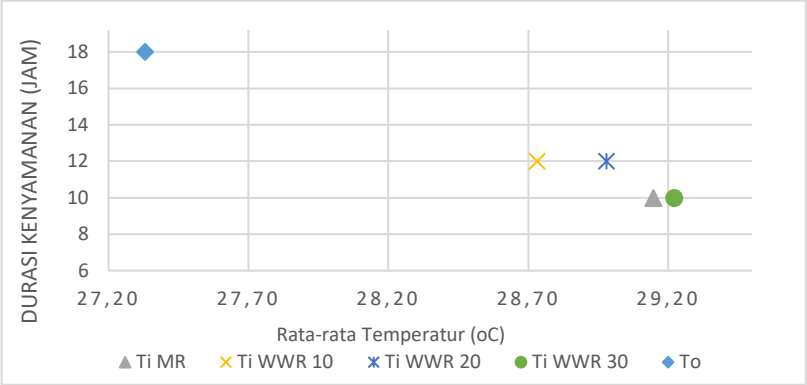
Gambar 5.7 merupakan hasil perolehan *cooling degree hours* selama 1 hari. Berdasarkan hasil perhitingan Tn dari kondisi model rujukan didapatkan hasil sebesar 26,53^{o}C, dengan batas bawah 24,04^{o}C dan batas atas 29,04^{o}C (persamaan 2.6). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kondisi rentang kenyamanan yang didapatkan hanya pada waktu-waktu tertentu saja, dan lebih banyak waktu yang tidak terpenuhi masuk ke dalam batas atas atau kondisi *overheating*. Analisa *cooling degree hours* dilakukan untuk mengetahui jumlah selisih antara temperatur batas kenyamanan dengan temperatur pada model eskperimen. Perhitungan *cooling degree hours* ini dapat merepresentasikan seberapa besar pendinginan yang dibutuhkan oleh bangunan pada kondisi yang melewati batas kenyamanan. WWR 10%, 20% menunjukkan kemiripan, yaitu pada pukul 23.00-10.00 yang memasuki batas nyaman dengan rentang temperatur

udara antara 28,70ºC hingga 29,01ºC. Sebaliknya pada pukul 11.00-22.00 kondisi bangunan mulai memasuki rentang tidak nyaman. Nilai *cooling degree hours* paling rendah didapatkan dengan mengecilkan WWR menjadi 10% dengan jumlah 8,55, sedangkan nilai paling tinggi didapatkan oleh WWR yang diperbesar menjadi 30% yang mencapai 16,61 melewati nilai model rujukan dengan WWR 26% yang hanya sebesar 15,46. Di samping itu, nilai *cooling degree hours* untuk kondisi *outdoor* selalu lebih rendah dibandingkan kondisi di dalam bangunan. Penambahan ukuran WWR dapat meningkatan perolehan kebutuhan *cooling degree hours*.



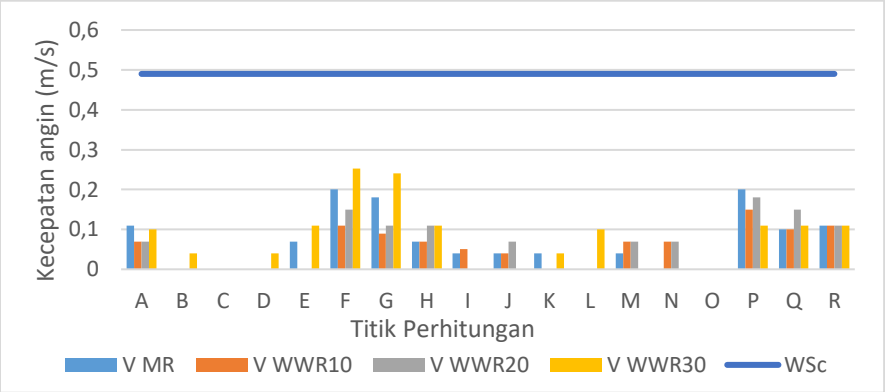
Gambar 5. 7. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap kinerja *cooling degree hours*

Gambar 5.8 menampilkan hasil lamanya durasi kenyamanan yang dapat dicapai pada eksperimen konfigurasi WWR tersebut. Lama durasi kenyamanan pada tiap model mengalami sedikit perbedaan waktu. Model WWR 10% dan 20% mengalami lama durasi kenyamanan selama 12 jam, sedangkan WWR 30% dan model rujukan hanya mendapatkan 10 jam durasi kenyamanan. WWR 10% merupakan model dengan nilai rata-rata temperatur udara terendah sebesar 28,73ºC, yang menunjukkan nilai paling kecil jika dibandingkan dengan WWR lainnya serta kondisi model rujukan. Nilai rata-rata temperatur udara paling tinggi didapatkan oleh WWR 30% sebesar 29,22ºC, dan lebih tinggi jika dibandingkan kondisi model rujukan.



Gambar 5. 8. Pengaruh konfigurasi WWR terhadap durasi kenyamanan termal

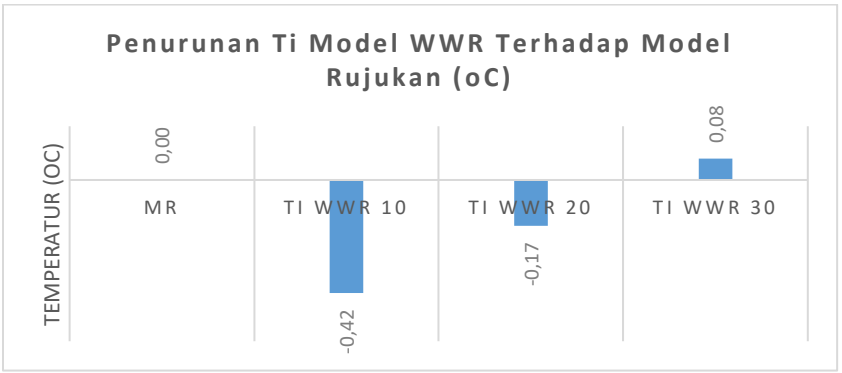
Gambara 5.9 merupakan hasil rata-rata kecepatan angin dalam ruang dibandingkan dengan kondisi model rujukan. Nilai rata-rata kecepatan angin tertinggi didapatkan oleh model eksperimen WWR 30% yaitu sebesar 0,076 m/s, lebih besar dibandingkan dengan model rujukan (lampiran 6). Adapun nilai paling rendah didapatkan oleh WWR 10% sebesar 0,052 m/s dan diikuti oleh WWR 20% sebesar 0,061 m/s. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perbedaan WWR berpengaruh terhadap kecepatan angin dalam ruang. Semakin besar WWR maka kecepatan angin di dalam ruang semakin tinggi. Jika dibandingkan dengan nilai WSc pada pukul 15.00 sebesar 0,49m/s (lampiran 5), kondisi kecepatan angin dalam ruang masih belum mencukupi. Kondisi temperatur udara dan kelembaban yang diperlukan sebagai dasar perhitungan WSc pada pukul 15.00 adalah sebesar 30,98^{o}C dan 69,54%. Meskipun demikian kenaikan kecepatan angin dalam ruang berdasarkan penambahan luasan bukaan dapat memberikan rata-rata kenaikan kecepatan dalam ruang dibandingkan model rujukan. Pemilihan WSc pada pukul 15.00 berdasarkan hasil kondisi temperatur udara puncak pada model eksperimen (Gambar 5.4). sejalan dengan kondisi temperatur pada saat pengukuran di lapangan, nilai temperatur pada pukul 15.00 masih menunjukkan nilai yang tinggi (Gambar 4.16). Kondisi temperatur yang tinggi membutuhkan efek fisiologis dari angin.



Gambar 5. 9. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal

- **Kinerja elemen WWR**

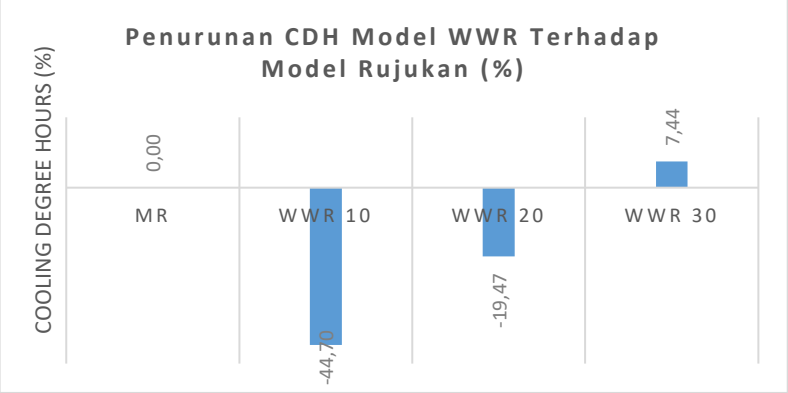
Kinerja elemen WWR salah satunya dapat ditinjau dari penurunan temperatur udara dalam ruang. Dalam hal ini, penurunan temperatur udara tertinggi terhadap model rujukan didapatkan oleh model WWR 10% sebesar 0,42^{o}C, diikuti oleh WWR 20% dengan perolehan penurunan temperatur udara sebasar 0,17^{o}C. Penurunan temperatur udara dibandingkan model rujuakn tidak dapat dicapai oleh WWR 30%, yang sebaliknya mengalami kenaikan temperatur udara sebasar 0,08^{o}C. Model WWR 10% dan 20% mengalami pengurangan ukuran dari model rujukan yang memiliki WWR 26%, sedangkan model WWR 30% mengalami penambahan lusan bidang transparan. Dengan demikian dapat diketahui bahwa semakin kecil luasan bidang transparan semakin baik dalam menurunkan temperatur udara dalam ruang.



Gambar 5. 10. Pengaruh model WWR terhadap penurunan Temperatur ruang

Gambar 5.11 menunjukkan kinrja model WWR terhadap persentase penurunan *cooling degree hours* selama 1 hari. Persentase penurunan *cooling*

degree hours dapat mengindikasikan berkurangnya derajat jumlah pendinginan yang dibutuhkan oleh bangunan. Penurunan *cooling degree hours* paling besar dapat dicapai oleh model WWR 10% yakni sebesar 44,70% dibandingkan model rujukan. Performa kurang baik didapatkan oleh WWR 30%, yang justru mengalami kenaikan *cooling degree hours* terhadap model rujukan sebesar 7,44%.



Gambar 5. 11. Pengaruh model WWR terhadap persentase penurunan *cooling degree hours*

Berdasarkan hasil eksperimen dapat diketahui bahwa perbedaan luasan WWR dapat mempengaruhi kinerja termal dari segi temperatur udara, kelembaban dan kecepatan angin. Dalam hal ini, memperbesar ukuran WWR menjadi 30% mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur udara sebesar 0,08^{o}C dibandingkan kondisi model rujukan, serta kenaikan persentase *cooling degree hours* sebesar 7,44%. Sedangkan untuk WWR dengan luas 10% penurunan temperatur udara dapat dicapai sebesar 0,42^{o}C, serta dapat menurunkan persentase *cooling degree hours* yang dibutuhkan sebesar 44,70%. Hal ini sejalan dengan penelitan Ghosh, (2018), yang menyatakan ketika luas area jendela meningkat, lebih banyak cahaya matahari yang ditransmisikan ke dalam bangunan yang mengakibatkan peningkatan pemanasan. Temperatur udara dalam ruang mengalami puncak sangat dipengaruhi oleh kondisi temperatur luar serta perolehan panas dari bidang transparan. Material bangunan dalam hal ini juga menjadi pengaruh dalam akumulasi perolehan panas ruang. Material yang paling memiliki pengaruh terhadap perolehan baban panas ruang adalah kaca jendela,

dengan nilai U-value 5,77 W/m^2-K. Oleh sebab itu, makin besar luasan kaca jendela menambah beban panas bangunan. Hal ini sejalan menurut Szokolay (2004), elemen transparan merupakan material yang dapat mentransmisikan perolehan panas matahari baik secara konveksi maupun radiasi ke dalam dan luar bangunan. Perbedaan WWR juga mempengaruhi kondisi kecepatan angin dalam ruang. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa WWR 30% dapat meningkatkan distribusi kecepatan aliran udara dalam ruang sebesar 13,58% dibanding model rujukan. WWR 30% lebih besar pengaruhnya dibandingkan dengan WWR 10% dan 20%, hal ini sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Allard (1998).

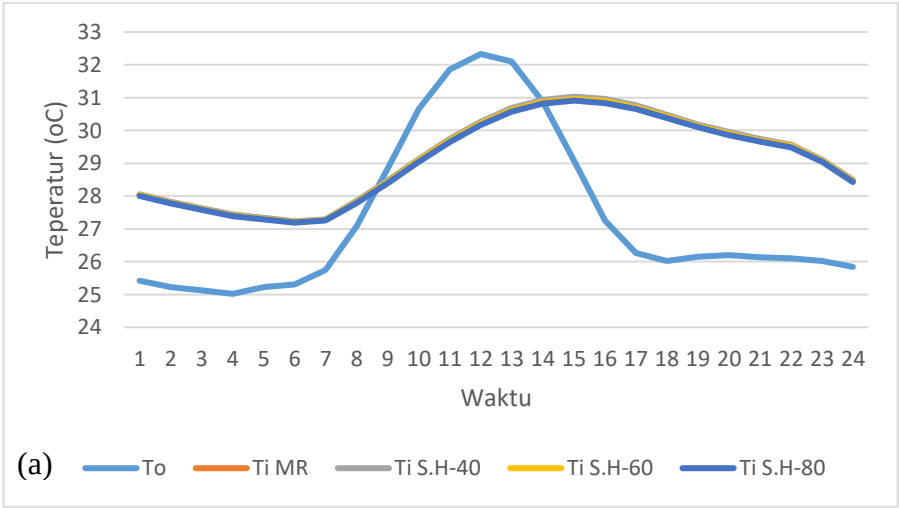
5.2.2 Pengaruh Konfigurasi Tabir Surya terhadap Kinerja Termal Bangunan

Pada eksperimen 2, terdapat 3 tipe tabir surya seperti yang dijelaskan pada poin 3.6.2 sebelumnya terkait tipe eksperimen pada bab 3. Hasil eksperimen yang didapatkan untuk melihat pengaruhnya pada kinerja termal ruang. Modifikasi yang dilakukakan pada model hanya pada bagian tabir surya saja. Dengan demikian elemen fasad lain seperti WWR dan balkon sesuai dengan model rujukan yang ada.

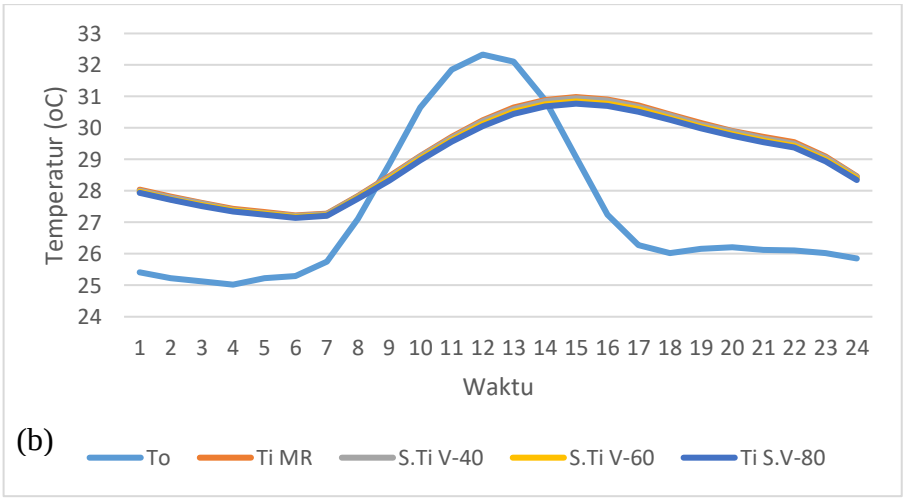
- **Pengaruh Tabir Surya terhadap profil Temperatur, Kelembaban, dan Kecepatan angin**

Gambar 5.11 (a) merupakan profil temperatur hasil eksperimen dari tabir surya horizontal *overhang* dengan panjang 0,4m, 0,6m, dan 0,8m. Hasil temperatur udara dalam ruang pada tiga model ini tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Temperatur udara paling rendah terjadi pada pukul 06.00 dengan nilai sebesar 27,23^{o}C untuk tabir surya horizontal *overhang* panjang 0,4m, 27,21 ^{o}C untuk tabir surya horizontal *overhang* panjang 0,6m, dan 27,19^{o}C tabir surya horizontal *overhang* panjang 0,8m. Pada waktu puncak panas pada siang hari yaitu pukul 15.00, temperatur udara hanya menunjukkan selisih hingga 0,05^{o}C tiap modelnya. Sementara itu tipe tabir surya horizontal *overhang* panjang 0,4m menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi jika dibandingkan kondisi model rujukan. Gambar kedua 5.11 (b), dengan tabir surya vertikal *overhang*

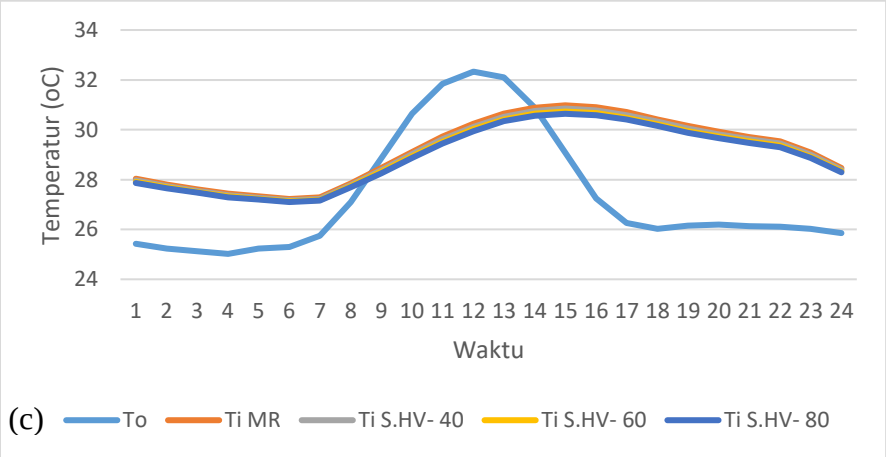
menunjukkan pola yang mirip dengan model sebelumnya. Tidak terjadi perbedaan temperatur udara yang signifikan antara model yang memiliki panjang *overhang* yang berbeda. Pada waktu puncak panas di pukul 15.00, perbedaan temperatur udara hanya menunjukkan selisih hingga 0,1^{o}C antara panjang *overhang* 0,4m, 0,6m, dan 0,8m.



(a)



(b)

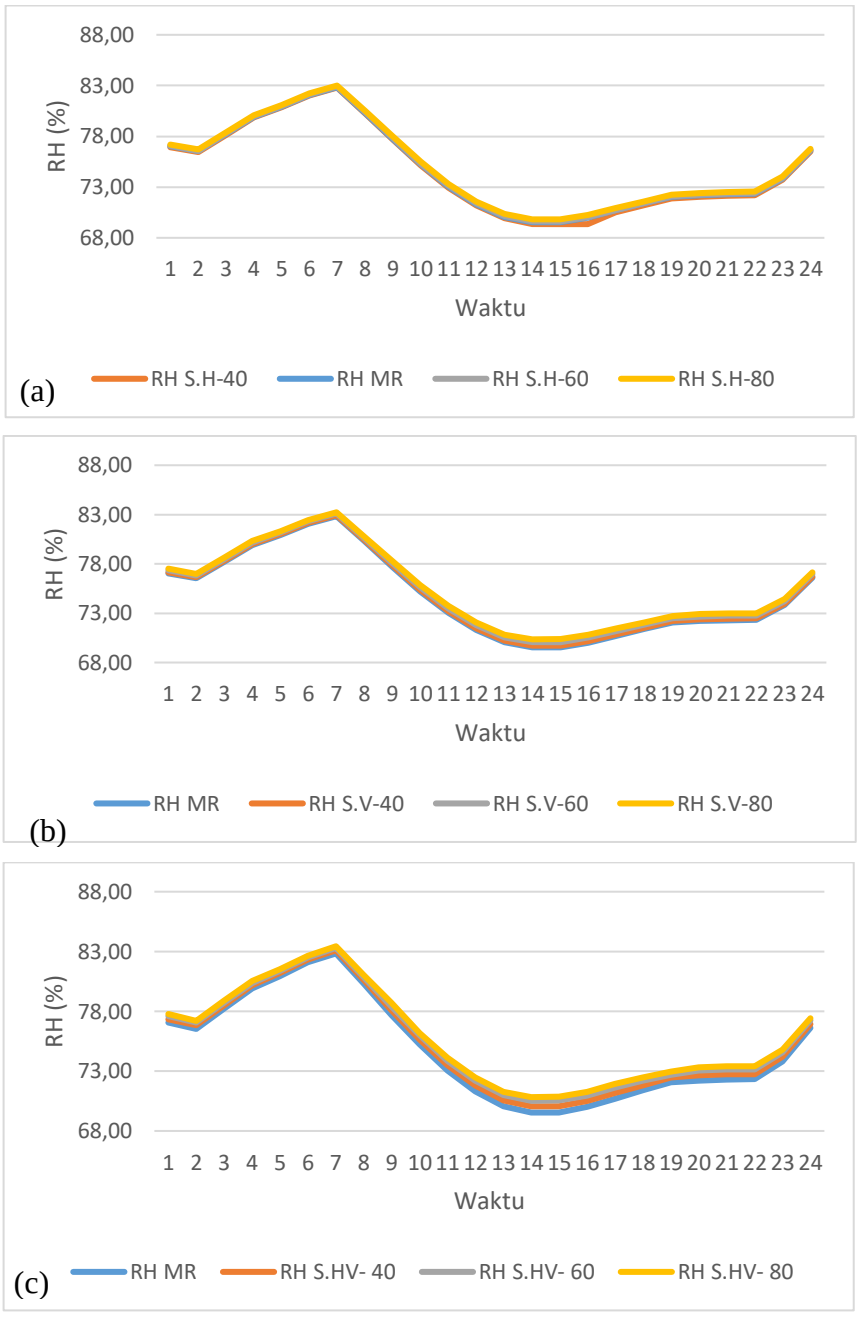


Gambar 5. 12. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap profil temperatur ruang, tipe horizontal *overhang* (a), vertikal *overhang*, dan horizontal-vertikal *overhang* (c)

Selanjutnya, untuk tipe kombinasi horizontal-vertikal *overhang* pada gambar 5.12 (c), perbedaan temperatur udara dapat diamati pada pukul 09.00 hingga menjelang sore hari. Temperatur udara mulai mengalami kenaikan pada pukul 08.00 pagi, sejalan dengan mulai naiknya temperatur udara *outdoor*. Waktu puncak temperatur udara *outdoor* terjadi pada pukul 12.00, sedangkan untuk *indoor* menyusul 3 jam setelahnya. Waktu puncak panas dalam ruang yaitu pukul 15.00, dengan selisih perbedaan temperatur udara untuk setiap panjang model *overhang* yang berbeda hanya mengalami perbedaan kurang lebih 0,09^{o}C. Dengan demikian, dapat diketahui dari gambar 5.12 bahwa tipe tabir surya dengan perbedaan panjang *overhang* 0,4m, 0,6m, dan 0,8m, belum menunjukkan pengaruh yang besar.

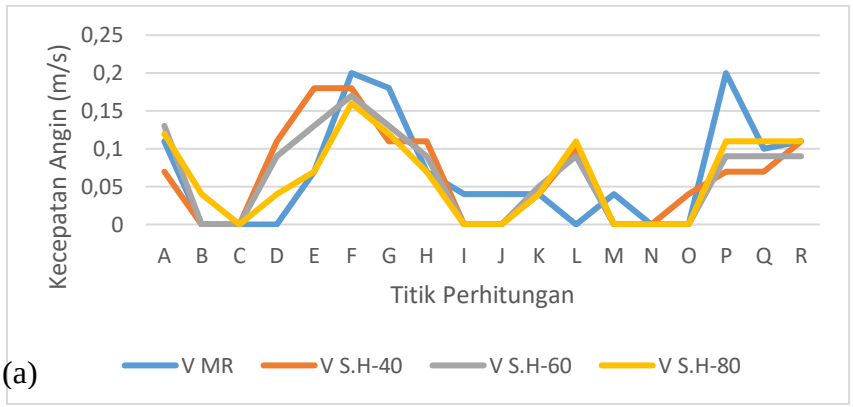
Gambar 5.13 menunjukkan perbedaan kelembapan antara tiga tipe tabir surya, dengan panjang yang berbeda. Kelembapan mengalami titik puncak pada pukul 07.00 dengan nilai mencapai 83.88%, pada tipe horizontal-vertikal *overhang* dengan panjang 0,8m hasil dapat dilihat pada gambar 5.13 (c). Kelembapan mulai mengalami penurunan pada pagi hingga sore hari, dan mengalami puncak terendah pada pukul 14.00. Berdasarkan tipe horizontal dan vertikal *overhang* pada gambar 5.12 (a) dan (b), nilai kelembapan antara variasi panjang *overhang* tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan.

Perbedaan kelembapan antara variasi panjang *overhang* dapat dilihat pada tipe kombinasi horizontal-vertikal *overhang* dengan rata-rata perbedaan mencapai 0,46%. Penurunan kelembaban dalam ruang diikuti dengan naiknya temperatur udara, begitu pula sebaliknya.

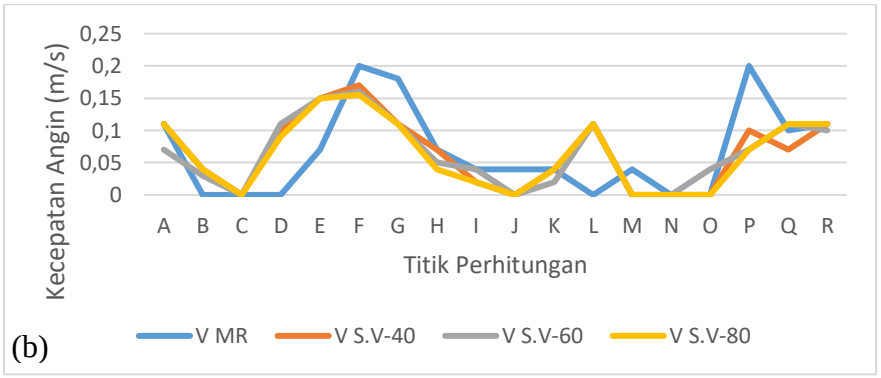


Gambar 5. 13. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap Kelembapan ruang, tipe horizontal *overhang* (a), vertikal *overhang*, dan horizontal-vertikal *overhang* (c)

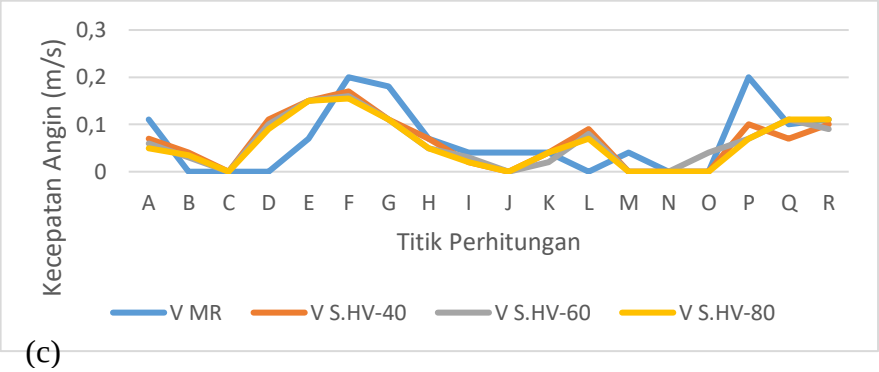
Gambar 5.14 menunjukkan nilai kecepatan angin pada masing-masing *grid* dalam ruang. Berdasarkan tiga gambar yang ada, nilai kecepatan angin dalam ruang menunjukkan kemiripan pola. Titik tertinggi yaitu F dan G merupakan titik yang berdekatan dengan area bukaan. Nilai tertinggi dari hasil eksperimen dengan nilai 0,18 m/s. Gambar 5.14 (a) merupakan hasil eksperimen kecepatan angin untuk tipe horizontal *overhang*, yang cukup bervariasi tiap titiknya. Tipe horizontal *overhang* panjang 0,4m menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada titik yang dekat bukaan, dibandingkan model tanjang tabir surya dengan perbedaan panjang lainnya. Hasil yang ditunjukkan pada gambar 5.13 (b) dan (c), menunjukkan kemiripan pola pada titik pengukuran. Untuk nilai kecepatan angin tertinggi masih didapatkan pada titik yang berdekatan dengan area bukaan, yaitu titik E, F dan G. Berdasarkan hasil eksperimen ini dapat diketahui bahwa tipe dan panjang tabir surya tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan pada kecepatan angin dalam ruang. Berdasarkan kondisi kecepatan angin diluar bangunan, pada pukul 15.00 kecepatan angin iklim mikro mencapai 4,47 m/s jauh lebih tinggi dibandingkan kecepatan angin dalam bangunan.



(a)



(b)



(c)

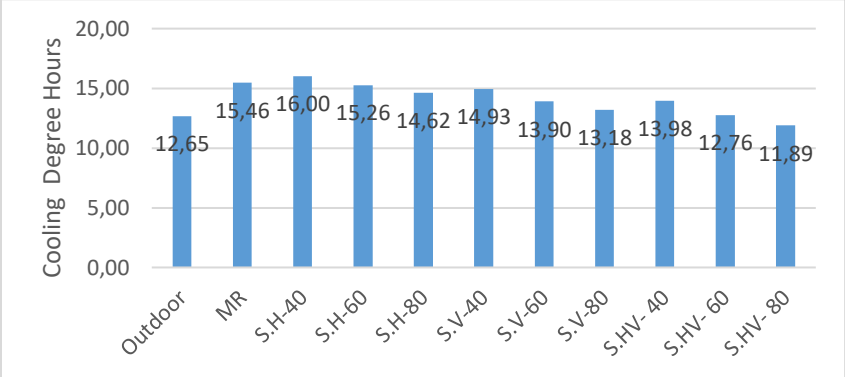
Gambar 5. 14. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap kecepatan angin, tipe horizontal *overhang* (a), vertikal *overhang*, dan horizontal-vertikal *overhang* (c)

Tiga gambar sebelumnya menampilkan kondisi kinerja termal dalam ruang yang dapat dilihat berdasarkan perolehan temperatur udara, kelembapan serta kecepatan angin dari tiap model yang diteliti. Temperatur udara dalam ruang dipengaruhi oleh temperatur luar ruang, serta pengaruh dari perbedaan tipe dan panjang tabir surya atau pembayangan yang dihasilkan. Kelembapan juga saling terkait dengan terjadinya kenaikan dan penurunan temperatur ruang.

- **Pengaruh konfigurasi Tabir surya terhadap kinerja termal dalam ruang**

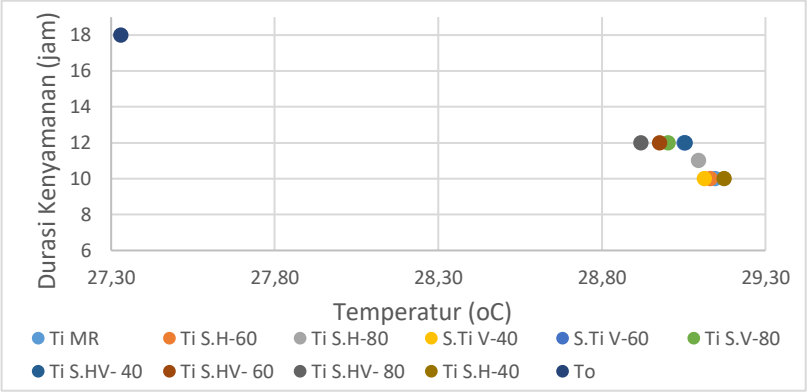
Hasil perhitungan Tn yang didapatkan sebesar 26,53^{o}C, dengan batas bawah 24,04^{o}C dan batas atas 29,04^{o}C. Temperatur udara yang tidak memasuki batas atas kenyamanan mengindikasikan kondisi dalam ruang yang *overheating*. Temperatur udara dalam ruang pada sejumlah model memasuki batas nyaman pada pukul 23.00-10.00 pagi, yang berkisar antara 28,87-29,02^{o}C. Gambar 5.15 menunjukkan kinerja termal bangunan melalui *cooling degree hours* pada tiap model eksperimen menunjukkan nilai yang berbeda. Jumlah *cooling degree hours* pada kondisi *outdoor* selalu lebih rendah dibandingkan dalam bangunan, karena kondisi lingkungan lebih cepat berubah dan beradaptasi dibandingkan bangunan. *Cooling degree hours* paling rendah didapatkan oleh tabir surya tipe horizontal-vertikal panjang 0,8m sebesar 11,89. Sebaliknya nilai paling tinggi didapatkan oleh tipe horizontal panjang 0,4m sebesar 16,00 lebih tinggi dibandingkan model rujukan yang hanya sebesar 15,46. Model tabir surya dengan panjang yang

berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, rata-rata hanya berkisar antara 0,31 hingga 1,22. Kinerja termal ruang terhadap perolehan *cooling degree hours* semakin baik jika menunjukkan nilai yang semakin kecil.



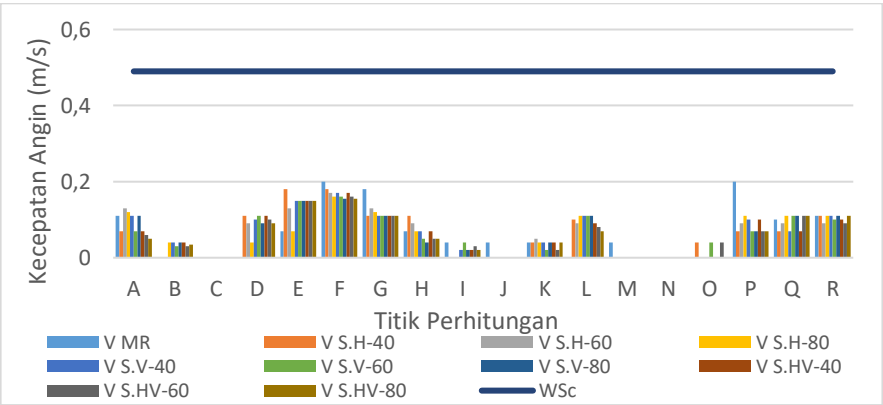
Gambar 5. 15. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap kinerja *cooling degree hours*

Gambar 5.16 menunjukkan durasi kenyaman yang diperoleh berdasarkan rata-rata temperatur udara dalam ruang. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa lama kenyamanan yang dapat dicapai sebagian besar model eksperimen selama 12 jaam, sedangkan model rujukan selama 10 jam. Sebanyak 5 model tabir surya memiliki waktu durasi kenyamanan selama 12 jam, sedangkaan 3 model lainnya hanya mencapai 10 jam. Tata-rata nilai Ti yang paling rendah didapatkan dari tipe horizontal-vertikal *overhang* dengan panjang 0,8m, sebasar 28,92^{o}C. Performa kurang baik didapatkan dari tipe horizontal *overhang* dengan panjang 0,4m, yang memiliki nilai temperatur udara 29,17^{o}C, lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi temperatur udara model rujukan sebesar 29,15^{o}C. Rata-rata perbedaan temperatur udara dalam ruang antara tiap model eksperimen tabir surya tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan.



Gambar 5. 16. Pengaruh konfigurasi tabir surya terhadap durasi kenyamanan termal

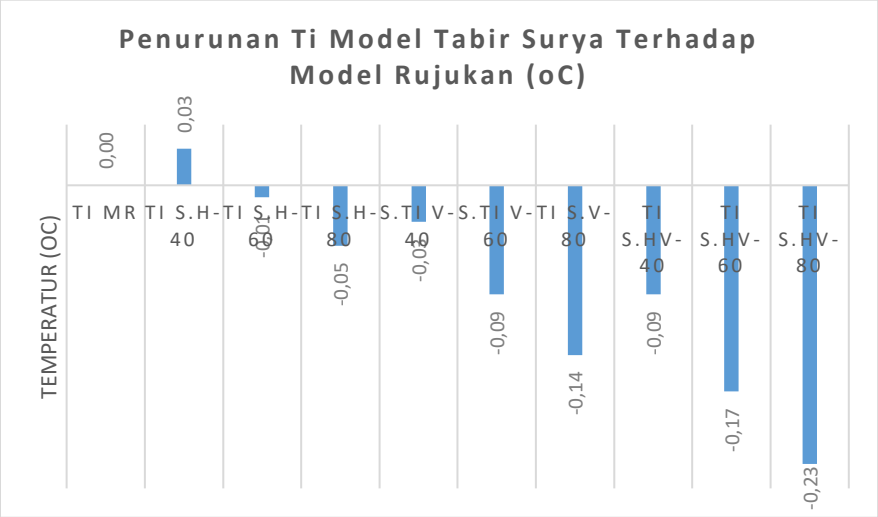
Pengaruh efek fisiologis dari angin ditunjukkan oleh gambar 5.17 yang merupakan hasil rata-rata kecepatan angin dalam ruang dibandingkan dengan model rujukan. Nilai rata-rata kecepatan angin tertinggi didapatkan oleh model tipe vertikal *overhang* panjang 0,4m yaitu sebesar 0,067m/s (lampiran 7). Sebaliknya nilai paling rendah didapatkan oleh tipe horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8m hanya sebesar 0,059m/s. Berdasarkan hasil eksperimen diketahui bahwa perbedaan tipe *overhang* tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan angin dalam ruang. Semakin besar halangan yang ada pada area eksterior bukaan maka kecepatan angin di dalam ruang semakin kecil. Dalam hal ini jika dibandingkan dengan nilai WSc pada pukul 15.00 sebesar 0,49 m/s, kecepatan angin dalam ruang masih belum memenuhi batas minimal tersebut. Kondisi temperatur dan kelembaban ruang pada pukul 15.00 yang menjadi dasar perhitungan kebutuhan WSc adalah 30,98^{o}C dan 64,54%.



Gambar 5. 17. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal

- **Kinerja Elemen Tabir Surya**

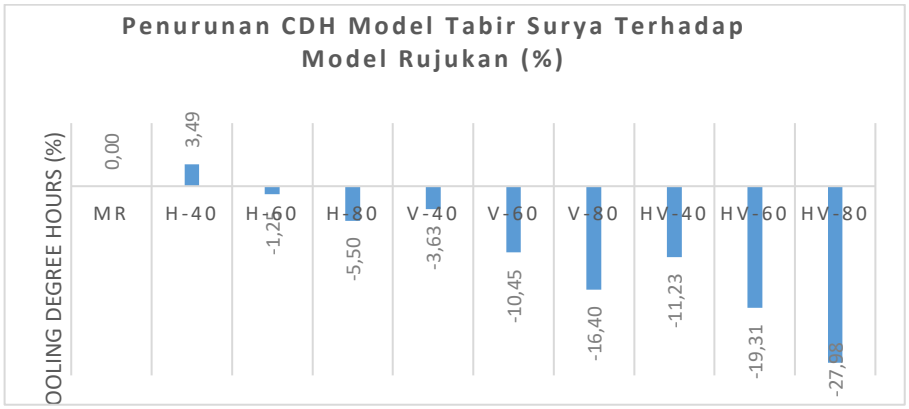
Kinerja elemen tabir surya dapat dilihat salah satu pengaruhnya pada penurunan temperatur udara dalam ruang. Berdasarkan hasil eksperimen dari 9 model tabir surya yang berbeda, 8 diantaranya mengalami penurunan temperatur dibanding dengan model rujukan yang dapat dilihat pada gambar 5.18. Penurunan temperatur udara paling tinggi diperoleh tipe horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8m, dengan penurunan temperatur mencapai 0,23^{o}C. Sebaliknya tipe dan variasi panjang tabir surya lainnya mengalami penurunan temperatur udara yang hanya berkisar antara 0,01-0,17^{o}C. Dengan demikian, berdasarkan hasil eksperimen dari model tabir surya hanya tipe horizontal *overhang* panjang 0,4m yang mengalami kenaikan temperatur terhadap model rujukan sebasar 0,03^{o}C. Perbedaan penurunan temperatur untuk tipe dan variasi panjang *overhang* tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, jika dibandingkan dengan hasil eksperimen WWR.



Gambar 5. 18. Pengaruh model tabir surya terhadap penurunan Temperatur ruang

Gambar 5.19 menunjukkan kinerja model tabir surya terhadap persentase penurunan *cooling degree hours*. Penurunan *cooling degree hours* paling besar dapat dicapai oleh tipe horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8m sebesar 27,98% dibandingkan kondisi model rujukan. Sebaliknya, performa kurang baik didapatkan oleh tipe hirizontal *overhang* panjang 0,4m, yang justru mengalami

peningkatan *cooling degree hours* terhadap model rujukan sebesar 3,49%. Adanya penurunan *cooling degree hours* dapat mengindikasikan berkurangnya derajat jumlah pendinginan yang dibutuhkan oleh bangunan. Peningkatan persentase penurunan *cooling degree hours* sejalan dengan bertambahnya luasan area yang dapat dinaungi oleh model tabir surya.



Gambar 5. 19. Pengaruh model tabir surya terhadap persentase penurunan *Cooling degree hours*

Perangkat tabir surya eksternal merupakan alat yang paling efektif untuk mengendalikan penetrasi matahari (Szokolay, 2004). Berdasarkan hasil eksperimen terhadap tipe dan panjang *overhang*, pengaruh lebih terlihat dari perbedaan tipe tabir surya. Tabir surya tipe horizontal-vertikal *overhang* dengan panjang 0,8m, menunjukkan performa paling efektif dibandingkan tipe horizontal *overhang* dan vertikal *overhang* dengan panjang yang lebih pendek. Tabir surya tipe horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8m mampu memberikan penurunan temperatur 0,23^{o}C, serta menghasilkan penurunan persentase cooling degree hour sebesar 27,98%. Sebaliknya, performa terburuk didapatkan oleh tipe horizontal *overhang* panjang 0,4m, yang mengalami kenaikan temperatur dibandingkan model rujukan sebesar 0,03^{o}C. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Ghosh, dkk, (2018), yang menyebutkan bahwa perbedaan konfigurasi bentukan shading berpengaruh dalam perolehan radiasi matahari yang pengaruhnya terhadap temperatur udara dalam ruang serta perolehan energi tahunan. Sehingga tipe tabir surya yang paling banyak memberikan pembayangan merupakan model paling efektif. Jika dilihat dari perolehan kecepatan angin yang tidak terlalu signifikan

dalam ruang, selain dipengaruhi oleh luas bukaan juga dipengaruhi oleh profil pada fasad bangunan. Elemen tabir surya selain dapat difungsikan sebagai pengarah angin juga dapat berdampak pada reduksi aliran angin yang masuk ke dalam bangunan. Hal ini sejalan dengan pendapat Aynsley (1977) yang menyatakan kecepatan angin yang tinggi memiliki energi kinetik yang tinggi, namun pada saat angin menghadapi penghalang energi kinetik dapat berubah menjadi tekanan yang menurunkan kecepatan angin.

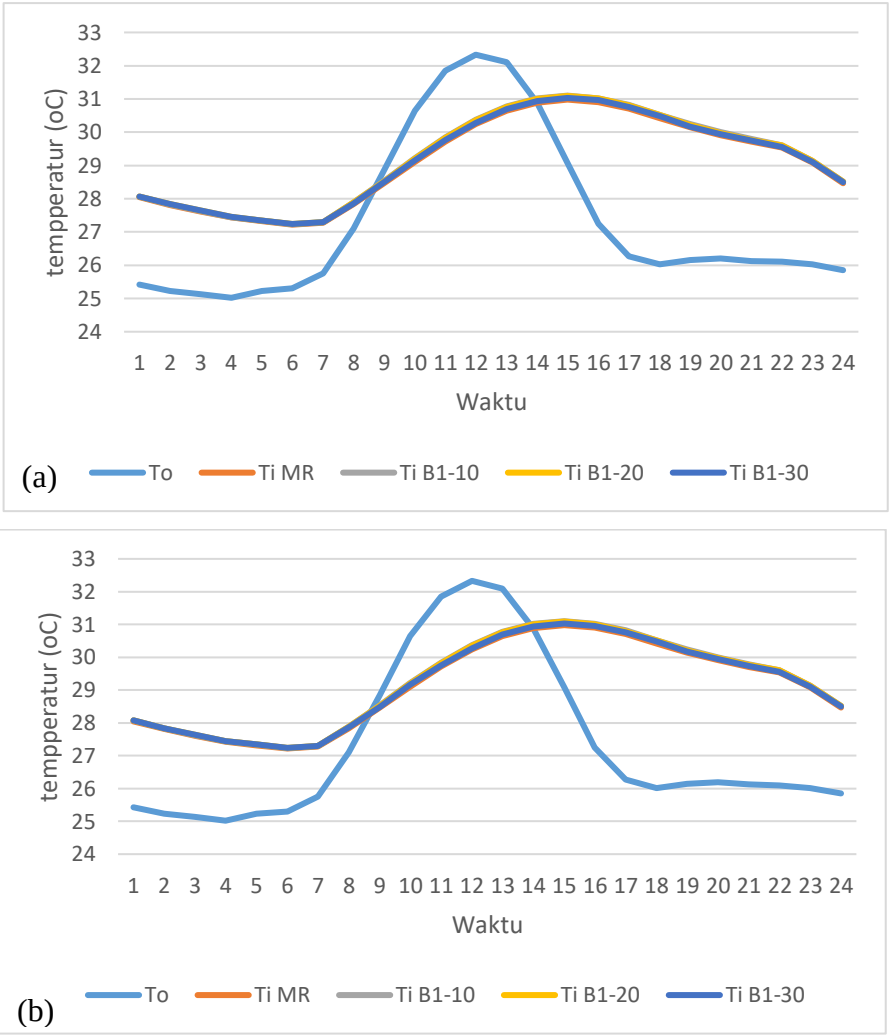
5.2.3 Pengaruh Balkon terhadap Kinerja Termal Ruang

Eksperimen 3 yang dilakukan pada elemen balkon, terdapat 2 tipe balkon yang digunakan seperti dijelaskan pada poin 3.6.2 sebelumnya pada bab 3. Hasil eksperimen yang didapatkan untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja termal ruang serta kaitannya dalam pemenuhan kebutuhan berdasarkan efek fisiologis dari aliran angin.

- **Pengaruh Tipe balkon terhadap profil Temperatur, Kelembaban, dan Kecepatan angin**

Gambar 5.20 (a) merupakan profil temperatur hasil eksperimen dari tipe balkon terbuka. Perolehan temperatur udara dalam ruang antara model dan kedalaman balkon yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Temperatur udara paling rendah terjadi pada pukul 06.00 dengan selisih antara tiap modelnya hanya sebesar 0,01^{o}C. Pada waktu puncak panas siang hari yaitu pukul 15.00, temperatur udara hanya menunjukkan selisih hingga 0,07^{o}C antara kedalaman 10% dan 30% yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan model rujukan. Gambar kedua 5.18 (b), dengan tipe balkon semi tertutup menunjukkan pola yang mirip dengan model sebelumnya. Tidak terjadi perbedaan temperatur udara yang signifikan antara model yang memiliki perbedaan kedalaman balkon. Pada waktu puncak panas di pukul 15.00, perbedaan temperatur udara hanya menunjukkan selisih hingga 0,1^{o}C antara kedalaman balkon 10%, 20%, dan 30%. Model eksperimen elemen balkon ini memiliki perbedaan waktu puncak panas yang mundur 3 jam dari waktu puncak *outdoor* yang terjadi pada pukul 12.00 siang. Pengaruh perbedaan kondisi temperatur udara dalam ruang lebih terlihat

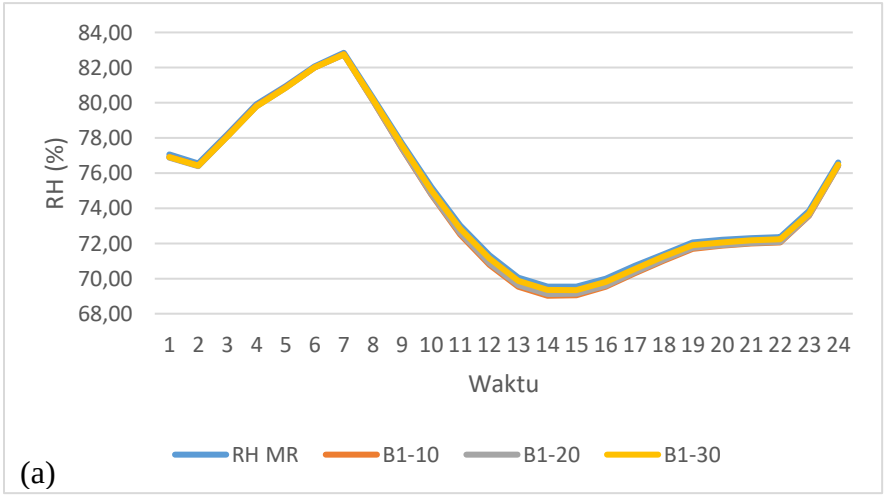
pada perbedaan tipe balkon. Balkon dengan tipe terbuka kurang berhasil memberikan naungan pada area fasad didalamnya.



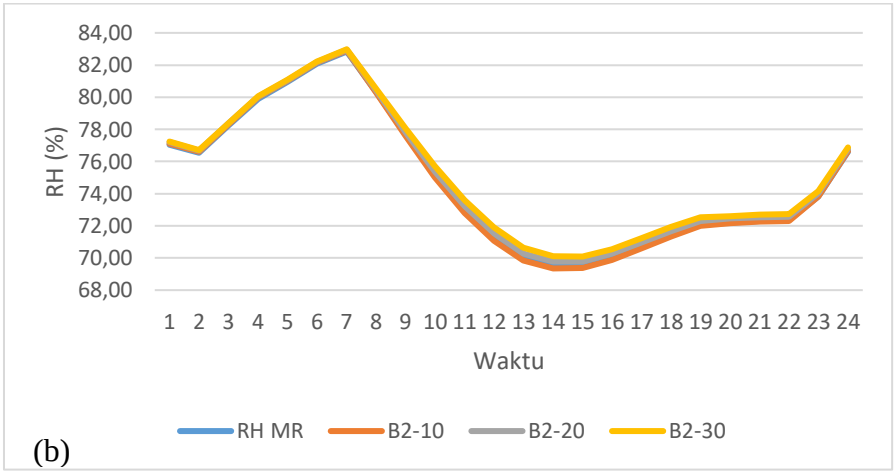
Gambar 5. 20. Pengaruh konfigurasi balkon terhadap profil temperatur ruang, tipe balkon terbuka (a), dan tipe balkon semi tertutup (b)

Gambar 5.21 menunjukkan perbedaan kelembapan antara dua tipe balkon, dengan kedalaman yang berbeda. Kelembapan mengalami titik puncak pada pukul 07.00 dengan nilai mencapai 82.98%, pada tipe balkon tertutup kedalaman 30% dapat dilihat pada gambar 5.21(b). Kelembapan mulai mengalami penurunan di pagi hingga sore hari, dan mengalami puncak terendah pada pukul 14.00. Tipe balkon terbuka dan semi tertutup memiliki nilai kelembapan yang tidak jauh berbeda antara variasi kedalaman yang berbeda. Perbandingan antara kondisi kelembapan model rujukan dan tipe balkon semi tertutup kedalaman 30%

memiliki selisih kelembaban hingga mencapai 0,55%. Kondisi kelembaban dalam ruang berbanding terbalik dengan temperatur udara.



(a)

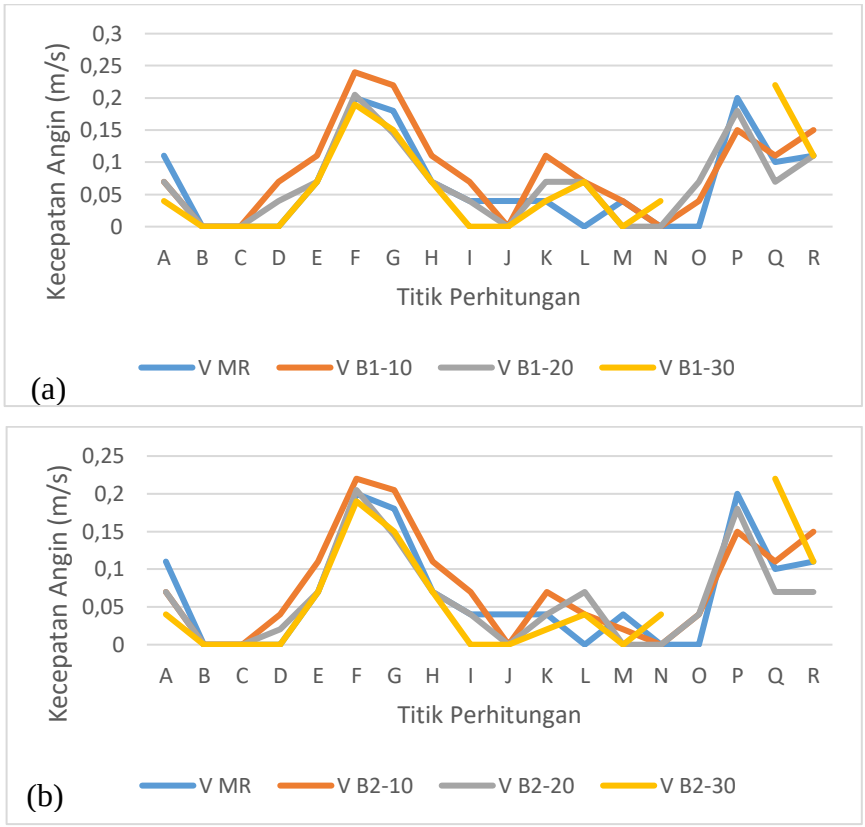


(b)

Gambar 5. 21. Pengaruh konfigurasi tipe balkon terhadap Kelembaban ruang, tipe balkon terbuka (a), dan tipe balkon semi tertutup (b)

Berikutnya merupakan pembahasan mengenai nilai kecepatan angin pada masing-masing titik dalam ruang. Gambar 5.22 (a) merupakan hasil eksperimen untuk tipe balkon terbuka, yang menunjukkan kecepatan angin yang cukup bervariasi. Titik pengukuran tertinggi yaitu F dan G merupakan titik yang berdekatan dengan area bukaan. Nilai tertinggi pada model rujukan didapat sebesar 0,2 m/s, yang lebih rendah jika dibandingkan dengan balkon terbuka kedalaman 10% dengan kecepatan angin mencapai 0,24 m/s. Tipe balkon terbuka dengan kedalaman 10% ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibeberapa titik dalam ruang, menyusul dengan dua kedalaman lainnya yaitu 20% dan 30%.

Sehubungan denga itu, dapat dilihat pada gambar 5.22(b) menunjukkan kemiripan pola pada titik kecepatan angin dalam ruang. Untuk nilai kecepatan angin tertinggi masih didapatkan pada titik yang berdekatan dengan area bukaan, yaitu titik F dan G sebesar 0,22 m/s. Berdasarkan hasil eksperimen ini dapat diketahui bahwa tipe dan kedalaman balkon pembengaruhi perbedaan kecepatan angin dalam ruang. Sehubungan dengan itu balkon tipe terbuka dengan kedalaman yang lebih pendek, menunjukkan distribusi kecepatan angin rata-rata pada titik di dalam ruang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi model rujukan.



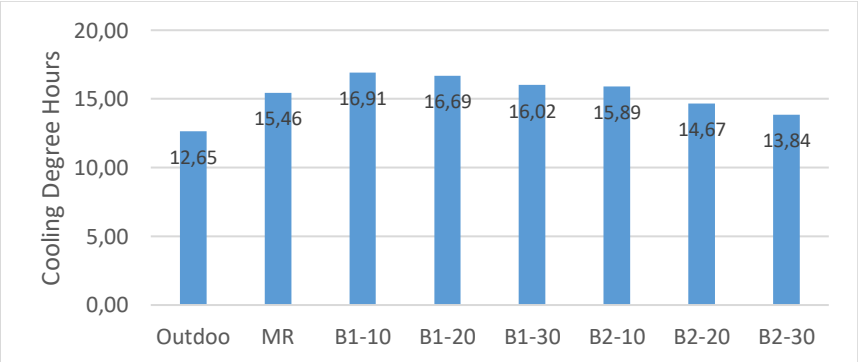
Gambar 5. 22. Pengaruh konfigurasi tipe balkon terhadap kecepatan angin, tipe balkon terbuka (a), dan tipe balkon semi tertutup (b)

Pada tiga gambar sebelumnya menampilkan kondisi kinerja termal dalam ruang yang dapat dilihat berdasarkan perolahan temperatur udara, kelembapan serta kecepatan angin dari tiap model yang diteliti. Temperatur udara dalam ruang dipengaruhi oleh temperatur luar ruang, serta perbedaan tipe dan kedalaman

balkon. Kecepatan angin dalam rungan juga dipengaruhi oleh kedalaman balkon, serta diperlukan dalam proses pelepasan panas dalam ruang.

- **Pengaruh tipe balkon terhadap kinerja termal dalam ruang**

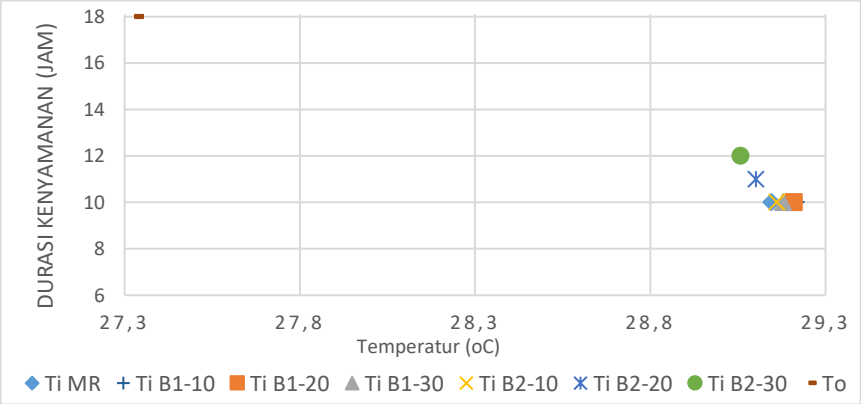
Berdasarkan batas kenyamanan yang diperlukan untuk mengetahui pengaruh kinerja termal, didapatkan hasil perhitungan Tn sebesar 26,53^{o}C, dengan batas bawah 24,04^{o}C dan batas atas 29,04^{o}C. Temperatur udara dalam ruang yang memasuki batas nyaman pada pukul 24.00-09.00 pagi saja. Temperatur udara yang memasuki batas nyaman berkisar antara 28,53-29,01^{o}C. Sebaliknya temperatur udara pada jam lainnya yang berada di atas batas kenyamanan dapat dikatakan *overheating*. Gambar 5.23 membahas mengenai analisa *cooling degree hours* pada model eskperimen. *Cooling degree hours* paling rendah didapatkan oleh balkon semi tertutup kedalaman 30% sebesar 13,84. Adapun nilai paling tinggi didapatkan oleh balkon terbuka kedalaman 10% sebesar 16,91 lebih tinggi dibandingkan model rujukan sebesar 15,46. Dalam hal ini balkon dengan model lain menunjukkan nilai *cooling degree hours* yang lebih tinggi dibandingkan model rujukan, kecuali balkon tipe semi tertutup kedalaman 20% dan 30%. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukkan, tipe balkon semi tertutup memiliki naungan lebih besar jika dibandingkan dengan tipe balkon terbuka. Sejalan dengan ini, nilai *cooling degree hours* semakin rendah dengan semakin luasnya bilang fasad yang ternaungi oleh balkon.



Gambar 5. 23. Pengaruh elemen balkon terhadap kinerja degree hours

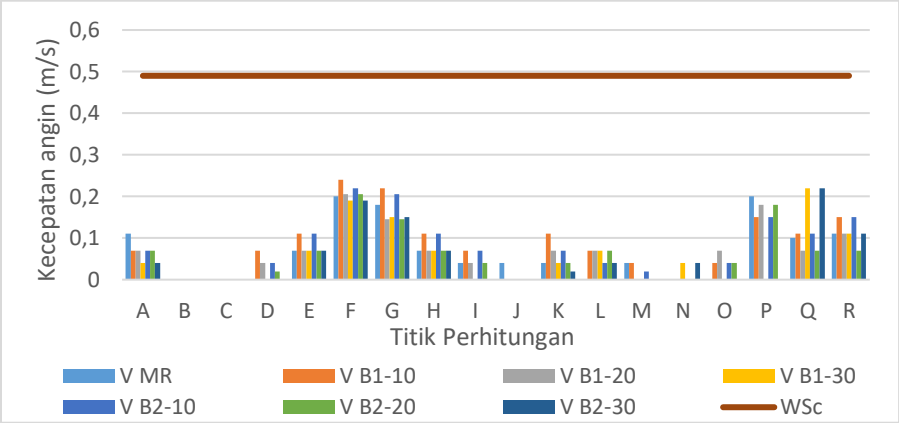
Gambar 5.24 di bawah ini menunjukkan durasi kenyamanan yang diperoleh berdasarkan nilai rata-rata temperatur udara dalam ruang. Hasil

eksperimen menunjukkan bahwa lama kenyamanan yang dapat dicapai dari empat model eksperimen (balkon terbuka kedalaman 10%, 20% dan 30%, semi tertutup kedalaman 10%) selama 10 jam, sedangkan dua model lainnya (balkon semi tertutup kedalaman 20% dan 30%) selama 11 dan 12 jam. Dalam hal ini, semakin luas area fasad yang dapat dinaungi oleh balkon, dapat meningkatkan durasi kenyamanan ruang. Rata-rata nilai Ti yang paling rendah didapatkan dari tipe balkon semi tertutup kedalaman 30%, sebasar 29,05^{o}C. Performa kurang baik didapatkan dari tipe balkon terbuka kedalaman 10%, yang memiliki nilai 29,21^{o}C lebih tinggi dibandingkan dengan model rujukan sebesar 29,14^{o}C.



Gambar 5. 24. Pengaruh elemen balkon terhadap durasi kenyamanan termal

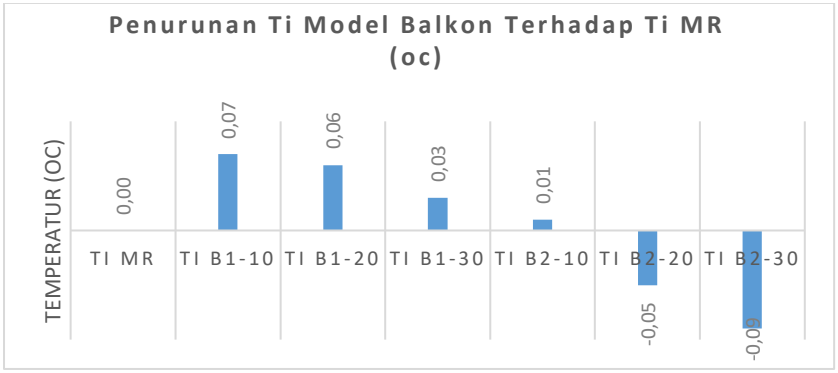
Gambar 5.25 memaparkan hasil rata-rata kecepatan angin dalam ruang jika dibandingkan dengan model rujukan. Nilai rata-rata kecepatan angin tertinggi didapatkan oleh model eksperimen balkon tipe terbuka kedalaman 10% yaitu sebesar 0,087m/s. Sebaliknya nilai paling rendah didapatkan oleh balkon tipe semi tertutup kedalaman 30% sebesar 0,053m/s, diikuti tipe balkon dengan kedalaman lainnya (lampiran 8). Berdasrkan hasil eksperimen diketahui bahwa balkon yang lebih pendek tanpa halangan menunjukkan rata-rata kecepatan angin dalam ruang yang lebih baik. Semakin besar halangan yang ada pada sekitar area eksterior bukaan maka kecepatan angin di dalam ruang semakin kecil. Jika dibandingkan dengan nilai WSc sebesar 0,49 m/s, kecepatan angin dalam ruang masih belum memenuhi batas minimal tersebut. Namun untuk balkon tipe terbuka kedalaman 10% terjadi peningkatan rata-rata kecepatan angin yang lebih baik dibandingkan model rujukan.



Gambar 5. 25. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal

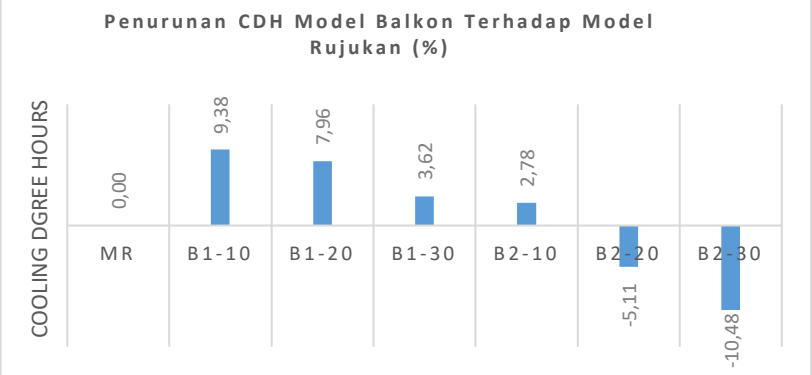
- **Kinerja Elemen Balkon**

Berdasrkan hasil eksperimen dari 6 model balkon yang berbeda, 2 diantaranya mengalami penurunan temperatur terhadap model rujukan yang dapat dilihat pada gambar 5.26. Penurunan temperatur udara paling tinggi diperoleh balkon tipe semi tertutup kedalaman 30%, dengan penurunan temperatur mencapai 0,09^{o}C diikuti dengan model kedalaman balkon 20% sebesar 0,05^{o}C. Berdasarkan hasil eksperimen ini, hanya tipe balkon semi tertutup kedalaman 20% dan 30% saja yang mengalami penurunan temperatur, sedangkan tipe lainnya mengalami kenaikan temperatur hingga mencapai 0,07^{o}C. Jika dibandingkan dengan hasil eksperimen WWR dan tabir surya sebelumnya, perbedaan penurunan temperatur untuk tipe dan kedalaman balkon tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan.



Gambar 5. 26. Pengaruh model balkon terhadap penurunan Temperatur ruang

Gambar 5.27 menunjukkan kinerja model balkon terhadap persentase penurunan *cooling degree hours*. Persentase penurunan *cooling degree hours* dapat mengindikasikan berkurangnya derajat jumlah pendinginan yang dibutuhkan oleh bangunan. Penurunan *cooling degree hours* paling besar dapat dicapai oleh balkon semi tertutup kedalaman 30% sebesar 10,48% dibandingkan kondisi model rujukan. Tipe balkon semi tertutup kedalaman 20% juga mengalami persentase penurunan *cooling degree hours* sebesar 5,11%. Sebaliknya, performa kurang baik didapatkan oleh tipe balkon terbuka kedalaman 10%, yang justru mengalami peningkatan persentase *cooling degree hours* terhadap model rujukan sebesar 9,38%. Selanjutnya diikuti oleh tipe lainnya yang mengalami persentase kenaikan dari *cooling degree hours*.



Gambar 5. 27. Pengaruh model balkon terhadap persentase penurunan Cooling degree hour

Hasil eksperimen terhadap dua tipe balkon terbuka dan semi tertutup dengan kedalaman masing-masing 10%, 20%, dan 30%, berpengaruh terhadap temperatur udara dalam ruang. Performa terbaik terhadap penurunan temperatur udara dalam ruang paling efektif dihasilkan oleh balkon semi tertutup yang kedalamannya ditambah menjadi 30%. Hal ini sejalan dengan penelitian Chan & Chow, (2010), yang menemukan bahwa balkon dapat berlaku sebagai *overhang* dan memberikan naungan dari radiasi sinar matahari, yang sangat baik kaitannya terhadap penghematan energi listrik. Sementara itu pengaruh tipe dan kedalaman balkon terhadap kecepatan angin dalam ruang, paling efektif pada balkon dengan tipe terbuka kedalaman 10%, meskipun pada tipe ini kurang baik terhadap

penurunan temperatur udara dalam ruang. Menurut penelitian oleh Omrani, (2017), balkon terbuka menghasilkan kecepatan angin dalam ruang lebih tinggi dengan memanfaatkan kinerja ventilasi 1 sisi. Selain itu peningkatan kedalaman balkon menyebabkan penurunan kecepatan angin dalam ruang.

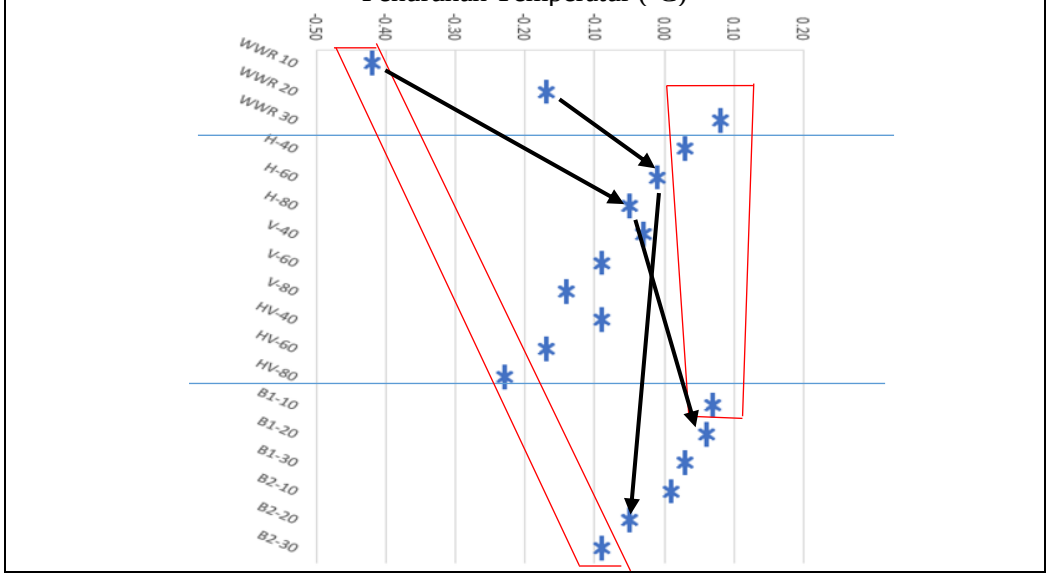
5.3 Pengaruh Kinerja Kombinasi Elemen Fasad terhadap Kinerja Termal bangunan

Pada eksperimen 4, terdapat 4 model eksperimen yang digunakan seperti dijelaskan pada poin 3.6.2 sebelumnya di bab 3. Hasil eksperimen yang didapat untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja termal ruang serta kaitannya dalam pemenuhan kebutuhan berdasarkan efek fisiologis dari aliran angin.

Pemilihan kombinasi elemen fasad berdasarkan hasil eksperimen pengaruh dari WWR, tabir surya, dan balkon. Kombinasi elemen fasad diambil dari beberapa pertimbangan, adapun kombinasi pertama diambil dari hasil eksperimen yang menunjukkan nilai paling baik. Selanjutnya untuk kombinasi kedua diambil dari hasil eksperimen yang memiliki nilai paling buruk. Sedangkan kombinasi ketiga dan keempat diambil berdasarkan hasil rentang diantara nilai paling baik dan paling buruk. Berikut penjelasannya ditunjukkan oleh tabel 5.7:

Tabel 5. 7: Pertimbangan pemilihan kombinasi elemen fasad

Tipe Elemen Fasad
Penurunan Temperatur (°C)



WWR	WWR 10%	WWR 20%	WWR 30%
Tabir Surya	Horizontal-Vertikal, panjang 0,8m	Horizontal-Vertikal, panjang 0,6m	Horizontal-Vertikal, panjang 0,4m
	Vertikal, panjang 0,8m	Vertikal, panjang 0,6m	Vertikal, panjang 0,4m
	Horizontal, panjang 0,8m	Horizontal, panjang 0,6m	Horizontal, panjang 0,4m
Balkon	Semi tertutup, kedalaman 30%	Semi tertutup, kedalaman 20%	Semi tertutup, kedalaman 10%
	Terbuka, kedalaman 30%	Terbuka, kedalaman 20%	Terbuka, kedalaman 10%

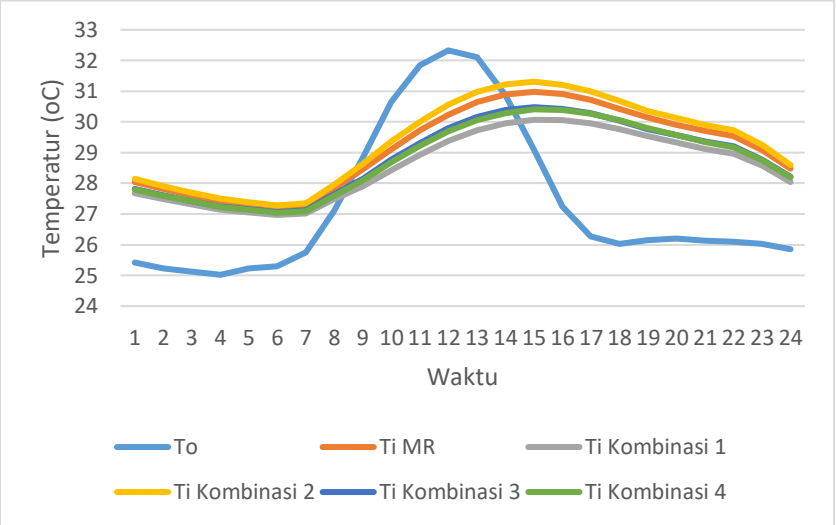
Kombinasi 1= WWR 10%, Horizontal-Vertikal *overhang* panjang 0,8m, balkon semi tertutup kedalaman 30%
Kombinasi 2= WWR 30%, Horizontal *overhang* panjang 0,4m, balkon terbuka kedalaman 10%
Kombinasi 3= WWR 20%, Vertikal *overhang* panjang 0,6m, balkon semi tertutup kedalaman 20%
Kombinasi 4= WWR 10%, Horizontal *overhang* panjang 0,8m, balkon terbuka kedalaman 20%
NB: susunan isi tabel diurutkan dari hasil terbaik hingga paling buruk, dengan susunan paling atas kiri merupakan hasil terbaik hingga paling kanan bawah merupakan hasil paling buruk.

- **Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap profil Temperatur, Kelembaban, dan Kecepatan angin**

Gambar 5.28 merupakan profil temperatur hasil eksperimen dari kombinasi elemen fasad. Model kombinasi 1 dan 2 menunjukkan perbedaan yang cukup terhadap kondisi temperatur udara dalam ruang. Temperatur udara paling rendah terjadi pada pukul 06.00 sebesar 26,97^{o}C untuk model kombinasi 1, lebih rendah dibanding temperatur model rujukan sebesar 27,22^{o}C. Pada waktu puncak panas di siang hari yaitu pukul 15.00, temperatur udara pada model kombinasi 1,3 dan 4 menunjukkan selisih cukup banyak terhadap model rujukan, dengan selisih 0,91^{o}C untuk model kombinasi 1 dan diikuti 0,50^{o}C dan 0,57^{o}C untuk model kombinasi 3 dan 4. Sebaliknya, untuk model kombinasi 2, pada waktu puncak panas di siang hari justru mengalami kenaikan temperatur udara jika dibandingkan terhadap model rujukan dengan selisih 0,33^{o}C. Berkaitan dengan itu, pengurangan WWR menjadi 10% serta penggunaan tabir surya dengan naungan yang luas seperti pada tipe horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8m, begitu pula naungan

dari balkon dengan tipe semi tertutup kedalaman 30% menjadi faktor utama dalam menurunkan perolehan temperatur udara dalam ruang.

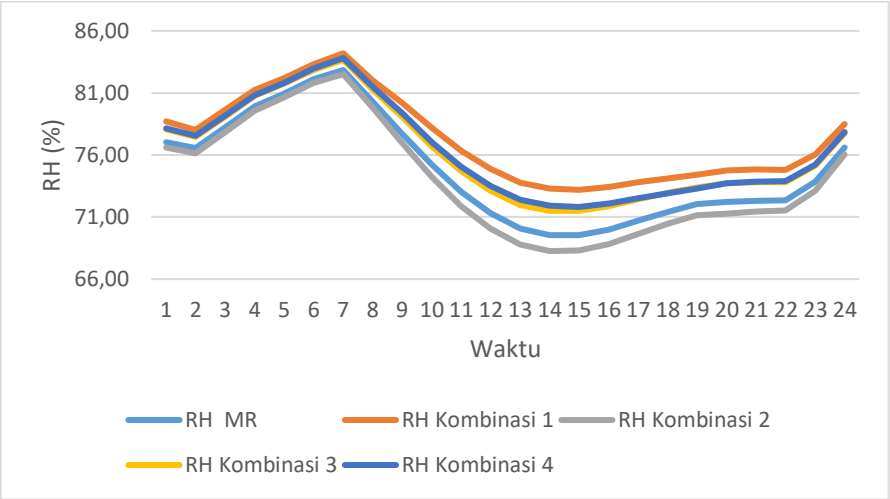
Selisih antara temperatur udara pada model rujukan dan model kombinasi terjadi secara signifikan mulai pukul 09.00 hingga sore hari. Hal ini sejalan dengan meningkatnya temperatur *outdoor* secara signifikan dan mencapai puncaknya pada pukul 12.00 sebasar 32,33 ^{o}C. Rata-rata selisih penurunan dan kenaikan maksimal yang didapatkan dari model kombinasi elemen fasad terhadap model rujukan, yaitu penurunan temperatur 1,81^{o}C untuk model kombinasi 1, dan kenaikan temperatur 0,71^{o}C untuk model kombinasi 2.



Gambar 5. 28. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap profil temperatur ruang

Gambar 5.29 menunjukkan perbedaan kelembapan antara model kombinasi elemen fasad yang berbeda. Kelembapan mengalami titik puncak pada pukul 07.00 dengan nilai mencapai 84,19% didapatkan oleh model kombinasi 1, lebih tinggi 2,65% dibandingkan model rujukan. Sebaliknya kelembapan lebih rendah didapatkan dari model kombinasi 2 dengan selisih 0,33% dibandingkan model rujukan. Kelembapan mulai mengalami penurunan pada pagi hingga sore hari, dan mengalami puncak terendah pada pukul 14.00. Perbedaan kelembapan tiap model kombinasi yang dibandingkan dengan model rujukan cukup signifikan pada saat mengalami waktu penurunan, dengan selisih maksimal 3,65% dan selisih minimal 1,24% dari model rujukan. Kelembapan dalam ruang berbanding terbalik dengan temperatur udara. Kelembaban mengalami penurunan, serta

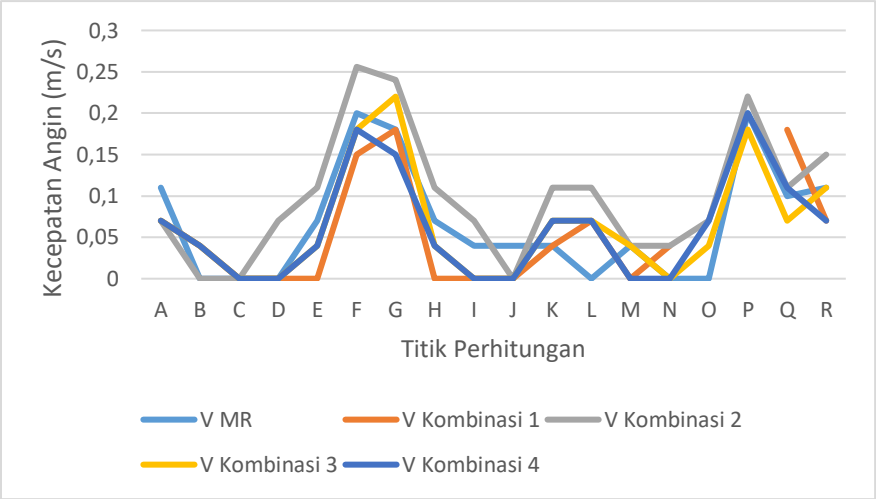
terjadi perbedaan yang cukup signifikan antar model kombinasi menjelang pukul 14.00 hingga pukul 18.00. Penurunan kelembapan saat puncak terjadinya panas menunjukkan pengaruh baik terhadap kondisi termal ruang, karena tidak menambah penghambatan pelepasan keringan oleh tubuh.



Gambar 5. 29. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap Kelembaban ruang

Pembahasan mengenai nilai kecepatan angin pada masing-masing titik dalam ruang, dapat dilihat pada gambar 5.30. Titik tertinggi yaitu F dan G merupakan titik yang berdekatan dengan area bukaan. Nilai tertinggi pada model rujukan didapat sebesar 0,2 m/s, yang lebih rendah jika dibandingkan dengan model kombinasi 2 dengan kecepatan angin mencapai 0,256 m/s. Hal ini dapat dipengaruhi oleh penggunaan elemen fasad yang terdiri dari WWR 30%, dan balkon terbuka dengan kedalaman 10% yang nyebabkan aliran udara dengan debit yang cukup besar dari luar masuk ke dalam ruang tanpa terhalangi oleh profil area fasad yang besar. Kecepatan angin pada titik dalam ruang untuk model kombinasi 2 masih menunjukkan nilai yang yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan model rujukan. Tipe dan kedalaman balkon serta ukuran WWR memiliki pengaruh terhadap perbedaan untuk kecepatan angin dalam ruang. Dengan kata lain, balkon tipe terbuka dengan kedalaman yang lebih pendek lebih cocok dikombinasikan dengan luasan WWR yang lebih besar, terkait distribusi kecepatan angin pada titik dalam ruang jika dibantingkan dengan model rujukan. Jika dibandingakn dengan kondisi *outdoor*, kondisi kecepatan angin *outdoor* yang

mencapai 4,47m/s tergolong cukup besar, sebaliknya kondisi kecepatan angin dalam ruang masih cukup besar tereduksi.



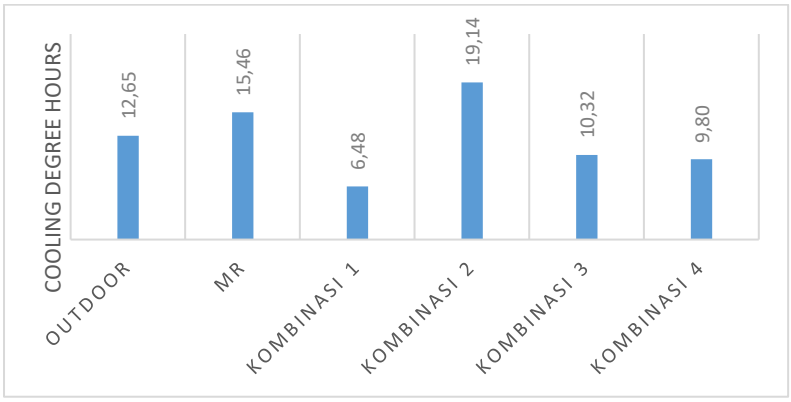
Gambar 5. 30. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap kecepatan angin

Pembahasan sebelumnya, telah memaparkn kondisi kinerja termal dalam ruang yang dilihat berdasarkan parameter temperatur udara, kelembapan, serta kecepatan angin untuk empat model kombinasi elemen fasad. Temperatur udara dalam ruang dipengaruhi oleh temperatur luar ruang, serta pelorehan panas dalam bangunan melalui bidang transparan dan efek pembayangan dari tabir surya dan balkon. Semakin luas bidang jendela serta semakin kecil bidang pembayangan dari tabir surya meningkatkan kenaikan temperatur udara dalam ruang. Kelembapan juga saling terkait dengan kenaikan dan penurunan temperatur ruang. Pada saat temperatur udara mengalami kenaikan, sebaliknya kelembapan mengalami penurunan. Kecepatan angin dalam rungan juga dipengaruhi oleh luasan WWR serta kedalaman balkon, yang diperlukan dalam proses pelepasan panas dalam ruang. Dalam hal ini, model kombinasi dengan WWR yang besar dan balkon terbuka dengan kedalaman pendek, menunjukkan kondisi temperatur udara yang kurang baik jika dibandingkan dengan model rujukan. Namun jika dilihat dari pengaruh kecepatan aliran udara dalam ruang justru memiliki kondisi yang lebih baik jika dibandingkan dengan model rujukan.

- **Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap kinerja termal dalam ruang**

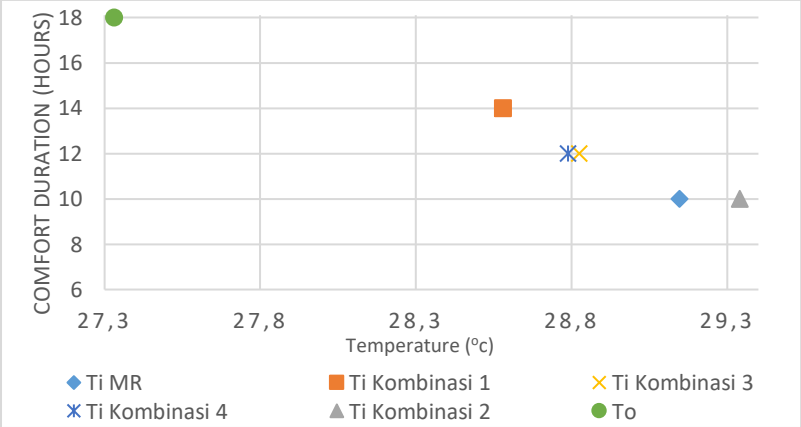
Batas kenyamanan yang diperlukan berdasarkan hasil perhitungan Tn sebesar 26,53^{o}C, yaitu dengan batas bawah 24,04^{o}C dan batas atas 29,04^{o}C. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kondisi rentang kenyamanan yang didapatkan hanya pada waktu-waktu tertentu saja, dan lebih banyak waktu kenyamanan yang tidak terpenuhi masuk dalam batas atas atau kondisi *overheating*. Temperatur udara dalam ruang yang memasuki batas nyaman pada pukul 24.00-09.00 pagi untuk model rujukan. Meskipun demikian untuk model kombinasi lainnya seperti kombinasi 1 memasuki batas nyaman yang lebih lama dari pukul 22.00-11.00, lalu diikuti dengan kombinasi 3 dan 4 yang memasuki batas nyaman dari pukul 23.00-10.00. Sebaliknya model kombinasi 2 hanya dapat memasuki batas kenyamanan dari pukul 24.00-09.00 pagi saja. Temperatur udara yang memasuki batas nyaman berkisar antara 28,63-28,93^{o}C.

Gambar 5.31 membahas mengenai analisa *cooling degree hours* dilakukan untuk mengetahui jumlah selisih antara temperatur batas kenyamanan dengan temperatur pada model eskperimen. Jumlah *cooling degree hours* pada kondisi *outdoor* selalu lebih rendah dibandingkan dalam bangunan. *Cooling degree hours* paling rendah didapatkan oleh kombinasi 1 sebesar 6,48. Sedangkan nilai paling tinggi didapatkan oleh kombinasi 2 sebesar 19,14 lebih tinggi dibandingkan model rujukan sebesar 15,46. Dalam hal ini, kombinasi 3 dan 4 menunjukkan nilai *cooling degree hours* yang tidak jauh berbeda yaitu sebesar 10,32 dan 9,80. Penggunaan bukaan dengan WWR yang diperbesar menjadi 30%, serta pengurangan luasan pembayangan dari tabir surya dengan tipe horizontal *overhang* panjang 0,4m, lalu diikuti pengurangan efek naungan dari balkon terbuka dengan kedalaman yang diperkecil menjadi 10% mengakibatkan tingginya perolehan *cooling degree hours* bangunan.



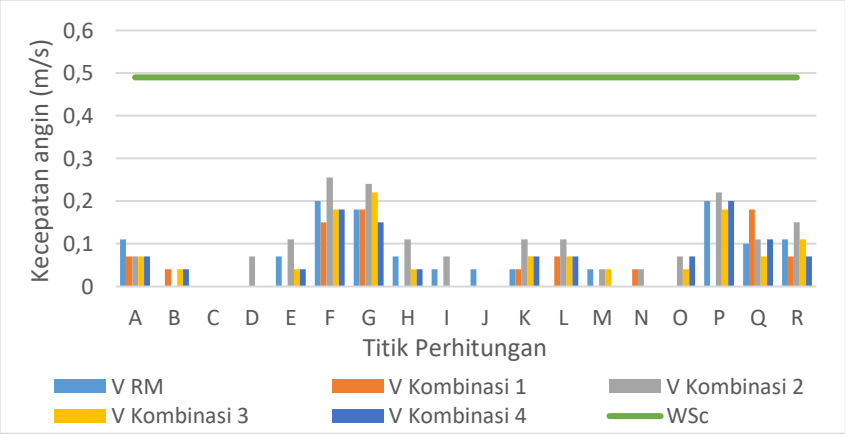
Gambar 5. 31. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap kinerja degree hours

Gambar 5.32 di bawah ini menunjukkan durasi kenyamanan yang didapatkan berdasarkan nilai rata-rata temperatur udara dalam ruang. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa lama kenyamanan yang dapat dicapai antar tiap model kombinasi berbeda. Model kombinasi 1 menunjukkan durasi kenyamanan lebih lama dibandingkan model lainnya, hingga mencapai 14 jam. Dua model yang memiliki durasi kenyamanan mirip yaitu kombinasi 3 dan 4 selama 12 jam. Sebaliknya untuk model kombinasi 2 memiliki durasi kenyamanan yang lebih singkat, dan sama dengan model rujukan yaitu selama 10 jam saja. Adapun rata-rata nilai Ti selama durasi kenyamanan yang paling rendah didapatkan model kombinasi 1 sebasar 28,57^{o}C. Performa kurang baik didapatkan model kombinasi 2 yang memiliki nilai rata-rata 29,33^{o}C, lebih tinggi dibandingkan dengan model rujukan sebesar 29,14^{o}C.



Gambar 5. 32. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap durasi kenyamanan termal

Gambar 5.33 merupakan hasil rata-rata kecepatan angin dalam ruang jika dibandingkan dengan model rujukan. Nilai rata-rata kecepatan angin tertinggi didapatkan oleh model eksperimen kombinasi 2 yaitu sebesar 0,099m/s. Nilai paling rendah didapatkan oleh kombinasi 1 sebesar 0,053m/s (lampiran 9). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kombinasi balkon yang lebih pendek tanpa halangan dengan WWR yang besar mempengaruhi kecepatan angin dalam ruang lebih baik. Semakin besar halangan yang ada pada sekitar area eksterior bukaan maka kecepatan angin di dalam ruang semakin kecil. Jika dibandingkan dengan nilai WSc sebesar 0,49 m/s (lampiran 5), kecepatan angin dalam ruang masih belum memenuhi batas minimal tersebut. Namun untuk model kombinasi 2 dapat memberikan peningkatan rata-rata kecepatan angin dalam ruang jika dibandingkan terhadap model rujukan. Kondisi temperatur serta kelembapan udara pada pukul 15.00 yang dijadikan dasar perhitngan WSc adalah sebesar 30,98^{o}C dan 69,54%.

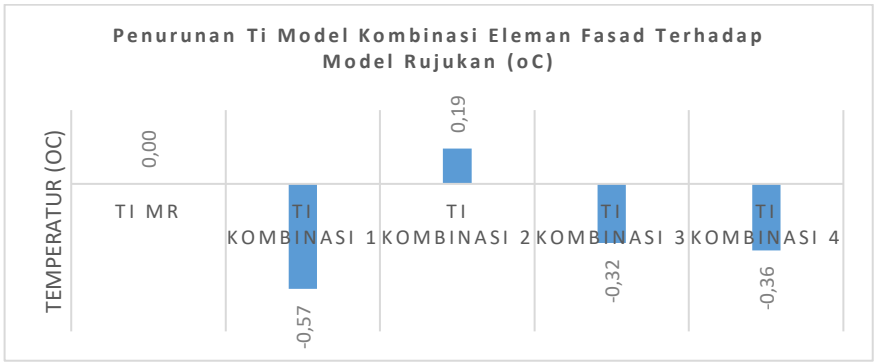


Gambar 5. 33. Pengaruh efek fisiologis angin terhadap kinerja termal

Jika dilihat berdasarkan kombinasi antara tiap elemen fasad, dari setiap eksperimen model kombinasi belum sepenuhnya memenuhi indikator kenyamanan. Namun dari beberapa indikator yang sudah terpenuhi dan menunjukkan performa yang baik terhadap kinerja termal dalam bangunan, dapat mewakili aspek lainnya yang belum terpenuhi.

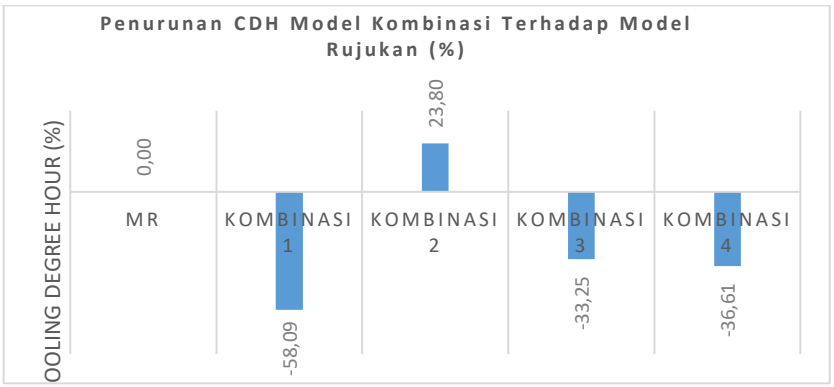
- **Kinerja kombinasi elemen fasad**

Berdasrkan hasil eksperimen dari empat model kombinasi elemen fasad yang berdeda, tiga diantaranya mengalami penurunan temperatur jika dibanding dengan kondisi model rujukan yang dapat dilihat pada gambar 5.34. Penurunan temperatur udara paling tinggi diperoleh dari model kombinasi 1, dengan penurunan temperatur mencapai 0,57^{o}C diikuti dengan model kombinasi 3 dan 4 yang masing-masing mengalami penurunan temperatur 0,32^{o}C dan 0,36^{o}C. Berdasarkan hasil eksperimen ini, hanya model kombinasi 2 saja yang mengalami kenaikan temperatur udara dalam ruang jika dibandingkan dengan model rujukan sebesar 0,19^{o}C. Model kombinasi 1 yang memiliki WWR terkecil yaitu 10%, pembayangan dari tabir surya paling luas dengan tipe horizontal-vertikal *overhang* panjang 0,8m, dan efek naungan dari balkon semi tertutup dengan kedalaman 30% menunjukkan performa penurunan temperatur paling signifikan. Sedangkan model kombinasi 2 dengan luasan WWR paling besar yaitu 30%, dengan tipe tabir surya horizontal *overhang* 0,4m, dan balkon terbuka 10%, yang lebih minim naungan mengalami kenaikan temperatur udara dibandingkan model rujukan. Dalam hal ini, model kombinasi lainnya adalah WWR 20% dan tabir surya tipe vertikal *overhang* panjang 0,6m untuk model kombinasi 3, serta WWR 10% dengan tabir surya tipe horizontal *overhang* panjang 0,8m untuk model kombinasi 4 masih dapat memberikan penurunan temperatur ruang. Meskipun pada model kombinasi 3 memiliki tabir surya serta balkon yang tidak terlalu baik terhadap pembayangan, luasan jendela yang lebih kecil dapat membantu dalam mengurangi intensitas dari radiasi yang masuk melalui bidang tranparan, sehingga masih dapat memberikan penurunan temperatur udara sebesar 0,32^{o}C dibandingkan dengan model rujukan.



Gambar 5. 34. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap penurunan Temperatur ruang

Gambar 5.35 menunjukkan kinerja kombinasi elemen fasad terhadap persentase penurunan *cooling degree hours* dalam ruang. Penurunan *cooling degree hours* dapat mengindikasikan berkurangnya derajat jumlah pendinginan yang dibutuhkan oleh bangunan. Persentase penurunan *cooling degree hours* paling besar dapat dicapai oleh model kombinasi 1 sebesar 58,09% dibandingkan kondisi model rujukan. Sebaliknya performa kurang baik didapatkan oleh kombinasi 2, yang justru mengalami peningkatan persentase *cooling degree hours* terhadap model rujukan sebesar 23,80%. Kombinasi 3 dan 4 menunjukkan nilai persentase penurunan *cooling degree hours* yang tidak mengalami perbedaan signifikan. Kombinasi 3 memiliki nilai sebesar 33,25%, sedangkan kombinasi 4 sebesar 36,61%. WWR yang lebih kecil serta pembayangan yang lebih luas dari tabir surya dan balkon memegang peranan dalam persentase penurunan kebutuhan *cooling degree hours* bangunan.



Gambar 5. 35. Pengaruh kombinasi elemen fasad terhadap persentase penurunan *cooling degree hours*

Berdasarkan hasil ekesperimen yang dilakukan terhadap empat model kombinasi elemen fasad, hasil paling efektif didapatkan oleh model kombinasi 1 terhadap kinerja termal. Kombinasi 1 menunjukkan selisih penurunan temperatur udara paling efektif yaitu sebesar 0,57^{o}C dibandingkan model rujukan. Persentase penurunan *cooling degree hours* paling besar juga didapatkan oleh kombinasi 1 sebesar 58,09%. Sejalan dengan ini kondisi kelembapan pada model kombinasi 1 dibandingkan dengan model rujukan cukup signifikan pada saat mengalami penurunan di siang hari, dengan selisih maksimal 3,65%. Sebaliknya performa kurang baik terhadap kinerja termal dari segi perolehan kenaikan temperatur udara dalam ruang didapatkan oleh model kombinasi 2, dengan mengalami rata-rata kenaikan temperatur 0,19^{o}C dibandingkan model rujukan. Selain itu kenaikan persentase *cooling degree hours* juga didapatkan oleh kombinasi 2 sebesar 23,80%. Model kombinasi 2 menunjukkan luasan WWR yang besar yaitu 30%, yang bertanggung jawab terhadap semakin besarnya perolehan panas dalam ruang. Hal ini sejalan menurut Szokolay (2004), yang menyatakan bahwa elemen transparan merupakan material yang dapat mentransmisikan perolehan panas matahari baik secara konveksi maupun radiasi ke dalam dan luar bangunan. Namun jika dilihat dari sisi kecepatan angin dalam ruang, model kombinasi 2 memiliki rata-rata kecepatan angin paling tinggi mencapai 0,1 m/s. Hasil eksperimen yang menggunakan WWR lebih besar dapat meningkatkan kecepatan angin, sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Allard (1998). Selain itu penggunaan elemen balkon dengan tipe terbuka dan kedalaman hanya 10% juga meningkatkan kecepatan aliran udara dalam ruang karena udara yang masuk melalui bidang fasad tidak langsung tereduksi sesuai dengan penelitian oleh Omrani, (2017).

Model kombinasi 3 dan 4 juga menunjukkan performa yang cukup baik terhadap kinerja temal ruang. Model kombinasi 3 menperlihatkan selisih penurunan temperatur udara terhadap model rujukan sebesar 0,32^{o}C. Sedangkan untuk kombinasi 4 memiliki selisih penurunan temperatur udara terhadap model rujukan sebesar 0,36^{o}C. Persentase penurunan *cooling degree hours* didapatkan oleh kombinasi 3 dan 4 sebesar 33,25% dan 36,61%. Meskipun luasan WWR

pada model kombinasi 3 lebih besar dibandingkan model kombinasi 4, penggunaan gabungan elemen peneduh lainnya seperti vertikal *overhang* panjang 0,6m dan balkon semi tertutup 20% dapat memberikan naungan yang cukup. Hal ini sejalan menururt Szokolay, (2004), yang menyatakan perangkat tabir surya eksternal merupakan alat yang paling efektif untuk mengendalikan penetrasi matahari. Jika dilihat dari selisih penurunan temperatur untuk model kombinasi 4 sebesar 0,36^{o}C terhadap model rujukan, lebih tinggi dibandingkan model kombinasi 3. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa WWR juga merupakan salah satu elemen penting yang berpengaruh terhadap perolehan panas dalam bangunan.

5.4 Rangkuman Hasil Eksperimen

Berdasarkan hasil eksperimen dan pembahasan, didapatkan kesimpulan yang berhubungan dengan pengaruh konfigurasi elemen fasad terhadap kinerja termal ruang rumah susun adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh dari konfigurasi elemen fasad seperti WWR, tabir surya, dan balkon terhadap kinerja termal ruang adalah sebagai berikut:

   Konfigurasi WWR mempengaruhi kondisi termal ruang, berupa adanya penurunan temperatur dibandingkan dengan kondisi eksisting. WWR yang mengalami peforma baik adalah WWR 10% dan 20%, sedangkan WWR dengan nilai 30% kurang menunjukkan peforma yang baik dibandingkan hasil simulasi model rujukan. Hasil eksperimen WWR 10% dapat mencapai penurunan temperatur udara sebesar 0,42^{o}C serta penambahan kelembapan sebesar 2,02%. Semakin besar luasan bidang transparan semakin mempengaruhi transmisi perolehan panas dari radiasi matahari. Sedangkan WWR 30% merupakan eksperimen dengan hasil yang kurang baik karena memiliki luasan jendela yang lebih besar dibandingkan kondisi model rujukan. Hal ini sejalan dengan pendapat Szokolay, (2004), yang menyebutkan bahwa elemen jendela merupakan media transmisi langsung yang dapat menyerap serta memancarkan panas dengan radiasi dan konveksi, ke dalam maupun luar bangunan.

Berdasarkan beberapa model tabir surya, dibandingkan dengan perbedaan panjang tabir surya, perbedaan tipe dari tabir surya lebih berpengaruh. Semua tipe dan panjang tabir surya menghasilkan nilai temperatur udara lebih rendah dibandingkan model rujukan, meskipun dengan perbedaan hasil yang tidak signifikan. Peforma terbaik dari model yang telah dikerjakan adalah dengan tipe kombinasi horizontal-vertikal dengan panjang 0,8m, dengan nilai penurunan temperatur sebesar 0,23^{o}C, dan persentase penurunan *cooling degree hours* sebesar 27,98%. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Ghosh, dkk, (2018), yang menyebutkan bahwa perbedaan konfigurasi bentukan *shading device* berpengaruh dalam perolehan radiasi matahari yang pengaruhnya terhadap temperatur udara dalam ruang serta perolehan energi tahunan.

Tipe balkon selain berpengaruh dalam distribusi aliran angin dan efek fisiologis dalam ruangan, juga dapat berfungsi sebagai elemen peneduhan yang ada dari elemen fasad. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa peforma terbaik terhadap penurunan temperatur ruang adalah tipe balkon semi tertutup dengan kedalaman 30%. Perbedaan eksperimen kedalaman balkon berpengaruh pada penurunan temperatur ruang dibandingkan model rujukan. Balkon dengan tipe terbuka dan kedalaman 10% menunjukkan performa yang kurang baik terhadap temperatur ruang, namun memiliki performa yang baik untuk kondisi kecepatan angin. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Omrani, (2017), yang menyatakan balkon terbuka menghasilkan kecepatan angin dalam ruang lebih tinggi dengan memanfaatkan kinerja ventilasi 1 sisi. Salin itu peningkatan kedalaman balkon menyebabkan penurunan kecepatan angin dalam ruang.

2. Pengaruh dari kombinasi elemen fasad terhadap kinerja termal ruang paling efektif didapatkan oleh model kombinasi 1 yang dapat memberikan penurunan temperatur udara hingga 0,57^{o}C, dengan persentase penurunan cooling degree sebesar 58,09%. Peforma yang efektif selanjutnya diikuti oleh kombinasi 3 dan 4 yang memiliki selisih penurunan temperatur udara masing-masing sebesar 0,32^{o}C dan 0,36^{o}C, serta persentase penurunan *cooling degree hours* sebesar 33,25% dan 36,61%. Sebaliknya performa kurang baik dihasilkan oleh kombinasi 2 yang mengalami kenaikan temperatur udara sebesar 0,19^{o}C.

Berdasarkan beberapa kombinasi ini, model kombinasi 2 yang memiliki WWR paling besar yaitu 30% dan naungan yang minim yaitu horizontal *overhang* panjang 0,4m, serta balkon terbuka dengan kedalaman 10%. Hal ini erat kaitannya dengan perolehan panas bangunan melalui penetrasi sinar matahari melalui bidang transparan. Sementara itu bila dilihat dari aspek peningkatan kecepatan angin, kombinasi 2 memiliki nilai rata-rata kecepatan angin dalam ruang paling besar hingga mencapai 0,1 m/s.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Rumah susun yang ada saat ini lebih mengedepankan pemenuhan kebutuhan ruang dibandingkan dengan aspek peneduhan pada fasad. Sejalan dengan adanya perubahan tipologi fasad rumah susun di Surabaya ternyata masih memiliki persoalan terkait kondisi dalam ruang yang lebih panas. Hal ini diakibatkan semakin berkurangnya komponen tabir surya yang umumnya ada pada elemen fasad. Rumah susun yang ada saat ini biasanya memiliki luasan jendela yang lebih luas dengan komponen naungan yang terbatas. Berdasarkan kondisi ini dilakukanlah eksperimen konfigurasi fasad berupa eksperimen pada elemen rasio luasan jendela (WWR), tabir surya dan balkon yang berpengaruh terhadap kinerja termal bangunan. Dengan demikian hasil eksperimen ini dapat memberikan kombinasi elemen fasad rumah susun yang menciptakan lingkungan dalam yang lebih baik dari segi kinerja termal ruang.

6.1.1 Kinerja Termal Bangunan Berdasarkan Konfigurasi Elemen Fasad

Pengaturan terhadap konfigurasi WWR memberikan pengaruh terhadap kinerja termal ruang, yang salah satunya dapat diamati berdasarkan penurunan temperatur udara dan persentase penurunan nilai *cooling degree hours*. Meskipun selama 24 jam bangunan belum mampu memberikan kenyamanan, namun dengan adanya treatment terhadap luasan WWR yang berbeda dapat memberikan peningkatan terhadap kinerja termal ruang. Berdasarkan hasil eksperimen dapat diketahui bahwa pengurangan WWR menjadi 10% merupakan performa terbaik yang dihasilkan. Pengurangan luasan WWR menjadi 10% dapat menurunkan temperatur ruang hingga 1,42%. Hal ini sejalan dengan penelitian Tong, dkk (2019), mendapatkan hasil eksperimen yang efektif dengan pengurangan luasan WWR sebesar 33%. Dalam hal ini juga disebutkan bahwa bukaan jendela yang ukurannya besar berperan dalam mempengaruhi kondisi termal yang lebih panas

di dalam ruang dibandingkan dengan luasan jendela yang lebih kecil. Di samping itu jika dilihat dari persentase penurunan nilai *cooling degree hour* dari perubahan konfigurasi WWR, hasil paling maksimal didapatkan oleh WWR 10% sebesar 44,70%. Sebaliknya konfigurasi WWR lainya yang mengalami peningkatan luasan menghasilkan perfoma yang kurang baik terhadap kinerja termal ruang. Sejalan dengan pendapat Szokolay, (2004), yang menyebutkan bahwa elemen jendela merupakan media transmisi langsung yang dapat menyerap serta memancarkan panas dengan radiasi dan konveksi, ke dalam maupun luar bangunan.

Selanjutnya adalah pengaturan konfigurasi tabir surya dan pengaruhnya terhadap kinerja termal ruang. Hasil eksperimen pada tipe horizontal-vertikal *overhang* menunjukkan hasil paling baik jika dibandingkan dengan tipe vertikal *overhang* dan horizontal *overhang*. Penurunan temperatur udara paling efektif didapatkan dari kombinasi horizontal-vertikal *overhang*, dengan panjang 0,8m sebesar 0,77%. Semakin luas area yang dapat dibayangin oleh tabir surya makin baik performa yang dihasilkan. Berkaitan dengan itu kinerja termal paling efektif terhadap persentase penurunan *cooling degree hours* juga didapatkan pada tipe tabir surya ini sebesar 27,98%. Sejalan dengan hal ini hasil penelitian oleh Ghosh, dkk, (2018), yang menyebutkan bahwa konfigurasi kombinasi horizontal-vertikal *overhang* berpengaruh dalam perolehan panas dari radiasi matahari yang pengaruhnya terhadap temperatur udara dalam ruang serta perolehan energi tahunan sebesar 4,19%. Konfigurasi panjang tabir surya paling efektif terhadap penurunan temperatur ruang serta persentase penurunan *cooling degree hours* pada beberapa tipe tabir surya paling baik didapatkan oleh tabir surya dengan panjang paling besar yaitu 0,8m. Hal ini sejalan dengan penelitian Liu, dkk, (2019), yang menyatakan bahwa penambahan panjang *overhang* dapat meningkatkan kinerja termal bangunan.

Tipe balkon selain berpengaruh dalam distribusi aliran angin dan efek fisiologis dalam ruangan, juga dapat berfungsi sebagai elemen peneduhan yang ada pada elemen fasad. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa performa terbaik terhadap penurunan temperatur ruang adalah tipe balkon semi tertutup dengan kedalaman 30% dibandingkan dengan model balkon lainnya. Tipe balkon ini yang

mampu menurunkan temperatur ruang sebesar 0,30%. Selain itu mampu memberikan persentase penurunan *cooling degree hours* sebesar 10,48%. Hal ini sejelan dengan penelitian Chan & Chow, (2010), yang menyatakan bahwa balkon dapat berlaku sebagai *overhang* dan memberikan naungan dari radiasi sinar matahari, yang sangat baik kaitannya terhadap penghematan energi. Sedangkan tipe balkon lainnya terlebih yang memiliki kedalaman paling kecil dan naungan paling minim, memberikan kinerja termal yang buruk terhadap ruang.

6.1.2 Kinerja Termal Bangunan Berdasarkan Kombinasi Elemen Fasad

Model kombinasi elemen fasad yang direkomendasikan, terdiri dari empat buah model eksperimen dan pengaruhnya terhadap kinerja termal ruang. Berdasarkan hasil eksperimen, performa terbaik terhadap penurunan temperatur ruang adalah model kombinasi 1 dengan nilai penurunan sebesar 1,96%. Dalam hal ini persentase penurunan *cooling degree hours* yang dapat dicapai dari model kombinasi 1 ini dapat mencapai 58,09%, lebih baik jika dibandingkan dengan model rujukan. Peforma kurang baik dalam hal ini didapatkan oleh hasil eksperimen dari kombinasi 2, menghasilkan kinerja termal yang buruk dengan kenaikan temperatur ruang sebesar 0,66%. Dengan demikian dapat diketahui kombinasi elemen fasad yang paling efektif dihasilkan dari gabungan elemen fasad yang mampu memberikan naungan, serta perolehan radaiasi matahasi yang semakin kecil. Hal ini sejalan dengan Szokolay, (2004), yang menyatakan perangkat naungan eksternal merupakan alat yang paling efektif untuk mengendalikan penetrasi matahari.

Hasil penelitian ini menunjukkan kinerja termal dapat diperoleh melalui penurunan suhu, meningkatnya persentase penurunan *cooling degree hours*, dan waktu durasi kenyamanan. Sebaliknya pengaruh efek fisiologis dari kecepatan aliran udara belum menunjukkan hasil yang signifikan.

Hasil paling efektif dapat dijadikan sebagai konsep desain fasad yang paling baik terhadap kinerja termal ruang rumah susun. Dengan kata lain, konsep desain fasad menjadi perbaikan yang dapat dilakukan pada rumah susun di Surabaya adalah model kombinasi 1. Luasan WWR yang digunakan adalah 10%, yang merupakan WWR dengan pengurangan luasan paling kecil. Selanjutnya tabir

surya dengan tipe horizontal-vertikal *overhang* dengan panjang paling baik yaitu 0,8m, yang memiliki area pembayangan paling luas. Selain itu balkon yang digunakan yaitu tipe balkon semi tertutup dengan kedalaman 30%, yang memberikan efek naungan paling besar.

6.2 Saran

1. Hasil penelitian dapat direkomendasikan kepada para akademis, tentang pengaruh dari perubahan konfigurasi fasad pada rumah susun terhadap kinerja termal ruang. Hasilnya sebagai masukan mengenai konsep konfigurasi elemen fasad yang dihasilkan dapat menjadi tolok ukur perancangan rumah susun selanjutnya di Surabaya. Konfisgurasi yang direkomendasikan yaitu dengan WWR yang lebih kecil, tabir surya dengan pembayangan yang paling besar, serta balkon dengan kedalaman naungan paling luas.
2. Penelitian ini kedepannya lebih dapat dikembangkan lagi terlebih dengan eksperimen untuk mencari pegaruh kecepatan angin dengan model rujukan serta konfigurasi fasad tipe lainnya, karena pada penelitian ini belum dapat dilihat signifikansi dari aspek ini.
3. Hasil penelitian ini kedepannya dapat dikembangkan lebih lanjut diluar konteks yang sudah ada dalam desain tesis ini. Misalnya dengan pengembangan motode pasif cooling lain yang meneliti tentang pengaruh efek pendinginan udara melalui evaporasi.
4. Penelitan ini tidak mengkaji pengaruh dari penggunaan material bangunan tertentu, serta arah atau orientasi bangunan terhadap tapak. Pada penelitian selanjutnya dapat diteliti mengenai pengaruh penggunaan material yang berbeda-beda. Maupun pengaruh dari perbedaan arah atau orientasi bangunan arah mata angin yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Abdeen, A., Serageldin, A.A., Ibrahim, M.G.E., El-Zafarany, A., Ookawara, S., Murata, R. (2019), "Solar Chimney Optimization for Enhancing Thermal Comfort in Egypt: an Experimental and Numerical Study", *Solar Energy*, Vol. 180, hal. 524-536.

Allard, F. (1998), *Natural Ventilation Building-A Design Handbook*, James and James Science Publishers, London.

Ansley, Melbourne & Vickery, (1977) *Architectural Aerodynamics*, Applied Science Publishers LTD, London.

Assawamartbunlue, K. (2013), "An Investigation of Cooling and Heating Degree-Hours in Thailand", *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 1, No. 2.

Badan Pusat Statistik, (2011), *Pertumbuhan Dan Persebaran Penduduk Indonesia Hasil Sensus Penduduk 2010,* katalog BPS: 2102024, Badan Pusat Statistik, Jakarta-Indonesia.

Cahyani, S.D., (2017), "Simulasi Perilaku Aliran Udara Melalui Model Pengujian *Stack Effect* pada Bangunan Menengah Berselubung Ganda di Tropis Lembab", *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia,* ISSN 2301-9247, Vol. 10, Indonesia.

Chan, A.L.S., & Chow, T.T. (2010), "Investigation on Energy Performance and Energy Payback Period of Application of Balcony for Residential Apartment in Hong Kong", *Energy and Buildings*, Vol. 42, hal. 2400-2405.

Chung, L.P., Ahmad, M.H., Ossen, D.R., Hamid, M. (2015), "Effective Solar Chimney Cross Section Ventilation Performance in Malaysia Teraced House", *Procedia Social and Behaviora Sciences*, Vol. 179, hal. 276-289.

Darmiwati, T.Ratna. (2017), *Keberadaan Ruang Bersama di Luar Bangunan pada Lingkungan Rumah Susun dalam Konteks Perilaku dan Budaya Penghuni*, Disertasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dewi, C.P. (2016), "Pengoptimalan Aplikasi *Double Skin Facade* dalam Efisiensi Energi Bangunan Menggunakan Simulasi EnergyPlus", *Prosiding Seminar*

Nasional Teknologi dan Rekayasa Informasi tahun 2016, Universitas Brawijaya.

Fotopoulou, A., Semprini, G., Cattani, E., Schihin, Y., Weyer, J. (2018), "Deep Renovation in Existing Residential Buildings Through Facade Additions: A Case Study in A Typical Residential Building of The 70s", *Energy & Buildings*, Vol. 166, hal. 258-270.

Ghosh, A., & Neogi, S. (2018), "Effect of Fenestration Geometrical Factors on Building Energy Consumption and Performance Evaluation of A New External Solar Shading Device in Warm and Humid Climatic Condition", *Solar Energy*, Vol. 169, hal. 94-104,.

Goia, F., Haase, M., Perino, M. (2013), "Optimizing The Configuration of A Facade Module for Office Buildings by Means of Integrated Thermal and Lighting Simulations in A Total Energy Perspective", *Applied Energy*, Vol. 108, hal. 515-527.

Groat, L.N., & Wang, D. (2013), *Architectural Research Methods*, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Canada.

Herzog, T., Krippner, R., Lang, W. (2004), *Facade Construction Manual*, Birkhäuser, Munich Technical University, Germany.

Hyde, Richard, (2008), *Bioclimatic Housing Innovative Designs For Warm Climates*, Earthscan, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, UK and USA.

Indrani, Hedy.C. (2008), "Kinerja Ventilasi Pada Hunian Rumah Susun Dupak Bangunrejo Surabaya", *Jurnal Dimensi Interior*, Vol. 6, No.1, hal. 9-23, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Kisnarini, Rika. (2015), *Functionality and Adaptability of Low Cost Apartment Space Design: A Case of Surabaya Indonesia*, Thesis Ph.D., Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

Knaack, Ulrich., Klein, Tillmann., Bilow, Marcel., Auer, Thomas. (2007), *Facades Principles of Construction*, Birkhäuser Verlag AG, Medialis, Berlin, Germany.

Koenigsberger, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, Alan., Szokolay, S.V. (1973), *Manual Of Tropical Housing And Building Part one: Climatic Design*, Longman Group Limited, London.

Krier, Rob. (1988), *Architectural Composition*, Academy Editions, the Academy Group Ltd, London.

Lan, L., Tushar, W., Otto, K., Yuen, C., Wood, K.L. (2017), "Thermal Comfort Improvement of Naturally Ventilated Patient Wards in Singapore", *Energy and Buildings*, Vol. 154, hal. 499-512.

Lechner, Norbert. (2015), *Heating, Cooling, Lighting Sustainable Design Methods For Architects*, John Wiley & Sons, Inc., United States of America.

Liu, S., Kwok, Y.T., Lau, K.K.L., Chan, P.W., Ng, E. (2019), "Investigating The Energy Saving Potential of Applying Shading Panels on Opaque Facades: A Case Study for Residential Buildings in Hong Kong", *Energy & Buildings*, Vol. 193, hal. 78-91.

Lucas, Ray. (2016), *Research Methods for Architecture*, Laurence King Publishing Ltd, London, UK.

Lujan, S.V., Arrebola, C.V., Sanchez, A.R., Benito, P.A., Cortina, M.G. (2019), "Experimental Comparative Studyofthe Thermal Performance of the Facade of A Building Refurbished Using ETICS, and Quantification of Improvements", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 51.

Mahardhika, R.V., (2014), *Kinerja Termal Bangunan Apartemen Tipe High-Rise Di Surabaya Dengan Selubung Bangunan Beton*, Thesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Mandalaki, M., Papantoniou, S., Tsoutsos, T. (2014), "Assessment of Energy Production from Photovoltaic Modulesintegrated in Typical Shading Devices", *Suntainable Cities and Society*, Vol. 10, hal. 222-231.

Manzan, M. (2014), "Genetic Optimization of External Fixed Shading Devices", *Energy & Buildings*, Vol. 14.

Moore, D. S., Notz, W. I., & Flinger, M.A. (2013), *The Basic Practice of Statistics*, (6th ed), New York: W.H. Freeman and Company.

Mufidah, dkk, (2016), "Analisa Luasan Lubang Ventilasi Facade Terhadap Luasan Lantai (Studi Kasus Rumah Susun Sier Dan Rumah Susun Grudo Surabaya)", Vol. 01, No. 02, hal. 195 – 208, JHP17 Jurnal Hasil Penelitian LPPM Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya.

Napitupulu, S.S. (2014), "Pengaruh Orientasi Bangunan Dan Kecepatan Angin Terhadap Bentuk Dan Dimensi Filter Pada Fasad Bangunan Rumah Susun", *E-Journal Graduate Unpar*, Vol. 1, No. 02, ISSN: 2355-4274, Bandung.

Niezabitowska, E.D. (2018), *Research Methods and Techniques in Architecture*, Taylor and Francis Group, Routledge, UK.

Omrani, S, Hansen, V.G., Capra, B., Drogemuller, R. (2017), "On The Effect of Provision of Balconies on Natural Ventilation and Thermal Comfort in High-Rise Residential Buildings", *Building and Environment*, Vol. 17.

Parsons, Ken. (2002), *Human Thermal Environments, The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance,* Taylor & Francis Group, U. S.

Rahmawati, Akbar., Arif, K.F., Agustin, Fatika.K. (2016), "Penghawaan Alami Terkait Sistem Ventilasi Terhadap Kenyamanan Termal Rumah Susun Industri Dalam", *Jurnal Reka Karsa*, Vol. 04, No. 01, Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, Bandung.

Rendona, L.G.V., Schmid, G., Lo, S.L., (2016), "Review on Energy Savings by Solar Control Techniques an Optimal Building Orientation fot The Strategic Placement of Facade Shading System", *Energy & Buildings*, Vol. 140, hal. 458-479.

Sabaruddin, Arief., Tobing, Rumiati.R., Karyono, Tri.H. (2012), "The Influence of Design Factors Toward the Thermal Comfort in Flats", *Jurnal Permukiman*, Vol. 07, No. 02, hal. 76-87, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum, Kabupaten Bandung.

Saleh, Sakhrul. Dachlan. (2010), *Kajian Kualitas Bangunan Rumah Pondokan Terhadap Kenyamanan Huni Berdasarkan Persepsi Penghuni Dipermukiman Sekitar Kampus Universitas Hasanuddin*, Institutional Repository, Universitas Diponegoro, Semarang-Indonesia.

Santamouris, M., & Asimakopoulos, D. (1996), *Passive Cooling of Buildings*, Earthscan, James & James Ltd, New York.

Satwiko, Prasasto. (2009), *Fisika Bangunan*, CV. Andi Offset, Yogyakarta.

Sghiouri, H., Mezrhab, A., Karkri, M., NajiShading, H. (2018), "Devices Optimization to Enhance Thermal Comfort and Energy Performance of A Residential Building in Morocco", *Building Engineering*, Vol. 17.

SNI 03-6389-2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung

Snyder, J.C., & Catanese, A.J. (1979), *Introduction To Architecture*, Tim Mcginty, Mcgraw-Hill Book Company.

Subhashini, S., Thirumaranb, K. (2018), "A Passive Design Solution to Enhance Thermal Comfort in an Educational Building in The Warm Humid Climatic Zone of Madurai", Building Engineering, Vol. 18, hal. 395-407.

Szokolay, Steven.V. (2004), *Introductionto Architectural Science The Basis Of Sustainable Design*, Architectural press, Britain.

Tobing, R.R., & Agustinus, H. (2012), "Pengaruh Sirkulasi Internal Terhadap Rasio Efisiensi Luas Lantai Bangunan Pada Rumah Susun Sewa Tipe Memusat", No: III/LPPM/2012-02/36-P, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Prahayangan, Bandung.

Tong, S., Wong, N.H., Tan, E., Jusuf, S.K. (2019), "Experimental Study on The Impact of Facade Design on Indoor Thermal Environment in Tropical Residential Buildings", *Building and Environment*, Vol. 166.

Yusuf, Muri. (2014), "Metode Penelitian: Kuantitatif, Kualitatif dan Penelitian Gabungan", Prenadamedia Group, Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT), Jakarta, Indonesia.

Zinzi, Michele. (2016), "Exploring The Potentialities of Cool Facades to Improve The Thermal Response of Mediterranean Residential Buildings", *Solar Energy*, Vol. 135, hal. 386-397.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Hasil Pengukuran Iklim Mikro Eksisting

Tanggal Pengukuran	Waktu	PAR (µmol/m²/s)	Kecepatan Angin (m/s)	Arah Angin (ø)	Temperatur (°C)	RH (%)
27/02/2020	00.00	1.2	1.793	296.5	25.46	93.7
	01.00	1.2	2.32	296.97	25.40	93.5
	02.00	1.2	2.043	292.07	25.36	93.7
	03.00	1.2	1.765	288.33	25.46	93.8
	04.00	1.2	1.763	256.52	25.76	92.5
	05.00	20.783	1.452	259.77	25.85	92.65
	06.00	266.617	1.45	253.23	26.77	89.92
	07.00	407.867	1.918	257.92	27.72	85.58
	08.00	742.45	2.722	248.8	28.63	80.8
	09.00	1511.2	3.373	281.55	30.08	75.25
	10.00	1483.283	3.835	291.6	30.91	71.05
	11.00	1842.867	3.528	286.93	31.78	67.33
	12.00	1363.7	4.022	284.8	31.98	67.3
	13.00	1924.533	3.802	301.92	32.68	64.35
	14.00	281.617	3.278	318.28	30.92	71.27
	15.00	107.033	2.507	329.5	25.19	95.65
	16.00	160.783	0.28	354.57	26.53	95.68
	17.00	21.617	1.237	337	27.67	93.02
	18.00	1.2	2.042	302.85	28.09	86.25
	19.00	1.2	3.31	205.97	26.59	89.15
	20.00	1.2	2.32	209.27	26.12	92.13
	21.00	1.2	1.7	215.32	25.81	93.52
	22.00	1.2	1.672	216.03	25.84	92.52
	23.00	1.2	1.143	253.47	25.98	91.22
28/02/2020	00.00	1.2	0.805	301.2	25.97	91.93
	01.00	1.2	1.547	293.93	25.80	92.87
	02.00	1.2	1.267	297.22	25.74	93.22
	03.00	1.2	1.295	295.58	25.65	93.43
	04.00	1.2	0.495	213.22	25.54	94.2
	05.00	18.283	1.238	253	25.67	93.95
	06.00	298.283	2.163	296.03	26.24	91.05

	07.00	820.783	3.37	306.1	27.80	83.92
	08.00	1202.45	4.052	296.03	28.53	80.58
	09.00	1549.95	3.31	286.22	29.85	76.63
	10.00	1821.617	3.4	298.83	31.02	71.88
	11.00	1192.033	2.813	287.38	31.83	68.35
	12.00	607.033	3.217	300.97	32.38	63.82
	13.00	1068.7	2.908	235.2	32.44	64.87
	14.00	101.617	1.392	122.88	27.66	84.6
	15.00	94.533	0.465	139.98	27.97	82.47
	16.00	72.867	2.967	321.78	27.59	84.32
	17.00	15.367	2.04	298.6	27.32	83.97
	18.00	1.2	1.702	290.67	27.21	87.37
	19.00	1.2	1.267	253.23	27.00	90.1
	20.00	1.2	2.165	269.63	25.87	93.23
	21.00	1.2	1.917	280.62	25.31	93.93
	22.00	1.2	1.452	244.1	25.64	92.47
	23.00	1.2	1.36	289.97	25.51	93.62
29/02/2020	00.00	1.2	1.793	280.85	25.53	93.75
	01.00	1.2	1.918	282.02	25.67	93.12
	02.00	1.2	1.702	290.67	25.49	93.8
	03.00	1.2	2.012	251.13	25.91	92.27
	04.00	1.2	2.072	248.1	25.94	91.87
	05.00	24.117	1.89	279.42	25.71	92.82
	06.00	253.283	1.948	290.43	26.12	92.42
	07.00	627.45	1.887	281.32	27.40	88.5
	08.00	1167.45	3.122	284.12	28.88	81.57
	09.00	1605.367	3.525	281.3	30.42	74.13
	10.00	1597.45	3.897	289.97	31.31	69.9
	11.00	2052.45	4.578	300.95	31.96	66.83
	12.00	1237.45	4.7	311.73	32.43	65.67
	13.00	1683.283	4.978	312.9	33.04	63.52
	14.00	865.367	4.887	340.25	31.79	71.28
	15.00	466.617	5.967	313.38	30.80	73
	16.00	65.367	3.897	308.45	29.87	76.65
	17.00	3.7	3.248	297.68	29.48	79
	18.00	1.2	3.742	242.25	26.91	87.13
	19.00	1.2	1.547	250.43	25.74	90.35

	20.00	1.2	1.702	278.5	26.20	89.45
	21.00	1.2	1.98	284.82	26.08	91.97
	22.00	1.2	1.702	258.17	26.22	92.23
	23.00	1.2	1.733	250.87	26.27	90.53
01/03/2020	00.00	1.2	1.948	281.07	26.23	90.82
	01.00	1.2	1.703	290.18	26.15	90.52
	02.00	1.2	1.703	240.82	26.31	90.37
	03.00	1.2	1.702	280.85	26.34	90.02
	04.00	1.2	2.133	293.23	26.10	91.03
	05.00	26.2	1.672	263.07	26.08	91.63
	06.00	342.033	2.01	249.95	27.08	88.22
	07.00	797.033	2.877	287.4	28.13	83.93
	08.00	1098.283	3.062	280.87	29.51	78.18
	09.00	1064.533	4.482	288.57	30.32	73.3
	10.00	1081.2	5.227	293.7	30.48	73.9
	11.00	989.95	4.827	298.87	30.40	73.6
	12.00	1337.033	5.072	317.6	29.85	77.28
	13.00	860.367	5.628	314.1	30.08	74.98
	14.00	572.45	5.227	307.28	29.93	74.42
	15.00	384.117	4.64	303.05	29.61	76.77
	16.00	86.2	3.712	247.62	26.83	88.63
	17.00	4.533	2.782	221.9	24.28	97.2
	18.00	1.2	1.67	261.42	25.05	94.5
	19.00	1.2	1.638	247.17	25.39	90.82
	20.00	1.2	1.175	268.92	25.55	89.32
	21.00	1.2	1.203	280.38	25.78	87.93
	22.00	1.2	1.39	279.42	26.06	86.9
	23.00	1.2	1.7	283.18	26.11	88.38
02/03/2020	00.00	1.2	1.89	295.8	25.78	90.22
	01.00	1.2	1.827	296.97	25.61	91.07
	02.00	1.2	1.95	268.2	26.16	88.48
	03.00	1.2	1.702	252.05	26.13	88.75
	04.00	1.2	1.39	281.53	26.05	89.18
	05.00	19.533	1.7	311.27	25.73	90.72
	06.00	267.45	1.95	301.63	26.48	88.53
	07.00	722.867	2.322	263.98	28.89	79.38
	08.00	954.95	2.847	280.37	29.64	76.07

	09.00	1629.95	3.372	276.17	30.42	73.78
	10.00	1349.533	3.712	291.37	31.09	72.45
	11.00	1434.117	3.835	297.23	31.70	70.53
	12.00	1693.7	3.587	301.65	32.67	66.43
	13.00	1019.95	4.268	306.82	32.39	66.13
	14.00	193.7	3.928	310.32	27.50	89.05
	15.00	726.617	4.175	310.12	29.02	82.05
	16.00	327.033	2.968	277.1	29.54	77.15
	17.00	22.867	2.815	204.1	28.61	81.38
	18.00	1.2	2.042	203.63	28.09	84.63
	19.00	1.2	1.113	169.93	27.60	86.83
	20.00	1.2	0.125	218.6	27.53	86.77
	21.00	1.2	0.217	300.73	27.92	85.47
	22.00	1.2	0.435	322.5	28.04	84.68
	23.00	1.2	1.203	297.2	27.82	84.62
03/03/2020	00.00	1.2	0.898	282.03	27.63	85.4
	01.00	1.2	1.39	281.55	27.20	87.58
	02.00	1.2	1.265	194.52	26.35	91.92
	03.00	1.2	0.463	203.88	25.92	94.13
	04.00	1.2	0.773	218.37	25.78	94.65
	05.00	16.2	0.123	254.37	25.74	94.63
	06.00	193.7	0.865	295.8	26.24	93.22
	07.00	736.2	1.173	272.18	28.19	85.1
	08.00	1173.283	1.732	246.45	29.77	77.87
	09.00	1529.117	1.082	217.43	31.27	71.2
	10.00	1574.950	1.208	229.85	32.97	64.3
	11.00	517.867	1.422	227.48	31.96	67.53
	12.00	482.033	1.083	82.65	30.22	78.82
	13.00	589.533	1.145	304.72	31.63	74.03
	14.00	551.617	2.445	256.53	31.38	70.62
	15.00	131.2	1.485	165.02	29.02	80.88
	16.00	44.95	1.268	290.67	28.32	81.33
	17.00	1.2	1.885	298.85	26.48	88.2
	18.00	1.2	1.3	270.78	26.39	90.38
	19.00	1.2	1.888	293	26.11	92.02
	20.00	1.2	1.578	274.75	25.99	92.38
	21.00	1.2	1.577	289.27	25.90	93.53
	22.00	1.2	1.39	256.98	25.95	92.85
	23.00	1.2	1.392	222.12	26.01	93.8

Sumber: Hasil pengukuran, (2020)

Lampiran 2. Tabel Hasil Pengukuran dalam Ruang Eksisting

Tanggal Pengukuran	Waktu	Temperatur WBGT (°C)	RH (%)	Temperatur TA (°C)	Temperatur TG (°C)	Kecepatan Angin (m/s)
27/02/2020	00.00	25.82	79.07	28.05	27.73	0
	01.00	25.63	79.35	27.85	27.52	0
	02.00	25.53	79.85	27.73	27.40	0.01
	03.00	25.57	80.43	27.63	27.30	0.007
	04.00	25.50	80.72	27.55	27.22	0.002
	05.00	25.50	81.30	27.50	27.20	0
	06.00	25.60	81.13	27.62	27.38	0.003
	07.00	25.90	79.92	28.03	27.82	0
	08.00	26.17	77.67	28.53	28.35	0
	09.00	26.40	74.53	29.15	29.02	0
	10.00	26.58	70.70	29.82	29.65	0
	11.00	26.90	69.20	30.33	30.15	0
	12.00	27.25	67.93	30.85	30.65	0
	13.00	27.27	65.83	31.15	30.95	0
	14.00	27.37	65.48	31.35	31.07	0.006
	15.00	26.65	71.18	29.90	29.40	0.002
	16.00	26.52	74.02	29.38	29.02	0.003
	17.00	27.13	78.95	29.43	29.10	0
	18.00	26.95	77.95	29.42	29.03	0
	19.00	26.62	77.23	29.15	28.77	0
	20.00	26.45	77.32	28.90	28.53	0.007
	21.00	26.37	78.82	28.63	28.30	0
	22.00	26.18	78.82	28.45	28.13	0
	23.00	26.02	78.62	28.30	27.97	0
28/02/2020	00.00	25.93	78.58	28.20	27.85	0
	01.00	25.87	79.62	28.07	27.73	0
	02.00	25.78	79.82	27.93	27.62	0
	03.00	25.70	80.37	27.80	27.50	0.002
	04.00	25.70	80.78	27.73	27.40	0
	05.00	25.67	81.45	27.67	27.33	0
	06.00	25.62	80.78	27.67	27.38	0
	07.00	25.80	78.75	28.02	27.85	0
	08.00	25.97	76.18	28.52	28.30	0
	09.00	26.40	74.87	29.12	28.93	0

	10.00	26.77	72.02	29.85	29.68	0.005
	11.00	27.08	69.32	30.52	30.32	0
	12.00	27.12	66.05	30.98	30.77	0
	13.00	27.13	63.30	31.35	31.13	0
	14.00	27.22	70.75	30.53	30.10	0.002
	15.00	26.32	71.62	29.43	29.08	0.012
	16.00	26.28	72.87	29.30	28.93	0.007
	17.00	26.32	73.83	29.22	28.83	0
	18.00	26.25	74.68	29.08	28.68	0
	19.00	26.50	77.17	28.98	28.63	0
	20.00	26.43	78.95	28.75	28.35	0
	21.00	26.00	77.97	28.38	28.05	0.003
	22.00	25.90	78.35	28.23	27.87	0.003
	23.00	25.87	79.03	28.12	27.77	0
29/02/2020	00.00	25.73	79.67	27.95	27.62	0
	01.00	25.68	80.20	27.80	27.47	0.008
	02.00	25.62	80.65	27.68	27.37	0.007
	03.00	25.57	81.08	27.60	27.27	0.002
	04.00	25.52	81.45	27.53	27.20	0.002
	05.00	25.42	81.70	27.42	27.10	0.003
	06.00	25.60	81.67	27.53	27.30	0
	07.00	25.97	81.42	27.88	27.70	0
	08.00	26.25	79.47	28.45	28.23	0
	09.00	26.55	76.13	29.12	28.95	0
	10.00	26.82	71.98	29.92	29.77	0
	11.00	27.12	68.88	30.57	30.45	0
	12.00	27.30	66.60	31.07	30.87	0
	13.00	27.48	64.15	31.60	31.43	0.022
	14.00	28.03	67.47	31.80	31.50	0.008
	15.00	27.55	67.20	31.32	31.02	0.005
	16.00	27.33	69.30	30.85	30.43	0
	17.00	27.25	71.33	30.50	30.07	0
	18.00	27.07	73.00	30.12	29.68	0.002
	19.00	26.52	72.42	29.57	29.18	0
	20.00	26.33	73.40	29.30	28.93	0.005
	21.00	26.33	75.35	29.05	28.68	0
	22.00	26.42	77.38	28.87	28.52	0.007

	23.00	26.22	77.52	28.68	28.33	0
01/03/2020	00.00	26.12	77.58	28.53	28.22	0.002
	01.00	25.98	77.82	28.37	28.07	0
	02.00	25.93	78.35	28.28	27.97	0
	03.00	25.92	78.83	28.20	27.85	0
	04.00	25.85	79.13	28.08	27.75	0.005
	05.00	25.78	79.85	27.95	27.67	0.003
	06.00	25.95	79.43	28.12	27.88	0.003
	07.00	26.30	77.77	28.65	28.47	0
	08.00	26.65	75.17	29.33	29.18	0
	09.00	26.83	70.90	30.05	29.93	0
	10.00	27.17	69.73	30.52	30.38	0
	11.00	27.25	68.52	30.78	30.55	0.01
	12.00	27.30	69.85	30.70	30.47	0.003
	13.00	27.18	67.93	30.80	30.60	0.03
	14.00	27.07	67.65	30.73	30.47	0
	15.00	27.07	68.90	30.58	30.32	0.007
	16.00	27.12	72.33	30.23	29.88	0.008
	17.00	26.30	73.62	29.22	28.85	0.022
	18.00	26.05	73.53	28.97	28.65	0.025
	19.00	25.90	73.97	28.75	28.43	0.008
	20.00	25.87	74.55	28.62	28.27	0
	21.00	25.73	74.52	28.43	28.13	0
	22.00	25.58	74.43	28.33	28.02	0
	23.00	25.58	75.63	28.22	27.90	0.017
02/03/2020	00.00	25.65	76.90	28.08	27.77	0.003
	01.00	25.52	77.55	27.93	27.62	0
	02.00	25.43	77.88	27.82	27.50	0
	03.00	25.48	78.12	27.78	27.42	0.002
	04.00	25.42	78.52	27.70	27.40	0
	05.00	25.33	79.13	27.58	27.22	0
	06.00	25.47	79.05	27.67	27.38	0
	07.00	25.87	77.83	28.20	28.02	0
	08.00	26.27	74.82	28.98	28.83	0
	09.00	26.80	72.40	29.78	29.67	0
	10.00	27.13	70.75	30.38	30.20	0.002
	11.00	27.43	69.35	30.88	30.67	0.007

	12.00	27.65	67.42	31.38	31.22	0.005
	13.00	27.63	64.93	31.68	31.42	0.045
	14.00	27.28	73.75	30.22	29.97	0.2
	15.00	27.28	73.12	30.27	30.03	0.002
	16.00	27.08	70.68	30.38	30.10	0.026
	17.00	27.13	73.38	30.13	29.75	0.014
	18.00	27.00	74.25	29.83	29.48	0.002
	19.00	26.92	75.63	29.63	29.30	0
	20.00	26.75	76.15	29.43	29.05	0
	21.00	26.68	76.17	29.35	29.00	0
	22.00	26.68	76.50	29.28	28.92	0
	23.00	26.57	76.33	29.17	28.83	0
03/03/2020	00.00	26.48	76.60	29.05	28.73	0.003
	01.00	26.50	77.33	28.93	28.63	0
	02.00	26.45	78.22	28.82	28.48	0
	03.00	26.40	79.43	28.62	28.30	0
	04.00	26.27	80.08	28.47	28.17	0
	05.00	26.17	80.23	28.32	28.03	0
	06.00	26.23	80.08	28.35	28.10	0.007
	07.00	26.42	78.47	28.68	28.53	0
	08.00	26.77	74.70	29.50	29.35	0
	09.00	27.08	72.28	30.13	29.95	0
	10.00	27.32	68.38	30.83	30.67	0
	11.00	27.38	66.63	31.22	30.93	0
	12.00	27.60	71.22	30.88	30.53	0.005
	13.00	27.87	71.33	31.12	30.83	0.002
	14.00	27.58	66.70	31.43	31.18	0.002
	15.00	27.38	71.03	30.68	30.30	0
	16.00	26.88	71.30	30.10	29.77	0
	17.00	26.53	71.75	29.67	29.28	0.002
	18.00	26.57	73.95	29.48	29.10	0.003
	19.00	26.53	76.05	29.18	28.83	0.002
	20.00	26.38	76.45	28.97	28.67	0.007
	21.00	26.32	77.58	28.75	28.45	0.007
	22.00	26.22	78.22	28.60	28.32	0
	23.00	26.27	79.15	28.50	28.22	0

Sumber: Hasil pengukuran, (2020)

Lampiran 3. Tabel Rentang Kenyamanan Termal Ruang

Hours [t]	Batas Minimal Nyaman	Batas Maksimal Nyaman	Temperatur 27/02/2020	Temperatur 28/02/2020	Temperatur 29/02/2020	Temperatur 01/03/2020	Temperatur 02/03/2020	Temperatur 03/03/2020
0	23.73	28.73	28.05	28.20	27.95	28.53	28.08	29.05
1	23.73	28.73	27.85	28.07	27.80	28.37	27.93	28.93
2	23.73	28.73	27.73	27.93	27.68	28.28	27.82	28.82
3	23.73	28.73	27.63	27.80	27.60	28.20	27.78	28.62
4	23.73	28.73	27.55	27.73	27.53	28.08	27.70	28.47
5	23.73	28.73	27.50	27.67	27.42	27.95	27.58	28.32
6	23.73	28.73	27.62	27.67	27.53	28.12	27.67	28.35
7	23.73	28.73	28.03	28.02	27.88	28.65	28.20	28.68
8	23.73	28.73	28.53	28.52	28.45	29.33	28.98	29.50
9	23.73	28.73	29.15	29.12	29.12	30.05	29.78	30.13
10	23.73	28.73	29.82	29.85	29.92	30.52	30.38	30.83
11	23.73	28.73	30.33	30.52	30.57	30.78	30.88	31.22
12	23.73	28.73	30.85	30.98	31.07	30.70	31.38	30.88
13	23.73	28.73	31.15	31.35	31.60	30.80	31.68	31.12
14	23.73	28.73	31.35	30.53	31.80	30.73	30.22	31.43
15	23.73	28.73	29.90	29.43	31.32	30.58	30.27	30.68
16	23.73	28.73	29.38	29.30	30.85	30.23	30.38	30.10
17	23.73	28.73	29.43	29.22	30.50	29.22	30.13	29.67
18	23.73	28.73	29.42	29.08	30.12	28.97	29.83	29.48
19	23.73	28.73	29.15	28.98	29.57	28.75	29.63	29.18
20	23.73	28.73	28.90	28.75	29.30	28.62	29.43	28.97
21	23.73	28.73	28.63	28.38	29.05	28.43	29.35	28.75
22	23.73	28.73	28.45	28.23	28.87	28.33	29.28	28.60
23	23.73	28.73	28.30	28.12	28.68	28.22	29.17	28.50

Sumber: Penulis, (2020)

Lampiran 4. Hasil perhitungan kebutuhan kecepatan angin (WSc), berdasarkan nilai kelembaban dan temperatur udara hasil pengukuran

pukul	Tin (oC)	RH (%)	WSc (m/s)
0	28.31	78.07	0.260
1	28.16	78.64	0.246
2	28.04	79.13	0.237
3	27.94	79.71	0.230
4	27.84	80.11	0.215
5	27.74	80.61	0.232
6	27.83	80.36	0.282
7	28.24	79.03	0.351
8	28.89	76.33	0.542
9	29.56	73.52	0.600
10	30.22	70.59	0.635
11	30.72	68.65	0.665
12	30.98	68.18	0.644
13	31.28	66.25	0.563
14	31.01	68.63	0.525
15	30.36	70.51	0.490
16	30.04	71.75	0.465
17	29.69	73.81	0.431
18	29.48	74.56	0.405
19	29.21	75.41	0.376
20	28.99	76.14	0.359
21	28.77	76.73	0.343
22	28.63	77.28	0.318
23	28.50	77.71	0.278

Sumber: Penulis, (2020)

Lampiran 5. Hasil perhitungan kebutuhan kecepatan angin (WSc), berdasarkan nilai kelembaban dan temperatur udara hasil simulasi model eksperimen

pukul	Tin (oC)	RH (%)	WSc (m/s)
0	28.04	77.05	0.288
1	27.81	76.54	0.260
2	27.61	78.22	0.247
3	27.43	79.91	0.237
4	27.32	80.94	0.227
5	27.22	82.08	0.224
6	27.28	82.84	0.240
7	27.84	80.31	0.292
8	28.46	77.71	0.348
9	29.11	75.22	0.415
10	29.72	73.03	0.482
11	30.24	71.32	0.547
12	30.64	70.06	0.614
13	30.89	69.54	0.642
14	30.91	70.00	0.669
15	30.98	69.54	0.499
16	30.71	70.71	0.445
17	30.42	71.40	0.494
18	30.15	72.06	0.483
19	29.91	72.21	0.437
20	29.71	72.30	0.400
21	29.54	72.35	0.373
22	29.09	73.83	0.346
23	28.47	76.60	0.321

Sumber: Penulis, (2020)

Lampiran 6. Kecepatan angin hasil simulasi konfigurasi WWR pada titik acuan dalam ruang

Titik Ukur	Model rujukan	WWR 10%	WWR 20%	WWR 30%
A	0.11	0.07	0.07	0.1
B	0	0	0	0.04
C	0	0	0	0
D	0	0	0	0.04
E	0.07	0	0	0.11
F	0.2	0.11	0.15	0.253
G	0.18	0.09	0.11	0.24
H	0.07	0.07	0.11	0.11
I	0.04	0.05	0	0
J	0.04	0.04	0.07	0
K	0.04	0	0	0.04
L	0	0	0	0.1
M	0.04	0.07	0.07	0
N	0	0.07	0.07	0
O	0	0	0	0
P	0.2	0.15	0.18	0.11
Q	0.1	0.1	0.15	0.11
R	0.11	0.11	0.11	0.11
Mean	0.067	0.052	0.061	0.076

Sumber: Penulis, (2020)

Lampiran 7. Kecepatan angin hasil simulasi konfigurasi tabir surya pada titik acuan dalam ruang

Titik Ukur	Model rujukan	H-40	H-60	H-80	V-40	V-60	V-80	HV-40	HV-60	HV-80
A	0.11	0.07	0.13	0.12	0.11	0.07	0.11	0.07	0.06	0.05
B	0	0	0	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.035
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0.11	0.09	0.04	0.1	0.11	0.09	0.11	0.1	0.09
E	0.07	0.18	0.13	0.07	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
F	0.2	0.18	0.17	0.16	0.17	0.16	0.155	0.17	0.16	0.155
G	0.18	0.11	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
H	0.07	0.11	0.09	0.07	0.07	0.05	0.04	0.07	0.05	0.05
I	0.04	0	0	0	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02
J	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.02	0.04
L	0	0.1	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.09	0.08	0.07
M	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0.04	0	0	0	0.04	0	0	0.04	0
P	0.2	0.07	0.09	0.11	0.1	0.07	0.07	0.1	0.07	0.07
Q	0.1	0.07	0.09	0.11	0.07	0.11	0.11	0.07	0.11	0.11
R	0.11	0.11	0.09	0.11	0.11	0.1	0.11	0.1	0.09	0.11
Mean	0.067	0.066	0.064	0.061	0.067	0.065	0.064	0.063	0.061	0.059

Sumber: Penulis, (2020)

Lampiran 8. Kecepatan angin hasil simulasi konfigurasi balkon pada titik acuan dalam ruang

Titik Ukur	Model rujukan	B1, 10%	B1, 20%	B1, 30%	B2, 10%	B2, 20%	B2, 30%
A	0.11	0.07	0.07	0.04	0.07	0.07	0.04
B	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0.07	0.04	0	0.04	0.02	0
E	0.07	0.11	0.07	0.07	0.11	0.07	0.07
F	0.2	0.24	0.205	0.19	0.22	0.205	0.19
G	0.18	0.22	0.145	0.15	0.205	0.145	0.15
H	0.07	0.11	0.07	0.07	0.11	0.07	0.07
I	0.04	0.07	0.04	0	0.07	0.04	0
J	0.04	0	0	0	0	0	0
K	0.04	0.11	0.07	0.04	0.07	0.04	0.02
L	0	0.07	0.07	0.07	0.04	0.07	0.04
M	0.04	0.04	0	0	0.02	0	0
N	0	0	0	0.04	0	0	0.04
O	0	0.04	0.07	0	0.04	0.04	0
P	0.2	0.15	0.18	0	0.15	0.18	0
Q	0.1	0.11	0.07	0.22	0.11	0.07	0.22
R	0.11	0.15	0.11	0.11	0.15	0.07	0.11
Mean	0.067	0.087	0.067	0.056	0.078	0.061	0.053

Sumber: Penulis, (2020)

Lampiran 9. Kecepatan angin hasil simulasi kombinasi elemen fasad pada titik acuan dalam ruang

Titik Ukur	Model rujukan	Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 4
A	0.11	0.07	0.07	0.07	0.07
B	0	0.04	0	0.04	0.04
C	0	0	0	0	0
D	0	0	0.07	0	0
E	0.07	0	0.11	0.04	0.04
F	0.2	0.15	0.256	0.18	0.18
G	0.18	0.18	0.24	0.22	0.15
H	0.07	0	0.11	0.04	0.04
I	0.04	0	0.07	0	0
J	0.04	0	0	0	0
K	0.04	0.04	0.11	0.07	0.07
L	0	0.07	0.11	0.07	0.07
M	0.04	0	0.04	0.04	0
N	0	0.04	0.04	0	0
O	0		0.07	0.04	0.07
P	0.2		0.22	0.18	0.2
Q	0.1	0.18	0.11	0.07	0.11
R	0.11	0.07	0.15	0.11	0.07
Mean	0.067	0.053	0.099	0.065	0.062

Sumber: Penulis, (2020)