PENGARUH REKAYASA FASAD TERHADAP TEMPERATUR RUANG KULIAH GEDUNG PASCA SARJANA UNIVERSITAS ISLAM MALANG

SKRIPSI

PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

RADIN ANDHY DHARMA WISAMBUDI
NIM. 135060501111022

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH REKAYASA FASAD TERHADAP TEMPERATUR RUANG KULIAH GEDUNG PASCA SARJANA UNIVERSITAS ISLAM MALANG

SKRIPSI

PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

RADIN ANDHY DHARMA WISAMBUDI
NIM. 135060501111022

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 18 Desember 2018

Mengetahui,
Ketua Program Studi Sarjana Arsitektur

Ir. Heru Sufianto, M.Arch.St., Ph.D.
NIP. 19650218 199002 1 001

Dosen Pembimbing

Andika Citraningrum, ST., MT., MSc.
NIK 201201 870425 2 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan,saya bersedia Skripsi/Tesis/Disertasi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 20 Desember 2018

Mahasiswa,

Radin Andhy Dharma W

NIM. 135060501111022

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : **/UN10. F07.15/PP/2018**

Sertifikat ini diberikan kepada :

RADIN ANDHY DHARMA WISAMBUDI

Dengan Judul Skripsi :

PENGARUH REKAYASA FASAD TERHADAP TEMPERATUR RUANG KULIAH GEDUNG PASCA SARJANA UNIVERSITAS ISLAM MALANG

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi ≤ 20 %, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **20 Desember 2018**

Ketua Jurusan Arsitektur

Dr. Eng. Herry Santosa, ST., MT
NIP. 19730525 200003 1 004

Ketua Program Studi S1 Arsitektur

Ir. Heru Sufianto, M.Arch, St., Ph.D
NIP. 19650218 199002 1 001

Untuk,

Bapak (alm. Machmud As Andhy Nursu)

dan

Bunda (almh. Wiwit Achdiati)

Terima Kasih atas segalanya

RINGKASAN

Radin Andhy Dharma Wisambudi, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2018, Pengaruh Rekayasa Fasad Terhadap Temperatur Ruang Kuliah Gedung Pasca Sarjana Universitas Islam Malang. Dosen Pembimbing: Andika Citraningrum, ST., MT., MSc.

Urban heat island adalah sebuah wilayah metropolitan yang lebih hangat dibanding wilayah pedesaan sekitarnya. Penyebab utama UHI yakni modifikasi permukaan tanah melalui pengembangan kota yang menggunakan material yang menyimpan panas. Kota Malang sebagi tujuan pendidikan menjadikan pertumbuhan pembangunan dan perkonomian kawasan Universitas Islam Malang (UNISMA) berkembang dengan sangat pesat dan menyebabkan fenomena UHI sehingga suhu udara meningkat dan juga mempengaruhi suhu udara Gedung Pascasarjana UNISMA. Material pelingkup fasad berupa *curtain wall* dengan rasio penuh dengan orientasi bangunan memanjang ke barat daya dan timur laut yang kurang sesuai pada bangunan tropis dan turut memperbesar radiasi matahari yang diterima selubung bangunan yang diteruskan ke ruang dalam sehingga ruang dalam bangunan semakin panas. AC Central digunakan sebagai solusi permasalahan termal pada gedung kuliah, namun memiliki kelemahan yaitu banyaknya energi yang terbuang pada saat jam efektif perkuliahan karena pada ruang tak terpakai. Diperlukan pengoptimalan pendinginan pasif untuk membuat ruang kuliah nyaman tanpa menggunakan AC dengan cara modifikasi fasad bangunan.

Tujuan penelitian ini yaitu mengevaluasi penggunaan fasad kaca terhadap temperatur ruang kuliah pada Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang. Untuk itu, penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan eksperimental. Kemudian, untuk menghasilkan rancangan rekomendasi, dilakukan analisis dan sintesis dengan metode quasi eksperimental dengan menggunakan simulasi. Variabel terikat pada penelitian ini adalah temperatur udara kering, kelembaban udara, serta kecepatan angin. Temperatur udara merupakan variabel utama dalam penelitian ini, sebagai landasan penilaian indeks kenyamanan termal ruang kuliah pada objek penelitian. Selain itu, sebagai data tambahan, diukur juga kelembaban udara dan kecepatan angin sebagai variabel pendukung dalam kenyamanan termal.

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi dan pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat ukur *hotwire* dan *vane probe anemometer digital* serta termometer basah-kering. Pengukuran dilakukan pada 29 April 2018, pada jam efektif

perkuliahan yaitu jam 08.00 hingga 16.00 dengan titik ukur ditengah ruang sampel dan diluar bukaan. Observasi diawali dengan mengukur dimensi ruang sampel untuk keperluan permodelan 3D, kemudian dilakukan identifikasi material setiap elemen bangunan serta observasi pengaruh lingkungan. Setelah itu pengukuran variabel penellitian berupa temperatur, kelembaban, dan kecepatan angin pada ruang kuliah dan ruang luar bangunan pada titik pengukuran dan menggunakan instrumen yang telah ditentukan.

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa kondisi eksisting temperatur yaitu kisaran 27.5 ºC hingga 28 ºC, kelembaban relatif cenderung tinggi yakni 85% pada lantai 4 dan 92% pada lantai 5, sedangkan kecepatan angin berada pada kecepatan 0.1 hingga 0.2 m/s. Kondisi tersebut merupakan dampak dari paparan sinar matahari dari orientasi barat laut – timur laut, penggunaan fasad *curtain wall* dengan rasio penuh serta sistem ventilasi yang tidak sesuai standar juga memperburuk kinerja termal ruang kuliah. Dari hasil tersebut, menunjukan bahawa keempat ruang kuliah Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang berada pada kondisi yang tidak sesuai dengan standar zona kenyamanan menurut SNI 03-6572-2001.

Dari serangkaian penelitian dengan 8 tipe kombinasi rekayasa fasad, didapatkan hasil akhir bahwa rekayasa dapat membuat ruang kuliah sesuai terhadap SNI 03-6572-2001. Rekayasa ventilasi alami yang dilakukan dapat menghasilkan penurunan temperatur cukup signifikan yaitu 0.4ºC hingga 3.4ºC dan kecepatan angin hingga 1m/s sudah dapat mengkompensasi hal tersebut. Hal ini memang cukup sulit dilakukan pada desain bangunan yang menghadap kearah matahari, dimana fasad akan selalu terpapar oleh sinar matahari ketika pagi dan sore. Penerapan pendinginan alami yang cocok pada bangunan yakni double skin façade (DSF) dan rekayasa ventilasi pada bangunan.

Kata Kunci: Kenyamanan termal, fasad, ventilasi alami, temperatur ruang

SUMMARY

Radin Andhy Dharma Wisambudi, *Architectural Degree, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2018, Facades Modification Effects of Lecture Rooms Temperature in Post-Graduate Building of Malang Islamic University. Academic Supervisor: Andika Citraningrum, ST., MT., MSc.*

Urban heat island is a metropolitan area that is warmer than the surrounding rural areas. The main cause of UHI is landform change using city buildings that use heat-saving material. Malang City as an educational destination which resulted in the growth and development in the area of Malang Islamic University (UNISMA) developed very rapidly and became a factor that influenced the condition of the Post-Graduate Building in UNISMA. The facade material in the form of a curtain wall with a full ratio with aspects of the building orientation to the southwest and northeast which is less suitable for tropical buildings and contributes to the sun-radiation from the building which is forwarded to lecture room in the hot building. Central AC usage as a solution to problems in the building, but there are weaknesses like the energy wasted during the effective hour because of the unused lecture room. Optimization is required to make the lecture room comfortable without using air conditioning by modifying the facade of the building.

The purpose of this study is to evaluate the usage of glass facades to room temperature in the Postgraduate Building of Malang Islamic University. For this reason, this study uses a qualitative descriptive method with an experimental approach. Then, to draft a recommendation, an analysis was carried out using the quasi experimental method using simulation. The variables in this study are dry-bulb temperature, relative humidity, and wind speed. Temperature is the main variable in this study, as the basis of the basic space comfort index of the research object. As additional data, air intensity and speed also measured as supporting variables in thermal comfort.

Data collection is done by observation and direct measurement in the field using hotwire and vane probe anemometer digital also wet-dry thermometer measuring instrument. Measurements were made on April 29, 2018, at the effective hours of lectures activity, which are 08.00 to 16.00 with a measurement point in the middle of the sample room and outside the openings. Observations begin by measuring the dimensions of the sample room for 3D modeling purposes, then material identification of each building element and observation of environmental influences are carried out. After that the measurement of research variables in the form of temperature, humidity, and wind speed in

the lecture hall and building outside space at the measurement point and using predetermined instruments.

From the measurement results it is known that the existing conditions of temperature are in the range of 27.5 ^{o}C to 28 ^{o}C, the relative humidity tends to be high at 85% on the 4th floor and 92% on the 5th floor, while the wind speed is at speeds of 0.1 to 0.2 m/s. This condition is the result of sun exposure from the northwest - northeast orientation, the full ratio of the curtain wall facade and the non-standard ventilation system also exacerbates the thermal performance of the lecture rooms. From these results, it shows that the four lecture rooms of the Malang Islamic University Post-graduate Building are in conditions that are not in accordance with the comfort zone standards according to SNI 03-6572-2001.

From a series of studies with 8 types of combination facade modifications, the final results were obtained that facades modification could make the lecture room in accordance with SNI 03-6572-2001. Natural ventilation engineering carried out can result in a significant temperature drop of 0.4^{o}C to 3.4^{o}C and wind speeds of up to 1m/s can compensate the absolute temperature and humidity. This is indeed quite difficult to do in the design of buildings facing the sun, where the facade will always be exposed to sunlight when morning and evening. The application of suitable natural cooling to the building is the double skin façade (DSF) and ventilation modifications in the building.

Keywords: thermal comfort, facade, natural ventilation, room temperature

PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas segala rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Rekayasa Fasad terhadap Temperatur Ruang Kuliah Gedung Pasca Sarjana Universitas Islam Malang". Skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik.

Banyak pihak yang telah berperan penting dalam proses pengerjaan skripsi ini dari awal hingga akhir. Adapun, saya sebagi penulis, mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Herry Santosa, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Heru Sufianto, M.Arch.St., Ph.D, selaku Ketua Program Studi Sarjana Arsitektur.
3. Bapak Ir. Chairil Budiarto Amiuza, MSA, selaku Kepala Laboratorium Dokumentasi dan Tugas Akhir.
4. Ibu Andika Citraningrum, ST., MT., MSc. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyusunan skripsi ini.
5. Segenap Dosen Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan begitu banyak ilmu selama masa perkuliahan.
6. Bapak, Ibu, Mas Andri, Mba Iik, Mas Randi, dan Mas Raga yang memberi dukungan sepenuhnya.
7. Ayundi Eka Zulistya, Keluarga Pamer, Cupay, Inch Studiolabs dan seluruh teman-teman Jurusan Arsitektur angkatan 2013, sebagai keluarga kedua yang selalu memberi dukungan selama perkuliahan.

Di dalam penyusunannya, saya menyadari bahwa skripsi ini memiliki kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membantu dan membangun diharapkan untuk penyempurnaan isinya. Dengan demikian, saya harap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca atau peneliti yang memiliki minat pada bidang yang sama.

Malang, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR i
DAFTAR ISI ii
DAFTAR TABEL iv
DAFTAR GAMBAR vi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Identifikasi masalah 3
1.3 Rumusan masalah 3
1.4 Batasan masalah 4
1.5 Tujuan 4
1.6 Manfaat 4
1.7 Sistematika Penulisan 5
1.8 Kerangka Pemikiran 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Tinjauan Gedung Perkuliahaan 9
2.2 Kenyamanan Termal 9
2.2.1 Faktor yang dapat mempengaruhi Kondisi Termal 10
2.2.2 Elemen Bangunan yang mempengaruhi Kenyamanan Termal 14
2.2.3 Indeks Kenyamanan Termal 20
2.3 Tinjauan Fasad dan Selubung Bangunan 23
2.4 Tinjauan Kaca 24
2.4.1 Jenis Kaca penutup Bangunan 25
2.6 Studi Tinjauan Penelitian Terdahulu 29
2.7 Kerangka Teori 30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 31
3.1 Lokasi dan Objek Penelitian 31
3.2 Metode Penelitian 32
3.3 Variabel Penelitian 32
3.4 Metode Pengumpulan Data 33
3.4.1 Data Primer 33
3.4.2 Data Sekunder 33
3.5 Metode Pengukuran 33
3.5.1 Pengukuran Eksisting 33
3.5.2 Visualisasi dan Simulasi Umum 34
3.6 Metode Analisis Data 34
3.6.1 Perhitungan Data dan Simulasi Eksisting 34
3.6.2 Rekayasa dan Rekomendasi Desain 36
3.6.3 Rekayasa Ventilasi 37
3.7 Kerangka Alur Penelitian 38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Analisis Data 39
4.1.1 Analisa Situasi 39
4.1.2 Analisis Pembayangan Matahari 42
4.1.3 Kondisi Ruang 46
4.1.4 Titik Pengukuran 50
4.2 Hasil Pengukuran 50
4.2.1 Temperatur Udara 51
4.2.2 Kelembaban Udara 57
4.2.3 Kecepatan Angin 64
4.3 Simulasi Ruang Sampel 71
4.3.1 Simulasi Temperatur Ruang Kuliah 71
4.3.2 Simulasi Kecepatan Angin Ruang Kuliah 76
4.3.4 Perbandingan Pengukuran dan Simulasi 79
4.4 Evaluasi Kinerja Termal Eksisting 85
4.4.1 Desain Bangunan 85
4.4.2 Fasad dan Tipe Bukaan 86
4.4.3 Temperatur dan Kelembaban 87
4.5 Solusi Termal dan Simulasi Rekayasa Desain 91
4.5.1 Tipe 1 – Jarak *Double Skin Façade* (DSF) 94
4.5.2 Tipe 2 - Rasio Dinding dan Jendela 103
4.5.3 Tipe 3 - Material Dinding dan Jendela 112
4.5.4 Tipe 4 - Rasio Dinding & Jendela dan Material Selubung 117
4.5.5 Tipe 5 - Rasio Dinding & Jendela dan *Double Skin Facade* 124
4.5.6 Tipe 6 - Material Dinding & Jendela dan *Double Skin Facade* 127
4.5.7 Tipe 7 - DSF, Rasio Dinding & Jendela, Material Dinding & Jendela 130
4.6 Rekomendasi Desain 134
4.6.1 Rekomendasi Terpilih 134
4.6.2 Evaluasi Hasil Rekayasa Fasad Bangunan 135
4.6.3 Ventilasi Alami 147
4.6.4 Rekomendasi Desain 159

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 165
5.1 Kesimpulan 165
5.2 Saran 167

DAFTAR PUSTAKA 169
LAMPIRAN 173

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel pengaruh intensitas awan terhadap radiasi 14
Tabel 2. 2 Rekomendasi kombinasi resistance dan capacity-insulation 16
Tabel 2. 3 Nilai Time Lag dan U-value material pelingkup 16
Tabel 2. 4 Shading Coefficient pada Elemen Peneduh 20
Tabel 2. 5 Kecepatan udara dan kesejukan 22
Tabel 2. 6 Pengaruh angin terhadap kenyamanan pengguna 23
Tabel 2. 7 Nilai u-value, shading coefficient, dan SGHC berbagai tipe kaca 25
Tabel 4. 1 Tabel suhu rata rata bulanan kawasan Tlogomas 10 tahun terkahir 41
Tabel 4. 2 Hasil simulasi titik pergerakan matahari pada pagi hari (09.00) 44
Tabel 4. 3 Hasil simulasi titik pergerakan matahari pada siang hari (12.00) 45
Tabel 4. 4 Hasil simulasi titik pergerakan matahari pada sore hari (15.00) 46
Tabel 4. 5 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H4-03 51
Tabel 4. 6 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H4-08 52
Tabel 4. 7 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H5-03 54
Tabel 4. 8 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H5-08 55
Tabel 4. 9 Rata - rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H4-03 58
Tabel 4. 10 Rata-rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H4-08 59
Tabel 4. 11 Rata-rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H5-03 61
Tabel 4. 12 Rata-rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H5-08 62
Tabel 4. 13 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H4-03 64
Tabel 4. 14 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H4-08 65
Tabel 4. 15 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H5-03 67
Tabel 4. 16 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H5-08 68
Tabel 4. 17 Kecepatan udara dan kesejukan 69
Tabel 4. 18 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H4-03 80
Tabel 4. 19 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H4-08 81
Tabel 4. 20 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H5-03 82
Tabel 4. 21 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H5-08 83
Tabel 4. 22 Hasil perbandingan pengukuran lapangan dan simulasi 84
Tabel 4. 23 Hasil simulasi kecepatan angin pada *Autodesk Flow Design* 84
Tabel 4. 24 Data pengukuran ruang kuliah H4-03 88
Tabel 4. 25 Data pengukuran ruang kuliah H4-08 88
Tabel 4. 26 Data pengukuran ruang kuliah H5-03 89
Tabel 4. 27 Data pengukuran ruang kuliah H5-08 90

Tabel 4. 28 Keuungulan dan kelemahan rekayasa DSF dengan outer skin jarak 1.5m 99
Tabel 4. 29 Keuungulan dan kelemahan rekayasa DSF dengan outer skin jarak 1m 101
Tabel 4. 30 Keuungulan dan kelemahan rekayasa rasio 50%.....108
Tabel 4. 31 Keuungulan dan kelemahan rekayasa rasio 30%.....111
Tabel 4. 32 Spesifikasi kaca eksisting 113
Tabel 4. 33 *U-value*, transmisi visual, dan nilai SGHC dari alternatif.....114
Tabel 4. 34 Material pelingkup 118
Tabel 4. 35 Spesifikasi kaca.....119
Tabel 4. 36 Keunggulan dan kelemahan batako sebagai dinding 121
Tabel 4. 37 Keunggulan dan kelemahan bata ringan sebagai selubung masif.....123
Tabel 4. 38 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H4-03 bulan April 136
Tabel 4. 39 Data ruang kuliah H4-03 berdasarkan simulasi bulan April 136
Tabel 4. 40 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H4-08 bulan April 137
Tabel 4. 41 Data ruang kuliah H4-08 berdasarkan simulasi bulan April 137
Tabel 4. 42 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H5-03 bulan April 138
Tabel 4. 43 Data ruang kuliah H5-03 berdasarkan simulasi bulan April 138
Tabel 4. 44 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H5-08 bulan April 139
Tabel 4. 45 Data ruang kuliah H5-08 berdasarkan simulasi bulan April 139
Tabel 4. 38 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H4-03 bulan Oktober.....142
Tabel 4. 39 Data ruang kuliah H4-03 berdasarkan simulasi bulan Oktober.....142
Tabel 4. 40 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H4-08 bulan Oktober.....143
Tabel 4. 41 Data ruang kuliah H4-08 berdasarkan simulasi bulan Oktober.....143
Tabel 4. 42 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H5-03 bulan Oktober.....144
Tabel 4. 43 Data ruang kuliah H5-03 berdasarkan simulasi bulan Oktober.....144
Tabel 4. 44 Perbandingan eksisting dengan hasil rekomendasi H5-08 bulan Oktober.....145
Tabel 4. 45 Data ruang kuliah H5-08 berdasarkan simulasi bulan Oktober.....145
Tabel 4. 46 Pengaruh angin terhadap kenyamanan pengguna 159
Tabel 4. 47 Desain eksisting dan rekomendasi 159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 1 Kerangka Pemikiran 7
Gambar 2.1 Proses masuk panas pada bangunan ketika siang hari 13
Gambar 2. 2 Jenis radiasi matahari 13
Gambar 2. 3 Posisi ketinggian bukaan inlet dan outlet terhadap aliran udara 17
Gambar 2. 4 Posisi inlet dan outlet pada ruang 18
Gambar 2. 5 Perbedaan kecepatan aliran udara terhadap rasio bukaan 18
Gambar 2. 6 Tipe Bukaan 19
Gambar 2. 7 Jarak pohon terhadap bangunan dan pengaruhnya terhadap ventilasi alami ..19
Gambar 2. 8 Jenis shading devices sebagai pelindung terhadap radiasi matahari 20
Gambar 2. 9 Kebutuhan kecepatan angin untuk kenyamanan ventilasi 22
Gambar 2. 10 Kaca Bening (Clear Float Glass) 25
Gambar 2. 11 Kaca Berwarna (Tinted Glass / Rayban) 26
Gambar 2. 12 Kaca Stopsol 27
Gambar 2. 13 Kaca One Way 27
Gambar 2. 14 Tinjauan Penelitian Terdahulu 29
Gambar 2. 15 Diagram Kerangka Teori 30
Gambar 3. 1 Fasad dan Material Kaca pada Gedung Pascasarjana UNISMA 31
Gambar 3. 2 Instrumen penelitian 34
Gambar 3. 3 Simulasi Spatial Comfort menggunakan Ecotect Analysis 35
Gambar 3. 4 Autodesk Flow Design untuk mengetahui kecepatan angin 36
Gambar 3. 5 Diagram kerangka alur penelitian 38
Gambar 4. 1 Layout Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang 39
Gambar 4. 2 Keadaan lingkungan sekitar gedung pascasarjana UNISMA 40
Gambar 4. 3 Siteplan gedung pascasarjana UNISMA 42
Gambar 4. 4 Garis pergerakan matahari 42
Gambar 4. 5 Hasil simulasi pembayangan pada (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des. 43
Gambar 4. 6 Simulasi pukul 09.00 pada tanggal (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des 44
Gambar 4. 7 Simulasi pukul 12.00 pada tanggal (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des 44
Gambar 4. 8 Simulasi pukul 15.00 pada tanggal (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des 45
Gambar 4. 9 Denah ruang kuliah tipikal lantai 2-5 46
Gambar 4. 10 Kondisi ruang kuliah H4-03(lantai 4) 47
Gambar 4. 11 Kondisi ruang kuliah H4-08 (lantai 4) 47
Gambar 4. 12 Kondisi ruang kuliah H5-03 (lantai 5) 48

Gambar 4. 13 Kondisi ruang kuliah H5-08 (lantai 5) 48
Gambar 4. 14 Detail jendela dan curtain wall 49
Gambar 4. 15 Bukaan (dari kiri) tipe 03, tipe 08, dan kerusakan inlet H4-03 49
Gambar 4. 16 Denah titik pengukuran lantai 4-6 (tipikal) 50
Gambar 4. 17 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H4-03 52
Gambar 4. 18 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H4-08 53
Gambar 4. 19 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H5-03 54
Gambar 4. 20 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H5-08 56
Gambar 4. 21 Perbandingan Temperatur Udara Kering Indoor tiap ruang kelas 56
Gambar 4. 22 Perbandingan suhu indoor dan outdoor ruang sampel 57
Gambar 4. 23 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H4-03 58
Gambar 4. 24 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H4-08 60
Gambar 4. 25 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H5-03 61
Gambar 4. 26 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H5-08 62
Gambar 4. 27 Perbandingan kelembaban udara ruang kuliah 63
Gambar 4. 28 Rata rata kelembaban relatif tiap ruang kuliah 63
Gambar 4. 29 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H4-03 65
Gambar 4. 30 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H4-08 66
Gambar 4. 31 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H5-03 68
Gambar 4. 32 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H5-08 69
Gambar 4. 33 Rata rata kecepatan aliran udara ruang kuliah 70
Gambar 4. 34 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H4-03 72
Gambar 4. 35 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H4-08 73
Gambar 4. 36 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H5-03 74
Gambar 4. 37 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H5-08 75
Gambar 4. 38 Perbandingan nilai Daily Temperatur ruang kuliah 76
Gambar 4. 39 Efek desain setback pada ruang kuliah tipe 03 77
Gambar 4. 40 Jendela tipe awning kurang efisien dalam menangkap angin 77
Gambar 4. 41 Tidak adanya outlet menyebabkan pergerakan angin terhambat 78
Gambar 4. 42 Efek inlet dan outlet pada beberapa jendela di ruang tipe 08 79
Gambar 4. 43 Jendela awning pada ruang tipe 08 79
Gambar 4. 44 Desain bangunan terhadap matahari dan angin 85
Gambar 4. 45 Radiasi matahari pada fasad gedung pasca sarjana UNISMA 86
Gambar 4. 46 Aliran angin pada bukaan ruang kuliah tipe 03 dan 08 87
Gambar 4. 47 Komparasi nilai temperature ruang kuliah terhadap SNI 03-6572-2001 91

Gambar 4. 48 Komparasi nilai kelembaban ruang kuliah terhadap SNI 03-6572-2001 91
Gambar 4. 49 Proses masuknya radiasi matahari pada bangunan.....91
Gambar 4. 50 Rencana pengembangan fasad beberapa gedung UNISMA 92
Gambar 4. 51 Penambahan DSF pada gedung kuliah bersama 93
Gambar 4. 52 Pola geometri islam di lingkungan kampus UNISMA (dari kiri atas) 93
Gambar 4. 53 Double skin facade sebagai penahan radiasi.....95
Gambar 4. 54 Penggunaan islamic geometric pattern pada sebagian gedung UNISMA 95
Gambar 4. 55 Pola islamic geometric pattern pada double skin façade (DSF) 96
Gambar 4. 56 Potongan ruang kuliah dengan DSF rangka gantung 97
Gambar 4. 57 Simulasi hourly temperature DSF jarak 1.5m tipe 03 dan tipe 08 97
Gambar 4. 58 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF ruang tipe 03 98
Gambar 4. 59 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF ruang tipe 08 98
Gambar 4. 60 Potongan ruang kuliah dengan DSF rangka gantung 99
Gambar 4. 61 Simulasi hourly temperature DSF Alternatif 2 tipe 03 dan tipe 08.....100
Gambar 4. 62 Perbandingan temp. eksisting dan hasil DSF alternatif 2 tipe 03 100
Gambar 4. 63 Perbandingan temp. eksisting dan hasil DSF alternatif 2 tipe 08 101
Gambar 4. 64 Rekomendasi double skin facade alternatif terpilih 102
Gambar 4. 65 Pengaruh rongga pada DSF alternatif 1.....102
Gambar 4. 66 Penggunaan rasio kaca 100% pada ruang tipe 03 dan 08 104
Gambar 4. 67 Tampak fasad dan potongan ruang kuliah (dari atas) tipe 03 dan 08 104
Gambar 4. 68 Mereduksi rasio fasad mengurangi radiasi panas melalui jendela 105
Gambar 4. 69 Tampak dan potongan Rasio alternatif 1 ruang tipe 03.....106
Gambar 4. 70 Tampak dan potongan Rasio alternatif 1 ruang tipe 08.....106
Gambar 4. 71 Simulasi rasio alt. 1 pada ruang kuliah (dari atas) tipe 03 dan tipe 08.....107
Gambar 4. 72 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa rasio 50% tipe 03 107
Gambar 4. 73 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rasio 50% tipe 08.....108
Gambar 4. 74 Tampak dan potongan rasio alternatif 2 ruang tipe 03 109
Gambar 4. 75 Tampak dan potongan rasio alternatif 2 ruang tipe 08 109
Gambar 4. 76 Simulasi hourly temperature rasio Alternatif 2 pada ruang kuliah tipe 03 dan tipe 08 109
Gambar 4. 77 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa rasio 30% tipe 03 110
Gambar 4. 78 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rasio 30% tipe 08.....110
Gambar 4. 79 Perspektif rekomendasi desain rasio ruang kuliah tipe 03 dan 08 112
Gambar 4. 80 Fasad ruang kuliah (dari kiri) tipe 03 dan tipe 08.....113
Gambar 4. 81 Material kaca meneruskan panas 113

Gambar 4. 82 Sebagian panas direduksi oleh material tidak tembus cahaya 114
Gambar 4. 83 Tampak fasad dan potongan ruang kuliah (dari atas) tipe 03 dan 08 115
Gambar 4. 84 Simulasi hourly temperature Material kaca reflektif tipe 03 dan tipe 08 ... 115
Gambar 4. 85 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material tipe 03 116
Gambar 4. 86 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material tipe 08 116
Gambar 4. 87 Rekomendasi desain material dinding dan jendela ruang kuliah 117
Gambar 4. 88 Sebagian panas direduksi oleh dinding 118
Gambar 4. 89 Simulasi hourly temperature rekayasa Rasio dan Material Batako (dari atas) tipe 03 dan tipe 08..... 120
Gambar 4. 90 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan Material Batako tipe 03..... 120
Gambar 4. 91 Perbandingan temp.eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan material Batako tipe 08..... 121
Gambar 4. 92 Simulasi hourly temperature rekayasa Rasio dan Material Bata Ringan (dari atas) tipe 03 dan tipe 08 122
Gambar 4. 93 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan Material Bata Ringan tipe 03..... 122
Gambar 4. 94 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan Material Bata Ringan tipe 08..... 123
Gambar 4. 95 Rekayasa Rasio dan Material pelingkup pada ruang kuliah 124
Gambar 4. 96 Potongan ruang kuliah dengan DSF 125
Gambar 4. 97 Simulasi hourly temperature rekayasa Rasio dan DSF (dari atas) tipe 03 dan tipe 08..... 126
Gambar 4. 98 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan DSF tipe 03.. 126
Gambar 4. 99 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan DSF tipe 08.. 127
Gambar 4. 100 Potongan ruang kuliah dengan DSF 128
Gambar 4. 101 Simulasi hourly temp. rekayasa Material kaca dan DSF (dari atas) tipe 03 dan tipe 08 129
Gambar 4. 102 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material kaca dan DSF ruang kuliah tipe 03 129
Gambar 4. 103 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material kaca dan DSF ruang kuliah tipe 08 130
Gambar 4. 104 Sebagian panas direduksi oleh DSF dan dinding 131
Gambar 4. 105 Simulasi hourly temperature rekayasa DSF, Rasio, serta Material (dari atas) tipe 03 dan tipe 08..... 132
Gambar 4. 106 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF, Rasio, dan Material tipe 03..... 132
Gambar 4. 107 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF, Rasio, dan Material tipe 08..... 133

Gambar 4. 108 Perbandingan temperatur hasil simulasi tipe 03 terhadap eksisting 134
Gambar 4. 109 Perbandingan temperatur hasil simulasi tipe 08 terhadap eksisting 134
Gambar 4. 110 Komparasi nilai temp. hasil rekomendasi akhir terhadap SNI 03-6572-2001 140
Gambar 4. 111 Komparasi nilai kelembaban hasil rekomendasi akhir terhadap SNI 03-6572-2001..... 141
Gambar 4. 112 Komparasi nilai temp. hasil rekomendasi akhir bulan Oktober terhadap SNI 03-6572-2001..... 146
Gambar 4. 113 Komparasi nilai kelembaban hasil rekomendasi akhir bulan OKtober terhadap SNI 03-6572-2001 147
Gambar 4. 114 Kebutuhan kec. angin untuk kenyamanan ventilasi pada ruang kuliah.... 147
Gambar 4. 115 Laju angin ruang kuliah tipe 03..... 148
Gambar 4. 116 Laju angin ruang kuliah tipe 08..... 149
Gambar 4. 117 Penempatan inlet dan outlet 149
Gambar 4. 118 Pengaruh dimensi outlet terhadap kecepatan angin..... 149
Gambar 4. 119 Zona angin pada ruang kuliah tipe 03 dan tipe 08 150
Gambar 4. 120 Rekayasa posisi dan jenis ventilasi tipe 03 alt. 1 151
Gambar 4. 121 Arah dan kecepatan angin alternatif 1 pada ruang tipe 03..... 151
Gambar 4. 122 Hasil simulasi tipe 03 alt. 1..... 152
Gambar 4. 123 Rekayasa posisi dan jenis ventilasi tipe 03 alt. 2 153
Gambar 4. 124 Arah dan kecepatan angin alternatif 2 pada ruang tipe 03..... 153
Gambar 4. 125 Hasil simulasi Tipe 03 alt. 2..... 154
Gambar 4. 126 Rekayasa posisi dan jenis ventilasi tipe 028 alt. 1 154
Gambar 4. 127 Arah dan kecepatan angin alternatif 1 pada ruang tipe 08..... 155
Gambar 4. 128 Hasil simulasi Tipe 08 alt. 1..... 156
Gambar 4. 129 Rekayasa Ventilasi pada Ruang kuliah tipe 08 156
Gambar 4. 130 Arah dan kecepatan angin alternatif 2 pada ruang tipe 08..... 156
Gambar 4. 131 Hasil simulasi Tipe 08 alt. 2..... 157
Gambar 4. 132 Fasad bangunan eksisting berupa curtain wall..... 161
Gambar 4. 133 Fasad bangunan hasil rekomendasi berupa double skin façade 161
Gambar 4. 134 Ruang kuliah eksisting dan hasil rekomendasi tipe 03..... 162
Gambar 4. 135 Ruang kuliah eksistting dan hasil rekomendasi tipe 08..... 163

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Urban heat island adalah sebuah wilayah metropolitan yang lebih hangat dibanding wilayah pedesaan sekitarnya. Penyebab utama UHI yakni modifikasi permukaan tanah melalui pengembangan kota yang menggunakan material yang menyimpan panas contohnya seperti penggunaan perkerasan menggunakan paving pada ruko-ruko atau penggunaan material kaca sebagai sebagian besar fasad bangunan karena dinilai mudah dalam segi perawatan dan lebih hemat energi karena pencahayaan alami.

Kota Malang merupakan kota terbesar kedua terbesar di Jawa Timur. Kondisi iklim Kota Malang tercatat rata-rata suhu udara berkisar antara 22,2 °C - 24,5 °C. Sedangkan suhu maksimum mencapai 32,3 °C dan suhu minimum 17,8 °C. Dikenal juga sebagai salah satu kota tujuan pendidikan, lebih dari 80 perguruan tinggi tersebar di wilayah Malang Raya. Beberapa universitas dan politeknik negeri maupun swasta menarik minat mahasiswa dari seluruh Indonesia. Banyaknya jumlah perguruan tinggi dan daya tampung mahasiswa mengakibatkan banyak mahasiswa pendatang dari luar kota memenuhi kota Malang untuk menuntut ilmu. Hal itu menjadikan pertumbuhan pembangunan dan perkonomian di daerah sekitar perguruan tinggi berkembang dengan sangat pesat, sebut saja kawasan Dinoyo, Sengkaling, kawasan Jl. Soekarno Hatta, dan lainnya. Hal ini yang mengakibatkan hilangnya kawasan ruang terbuka hijau, berganti menjadi bangunan bangunan tinggi yang menyebabkan suhu di Kota Malang semakin panas setiap tahunnya. Fenomena peningkatan suhu pada daerah sekitar pembangunan ini dikenal sebagai *urban heat island* (UHI).

Pada tahun 1997 suhu udara rata-rata Kota Malang sekitar 23,4 °C. Namun, akhir tahun 2006 meningkat menjadi 24,2 °C. Sementara suhu udara tertinggi selama musim kemarau terjadi pada bulan Oktober dan November tahun 2006 mencapai 33,5 °C, tahun 2007 maksimum 33 °C. Sedangkan 2008 melonjak drastis menjadi 34,0 °C. Data tersebut berasal dari rekaman pengukur temperatur udara yang ditempatkan di Universitas Brawijaya Malang (Tempo, 2009).

Universitas Islam Malang (UNISMA) merupakan salah satu penyumbang mahasiswa pendatang di kota Malang yaitu sekitar 10.000 mahasiswa dari 33 provinsi dan bahkan beberapa dari luar negeri. UNISMA merupakan salah satu dari 10 besar perguruan

tinggi unggulan pada wilayah 7 Indonesia yang mampu menyerap sekitar hingga rata-rata 2.500 mahasiswa per tahun. Unisma sendiri memiliki 10 fakultas dengan 20 prodi, 7 Program S2, dan 1 Program S3.

Objek studi merupakan Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang (UNISMA) terletak pada kawasan Dinoyo, kawasan berkembang pada kota Malang. Gedung pascasarjana UNISMA merupakan bangunan tinggi yang terdiri dari 7 lantai, bentuk bangunan persegi panjang dengan orientasi bangunan memanjang ke barat daya dan timur laut. Orientasi tersebut kurang sesuai pada bangunan tropis karena sisi terpanjang bangunan lebih banyak terpapar radiasi matahari langsung pada pagi dan sore hari. Material fasad pada gedung program pascasarjana UNISMA didominasi oleh *curtain wall* berupa kaca *clear glass*.

Pembangunan yang terus dilakukan pada kawasan Dinoyo telah menjadikan kawasan Dinoyo menjadi kawasan padat. Sekarang ini kawasan Dinoyo sudah dapat disebut sebagai kawasan dengan fenomena *urban heat island* (UHI), pada jam jam sibuk kemacetan yang terjadi pada koridor jalan pun turut menyumbang pengaruh terhadap kualitas termal lingkungan yaitu mengakibatkan suhu ruang luar bangunan yang semakin tinggi. Apalagi penggunaan material kaca sebagai sebagian besar pelingkup bangunan Gedung Pasca Sarjana UNISMA turut memperbesar radiasi matahari yang diterima selubung bangunan yang diteruskan ke ruang dalam sehingga ruang dalam bangunan semakin panas.

Seperti yang diketahui, salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal adalah fasad bangunan. Besarnya bukaan mempengaruhi banyaknya cahaya yang masuk ke dalam bangunan dan material bangunan yang digunakan menentukan besarnya panas yang diserap ke dalam bangunan sehingga berpengaruh terhadap temperatur ruang dan kenyamanan pengguna dalam ruangan. Penggunaan fasad kaca penuh pada gedung kuliah mengakibatkan perlunya pengkondisian udara pada Gedung Pasca Sarjana UNISMA untuk memberikan kenyamanan pada pengguna ruang. AC Central digunakan sebagai solusi permasalahan termal pada gedung kuliah, namun penggunaan AC Central memiliki kelemahan yaitu banyaknya energi yang terbuang pada saat jam efektif perkuliahan karena terdapat beberapa ruang kuliah yang tidak digunakan. Diperlukan pengoptimalan pendinginan pasif untuk membuat ruang kuliah nyaman tanpa menggunakan AC dengan cara modifikasi fasad bangunan.

Penelitian ini akan mengevaluasi tentang penggunaan fasad kaca terhadap temperatur ruang kuliah pada Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang (UNISMA). Dari objek ini akan dilakukan survei lapangan dan simulasi dari beberapa sampel ruangan yang mendapatkan paparan sinar matahari yang paling banyak. Dari perolehan data akan didapatkan pengaruh penggunaan fasad kaca terhadap temperatur ruang kuliah dan rekayasa untuk mengoptimalkan pendinginan pasif bangunan.

1.2 Identifikasi masalah

Dari penjabaran latar belakang diatas menunjukan bahwa temperatur efektif ruang dalam bangunan merupakan faktor penting dalam produktivitas pengguna ruangan. Masalah yang dapat diidentifikasi dari objek penelitian antara lain :

1. Orientasi bangunan gedung pascasarjana UNISMA memanjang barat daya-timur laut, kondisi ini kurang sesuai pada daerah beriklim tropis. Sebab sisi terpanjang bangunan akan terpapar sinar matahari langsung pada pagi dan sore hari.
2. Penggunaan fasad kaca sebagai sebagian besar pelingkup bangunan pada lingkungan padat dan iklim tropis.
3. Tingginya suhu ruang kuliah tanpa menggunakan AC central mengurangi produktivitas pengguna ruangan
4. Penggunaan penkondisian udara buatan pada saat jam efektif perkuliahan baik pada ruangan terpakai dan tidak terpakai.
5. Kebutuhan energi bangunan tinggi akibat penggunaan *Air Conditioner* (AC) berjenis C*assete* dengan penggunaan perlantai.

1.3 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat dirumuskan masalah yang akan angkat pada pembahasan ini adalah:

1. Bagaimana kondisi temperatur, kelembaban, dan kecepatan angin pada ruang kuliah Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang ?
2. Bagaimana cara meningkatkan kinerja temperatur ruangan pada ruang kuliah Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang pada jam efektif melalui rekayasa fasad agar temperatur mendekati standart SNI ?

1.4 Batasan masalah

Pada pembahasan objek ini ditentukan batasan - batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Objek yang diteliti merupakan ruang kuliah teori dengan 2 tipe ruangan dengan orientasi yang berbeda pada lantai 4 dan 5,
2. Metode penelitian berupa pengukuran lapangan dan simulasi terhadap ruang sampel yang berbatasan dengan fasad kaca,
3. Fokus penelitian adalah evaluasi temperatur ruang kuliah dengan berdasarkan SNI 03-6389 2001.
4. Elemen bangunan yang akan dimodifikasi untuk mencapai nilai standar temperatur optimal adalah fasad berupa, rasio dinding dan jendela, material dinding dan jendela, double skin fasad, dan ventilasi berupa jumlah, jenis, dan posisi ventilasi.
5. Tidak membahas sistem struktur dan perhitungan ekonomi bangunan.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ruang Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui kondisi temperatur, kelembaban, dan kecepatan angin ruang kuliah terhadap standar zona kenyamanan (SNI 03-6389 2001),
2. Meningkatkan kinerja temperatur udara ruang kuliah pada jam efektif melalui rekayasa fasad agar temperatur mendekati standart SNI ?

1.6 Manfaat

Manfaat penelitian yaitu menjadi sarana untuk konsep kenyamanan termal dengan rancangan yang berkaitan dengan bidang keilmuan arsitektur.

1. Bidang Akademik

   Manfaat penelitian ini bagi akademik yaitu membantu mempelajari kenyamanan termal dalam bidang arsitektur untuk memiliki standar kenyamanan termal dalam penerapannya pada ruang kuliah

2. Bidang Praktisi Masyarakat

   Manfaat bagi masyarakat yaitu dapat menambah wawasan dan informasi terkait aspek aspek yang berkaitan dengan kenyamanan termal ruangan.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan mengenai pendahuluan yang berisikan latar belakang mengenai dilakukannya penelitian, permasalahan, permasalahan yang mucul dari latar belakang, ruang lingkup penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, asumsi yang digunakan, sistematika pembahasan, serta bagan alur pikir dari penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas mengenai kajian pustaka terkait yang menjadi landasan teori – teori yang berkaitan tentang Termal, Kenyamanan Termal, Faktor faktor kenyamanan termal, serta kajian mengenai indeks kenyamanan termal dan material kaca sebagai pelingkup bangunan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan metode atau cara dalam membahas dan mengkaji penelitian. Dimulai dari kerangka pemikiran, konseptual, metode penelitian, pemilihan studi kasus, penentuan objek. Serta hal hal yang berkaitan dengan data , baik teknik pengambilan data, faktor faktor yang mempengaruhi penelitian, pemilihan sampel, varibel penelitian, langkah langkah penelitian, maupun proses penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Uraian mengenai hasil dan pembahasan keseluruhan penelitian terdapat pada bab ini. Menguraikan data dan analisis mengenai kondisi eksisting, objek penelitian, material, simulasi objek penelitian, dan pengoptimalisasian suhu dalam ruang dengan beberapa

alternatif. Pembahasan bab ini dibuat uraian maupun kesimpulan dalam bentuk grafis maupun tabel agar memudahkan proses pemahaman pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berisi kesimpulan dari analisis pengujian simulasi komputer dan permodelan rekayasa untuk kemudian dikemukakan temuan dari seluruh proses penelitian, sehingga memungkinkan untuk menghasilkan usulan yang dapat dikembangkan pada penelitian dan perancangan selanjutnya. Pada bab ini terdiri dari kesimpulan dan saran yang berhubungan dengan penelitian ini.

1.8 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan uraian pada latar belakang, disusun kerangka pemikiran yang menjelaskan tahapan proses perumusan permasalahan dan serta tujuan dan manfaat dari penelitian.

Latar Belakang

Malang sebagai kota pendidikan yang berkembang sehingga mengakibatkan pembangunan kawasan pendidikan, serta peningkatan suhu akibat hilangnya ruang terbuka hijau kawasan serta penggunaan pengkondisian udara buatan yang dapat mengakibatkan tingginya kebutuhaan energi.

↓

Identifikasi Masalah

Suhu optimal ruang dalam dibutuhkan dalam bangunan perkuliahan untuk kenyamanan pengguna ruangan. Penggunaan material bidang kaca pada fasad bangunan serta orientasi bangunan yang kurang diperhatikan memberikan dampak terhadap suhu ruang dalam bangunan. Hal ini mendasari perlunya kajian terhadap temperatur ruang kuliah gedung pascasarjana UNISMA.

↓

Rumusan Masalah

- Bagaimana kondisi temperatur, kelembaban, dan kecepatan angin pada ruang kuliah Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang ?
- Bagaimana cara mengoptimalkan temperatur ruangan pada ruang kuliah Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang pada jam efektif agar temperatur mendekati standart SNI ?

↓

Batasan Masalah

Objek studi yang dipilih yaitu Gedung Pascasarjana UNISMA. Penelitian ini terfokus pada pengaruh paparan sinar matahari pada fasad bangunan terhadap suhu ruang dalam bangunan dengan parameter temperature pada ruang kuliah. Pengamatan lapangan dan simulasi diperlukan sebagai data objek studi yang kemudian disandingkan dengan standar temperature efektif dan kenyamanan termal bangunan sesuai SNI. Apakah temperature ruangan sudah sesuai berdasarkan standar SNI yang berlaku

Tujuan

1. Mengetahui kondisi termal Gedung Pascasarjana UNISMA terhadap paparan sinar matahari.
2. Melakukan evaluasi standar suhu ruang optimal Gedung Pascasarjana UNISMA berdasarkan SNI.
3. Menurunkan temperatur udara ruang kuliah, serta meningkaatkan aliran udara pada jam efektif perkuliahan yaitu jam 08.00 hingga 16.00.

Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi terhadap civitas akademik sehingga mendapat desain fasad yang optimal untuk mencapai kenyamanan termal dalam ruang, sebagai tambahan wawasan terkait pengaruh fasad kaca sebagai selubung bangunan serta dapat menjadi referensi penilitian selanjutnya.

Diagram 1.1 Kerangka Pemikiran

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Gedung Perkuliahaan

Perguruan tinggi merupakan lembaga ilmiah yang mempunyai tugas menyelenggarakan pendidikan dan pengajaran diatas perguruan tingkat menengah yang berdasarkan kebudayaan kebangsaan Indonesia dan dengan cara ilmiah. Aktivitas belajar mengajar pada perguruan tinggi disebut perkuliahan. Sedangkan gedung kuliah merupakan bangunan sebagai sarana pembelajaran dan administrasi akademik pada tingkatan perguruan tinggi, terdiri dari berbagai macam ruang diantaranya ruang kuliah, ruang akademik, ruang dosen, perpustakaan dan ruang – ruang penunjang. Ruang kuliah merupakan ruang pembelajaran teori atau praktik ringan seperti multimedia yang dimiliki oleh perguruan tinggi yang pada umumnya memiliki kapasitas pengguna hingga 40 orang, dengan karakteristik individu yang berbeda. Kenyamanan termal dan kualitas udara dalam ruangan kelas yang baik dapat memberi pengaruh positif tidak hanya pada kesehatan para siswa di dalamnya tetapi juga dapat membantu meningkatkan konsentrasi dan kinerja belajar siswa. Ketidakpuasan secara termal seperti ruangan kelas yang terasa panas atau dingin dapat diasosiasikan ke dalam stress fisik (secara termal) dan dapat menyebabkan para siswa di dalamnya menjadi sakit atau kurang berkonsentrasi. Oleh karena itu, kenyamanan termal di dalam kelas penting untuk diperhatikan karena kepadatan siswa yang tinggi di dalam kelas dapat memberi pengaruh negatif terhadap kinerja belajar siswa (Foong, 2008).

2.2 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan salah satu unsur kenyamanan yang sangat penting, karena menyangkut kondisi suhu ruangan yang nyaman. Seperti diketahui, manusia merasakan panas atau dingin merupakan wujud dari sensor perasa pada kulit terhadap stimuli suhu di sekitarnya. Sensor perasa berperan menyampaikan informasi rangsangan kepada otak, dimana otak akan memberikan perintah kepada bagian-bagian tubuh tertentu agar melakukan antisipasi untuk mempertahankan suhu sekitar 37ºC. Tubuh manusia akan memberikan tanggapan terhadap kondisi yang terjadi di lingkungannya salah satunya adalah kondisi termal lingkungan, hal ini diperlukan organ tubuh agar dapat menjalankan fungsinya secara baik.

Tanggapan utama terhadap kondisi termal lingkungan adalah rasa panas dan dingin *(termal sensation)* dan ketidaknyamanan akibat kulit terasa basah *(sensible perspiration).* Pengertian kenyamanan termal sendiri menurut beberapa sumber antara lain

1. Kenyamanan termal didefinisikan sebagai suatu kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal (ISO 7730).
2. Kenyamanan termal adalah suatu kondisi dimana tercipta keseimbangan termal yang tetap antara manusia dan lingkungannya (B. Givoni, 1998).
3. Kenyamanan termal adalah batas-batas dari kondisi iklim yang dianggap nyaman dan dapat ditoleransi dalam bangunan yang berarti ketiadaan sensasi (panas atau dingin) ketidaknyamanan termal (B. Givoni, 1998).
4. Kenyamanan termal adalah kondisi seseorang merasa nyaman terhadap lingkungannya (Fanger, 1970).

Keempat definisi di atas mempunyai intisari yang sama dan saling terkait satu dengan yang lain. Tubuh akan merasa nyaman apabila temperatur tubuh stabil, yang dicapai dengan terjaganya keseimbangan antara temperatur tubuh dan lingkungannya, kondisi iklim dalam ruang yang berada pada batas-batas kenyamanan. Jadi kenyamanan termal adalah suatu kondisi dimana temperatur tubuh stabil pada batas yang nyaman yang berarti tubuh tidak merasakan gangguan yang disebabkan oleh faktor faktor termal yang dimungkinkan oleh adanya keseimbangan temperatur tubuh dan lingkungan dan faktor iklim yang berada pada zona nyaman (*comfort zone*).

Kenyamanan termal dalam ruang (indoor) berbeda dengan kenyamanan termal di luar ruang (outdoor). Kenyamanan ruang termal indoor merupakan dampak yang ditimbulkan oleh pemilihan jenis material bangunan, bentuk dan orientasi bangunan itu sendiri, bukaan-bukaan luasan bangunan, dan lain-lain. Sedangkan kenyamanan termal outdoor timbul dari pengaruh konfigurasi massa bangunan terhadap temperatur dalam sebuah kawasan, akhirnya didapat kenyamanan termal lingkungan. (Lippsmeier, 1994)

2.2.1 Faktor yang dapat mempengaruhi Kondisi Termal

1. Temperatur Udara

Faktor utama yang mempengaruhi temperatur udara adalah proses pemanasan dan pendinginan permukaaan benda/bumi. Panas/dingin yang terjadi di udara adalah akibat

persinggungan udara dengan permukaan yang panas/dingin. Selanjutnya lapisan udara tersebut akan memanaskan/mendinginkan lapisan di atasnya.

Pada pengukuran kenyamanan termal biasanya diukur dengan ketinggian 1.2 m hingga 1.8 meter dari dasar lantai sebagai *dry bulb* atau temperatur udara kering. Dapat diukur dengan instrumen termometer *wet and dry bulb thermometer*. Temperatur udara lingkungan menentukan pertukaran panas yang terjadi antara permukaan kulit tubuh dengan udara sekitarnya. Bila temperatur udara lebih 12 rendah dari temperatur tubuh maka tubuh akan melepaskan panas sedangkan bila temperatur udara lebih tinggi makan tubuh akan menerima panas. Efek dari temperatur udara langsung dapat dirasakan tubuh, penaikan/penurunan temperatur selalu menyebabkan perubahan sensasi termal.

2. Kelembaban Udara

Kelembaban udara adalah kandungan uap air di udara. Sumber dari uap air tersebut antara lain adalah penguapan air laut, permukaan yang basah, repirasi/pernafasan dari tumbuhan dan juga dari tubuh manusia. Tingkat kelembaban udara akan berbeda apabila jumlah pengguna di suatu tempat yang sama berbeda. Kelembaban udara juga dipengaruhi angin. Semakin sering dan kuat angin, kelembaban udara akan semakin menurun, karena angin membawa dan mendistribusikan uap air yang ada di udara.

Kelembaban udara yang terlihat pada nilai *relative humidity* (RH) menentukan nilai evaporasi yang dimungkinkan oleh lingkungan dan adaptasi yang dilakukan tubuh terhadap perubahan nilai evaporasi tersebut. Nilai RH 100% berarti udara sudah dalam keadaan jenuh, tidak ada lagi uap air yang mampu ditampung oleh udara. Efek kelembaban udara terhadap kenyamanan termal tergantung kombinasinya dengan faktor-faktor lain yaitu temperatur, kecepatan angin, pakaian dan tingkat metabolisme tubuh. *Relative humidity* (RH) dapat diukur dengan menggunakan beberapa instrument yaitu *hygrometer*, alat ukur kadar kelembaban udara, sedangkan *psycrometer* adalah sebuah type hygrometer berdasarkan ukuran dari *Dry-bulb temperature* dan *Wet-bulb temperature*. Berdasarkan SNI 03-6572-2001, nilai RH yang dianjurkan untuk suatu ruangan antara 55% ± 10%. J.W.Weller dan Youle (1981) juga menyatakan bahwa kelembaban udara yang dirasa nyaman yaitu pada tingkat relatif humidity (RH) 40-60%. Sedangkan menurut Koenigsberger *et al*., 2013, menyebutkan bahwa tingkat kelembaban udara yang paling efektif sebagai medium pendinginan alami pada iklim tropis adalah sebesar 35%-60% .

3. Kecepatan Angin

Angin merupakan udara bergerak yang dipengaruhi oleh perbedaan tekanan dan suhu. Kecepatan angin mempengaruhi tingkat pelepasan panas melalui konveksi dan evaporasi (Lechner, 2015). Kecepatan angin juga dapat mengurangi koefisien pertukaran panas pada permukaan kulit dan pakaian serta menciptakan efek pendinginan secara psikologis (Szokolay, 2014).

Efek kecepatan angin terhadap kenyamanan termal pada manusia bergantung pada temperatur dan kelembaban udara. Pada temperatur 37°C penaikan kecepatan angin sebenarnya dapat menaikkan *thermal sensation* yang disebabkan panas, tetapi dapat menurunkan kadar kebasahan kulit. Kecepatan angin yang dapat menimbulkan rasa segar berkisar antara 0,15-0,3 m/s (J.W.Weller dan Youle, 1981). Kecepatan angin dapat diukur dengan beberapa tipe anemometer seperti *hotwire anemometer* untuk pengukuran dalam ruangan dan *vane-prob anemometer* yaitu alat ukur kecepatan angin dengan baling baling, dimana baling baling harus menghadap arah datang angin. Kecepatan angin biasanya dicatat pada area terbuka dengan ketinggian sekitar 1.2 meter, dan ditetapkan dengan ukuran *meter per second (m/s).*

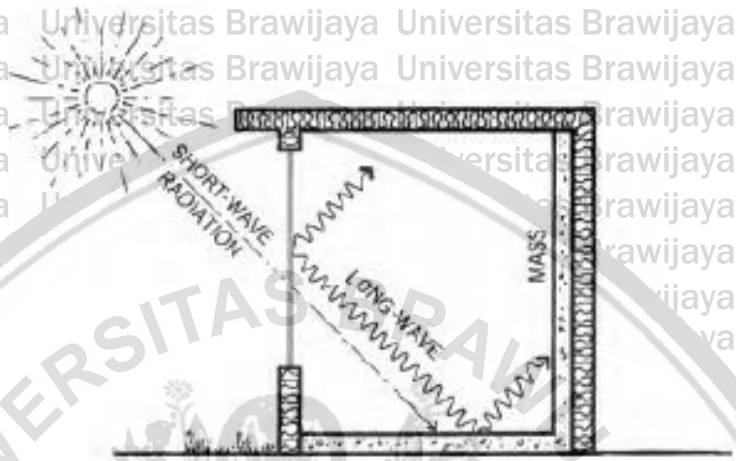
Menurut SNI 03-6572-2001 mengenai tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung, untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala sebaiknya lebih kecil dari 0,15 m/detik dan tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik. Kecepatan udara lebih besar dari 0,25 m/detik masih dapat diterima tergantung dari temperatur udara kering.

4. Radiasi Matahari

Radiasi matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Spektrum radiasi matahari sendiri terdiri dari dua jenis yaitu, sinar bergelombang pendek diantaranya, sinar x, sinar gamma, sinar ultra violet, dan sinar bergelombang panjang seperti sinar infra merah. Radiasi matahari memancarkan sinar ultra violet (6%), cahaya tampak (48%) dan sinar infra merah yang memberikan efek panas sangat besar (46%).

Radiasi matahari ini merupakan faktor utama pada perancangan dengan iklim tropis karena radiasi matahari berlebih akan mempengaruhi pertambahan panas bangunan

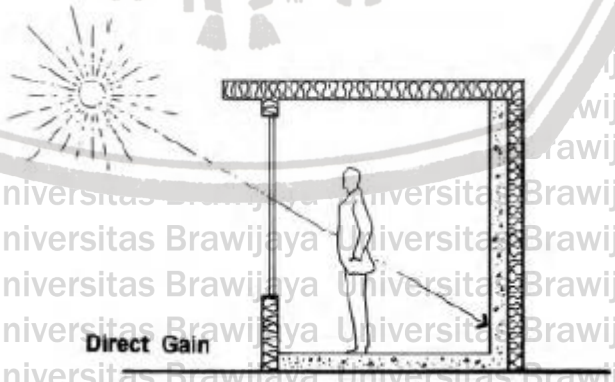
(Szokolay, 2006). Pertambahan panas bangunan dapat terjadi dari berbagai sumber, akan tetapi radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan melalui selubung bangunan menjadi penyumbang yang terbesar. Sehingga untuk menghasilkan desain yang optimal dalam mereduksi radiasi matahari ini, harus mengetahui parameter-parameter desain yang mempengaruhinya.



Gambar 2.1 Proses masuk panas pada bangunan ketika siang hari

Sumber : Lechner, 2015

Kuantitas total panas matahari yang mengenai permukaan terdiri dari radiasi langsung *(direct radiation)* yang tidak terbayangi dan radiasi tidak langsung *(diffuse radiation)* yang berasal dari pembiasan langit serta pemantulan permukaan bangunan dan tanah sekitar (Bradshaw, 2006).



Gambar 2. 2 Jenis radiasi matahari

Sumber : Lechner, 2015

5. Special Characteristic

Menurut Szokolay, dalam banyak kasus iklim juga mempengaruhi kenyamanan termal dalam berbagai angka indikatif seperti beberapa hari pada suhu tertentu terlampaui (*number of days a certain temperature is exceeded*), jumlah hari hari beku, terjadinya kabut, frekuensi badai salju maupun petir, maupun intensitas awan pada saat pengukuran (*cloud cover*).

Tabel 2. 1 Tabel pengaruh intensitas awan terhadap radiasi

Intensitas Awan (Cloud Cover)	**Radiasi terjadi** (Outgoing Radiation)
0	100%
1	98%
2	95%
3	90%
4	85%
5	79%
6	73%
7	64%
8	52%
9	32%
10	15%

Sumber : Szokolay, 2006

2.2.2 Elemen Bangunan yang mempengaruhi Kenyamanan Termal

Kondisi termal dalam ruang dipengaruhi oleh faktor eksternal dan intrenal bangunan. Maka untuk mengontrol faktor-faktor iklim agar kondisi termal ruang berada dalam zona nyaman, perlu diketahui elemen bangunan yang mempengaruhi kenyamanan termal. Adapun faktor-faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan termal ruangan dari segi arsitektural (Latifah, N.L. *et al*, 2013), yakni :

1. Desain Bangunan

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

2. Material

Akibat paparan sinar matahari dan kegiatan di dalamnya, bangunan menerima dan melepas panas yang akan berpengaruh terhadap kondisi ruang tersebut. Dalam kaitannya dengan kenyamanan termal bangunan kondisi ini akan mempengaruhi secara langsung temperature ruang dalam bangunan. Secara timbal balik bangunan menerima panas lingkungan serta aktivitas didalamnya serta melepas panas yang tersimpan pada material pelingkup ruangan. Pada siang hari terjadi proses pemanasan dan pada malam hari terjadi pelepasan panas selubung bangunan (pendinginan), proses pendinginan secara berantai pada bangunan satu lantai tetap efektif tetapi tidak untuk bangunan berlantai banyak. Massa udara menghambat radiasi dan konduksi digantikan dengan konveksi, kondisi ini disebut dengan efek termos (Surjamanto,2000).

Material bangunan menjadi media perantara antara temperatur luar ruang dan radiasi matahari dengan temperatur dalam ruang. Pemilihan material bangunan yang akan digunakan dipengaruhi pertimbangan iklim. Faktor–faktor yang perlu diperhatikan yaitu karateristik dan ketebalan material dan warna permukaan luar dari material. Pada bagian dalam material terdapat dua properti termal yang terlibat, yakni *resistance-insulation* dan *capacity-insulation.*

Resistance-insulation terkait dengan *U-value*, semakin kecil nilai *U-value* suatu material maka akan semakin kecil aliran panas yang bisa masuk ke dalam bangunan. *U-value* sendiri dipengaruhi oleh nilai *thermal conductivity*, tebal material, resistan permukaan luar dan resistan permukaan dalam. Sedangkan *capacity-insulation* mempengaruhi waktu tunda aliran panas atau dikenal dengan istilah *Time lag* atau *Thermal Lag*. Nilai *Time lag* dipengaruhi oleh *thermal conductivity*, tebal material, resistan permukaan luar, *specific heat* dan *density* suatu material.

Dalam bukunya *Design With Climate*, Victor Olgyay merekomendasikan kombinasi *resistance-insulation* dan *capacity-insulation* pada bangunan untuk setiap tipe iklim.

Tabel 2. 2 Rekomendasi kombinasi resistance dan capacity-insulation

Tipe iklim	*Resistance-insulation*	*Capacity-insulation*
Tropis (0º -15 º L)	Low	Dinding ringan
Kepulauan Tropis (10 º -20 º L)	Low	Dinding ringan
Hot Humid (15 º -25 º L)	Low	No lag
Hot Arid (15 º -30 º L)	High	Dinding tebal
Temperate (35 º – 42 º L)	Low (timur)	Dinding tebal di sisi barat
Cool (45 º – 50 º L)	High (barat)	Dinding tebal di sisi
Cold (Di atas 50 º L)	Low (outside)	Dinding tebal

Material dinding tidak tembus cahaya mempunyai waktu tunda pemindahan panas ke dalam bangunan yang disebut dengan istilah *time lag*. Saat energi panas jatuh pada permukaan dinding, partikel-partikel pada lapisan pertama akan menyerap sejumlah panas sebelum panas diteruskan kepada lapisan berikutnya. Ini akan menyebabkan efek penundaan (*time lag*), sehingga temperatur puncak dari lingkungan baru dirasakan di dalam ruang beberapa waktu kemudian.

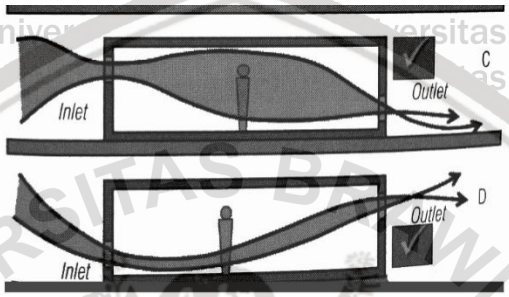
Menurut Egan (1975), material bangunan dengan massa yang masif dan berat mempunyai *time lag* yang besar. Sebagai akibatnya akan tercipta kondisi yang lebih stabil. Beberapa contoh pengaruh tebal material terhadap *time lag* dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 3 Nilai Time Lag dan U-value material pelingkup

Material	Ketebalan	Nilai U-value	Nilai Timelag
Batu Bata (umum)	4”	0.61	2.5 jam
	8”	0.41	5.5 jam
	12”	0.31	8.5 jam
Batako	6”	2.55	2.2 jam
Bata Ringan	4”	0.226	3.5 jam
Beton	4”	0.42	1.1 jam
	6”	0.31	2.5 jam
Kayu	2”	0.3	1 jam

3. Desain Bukaan

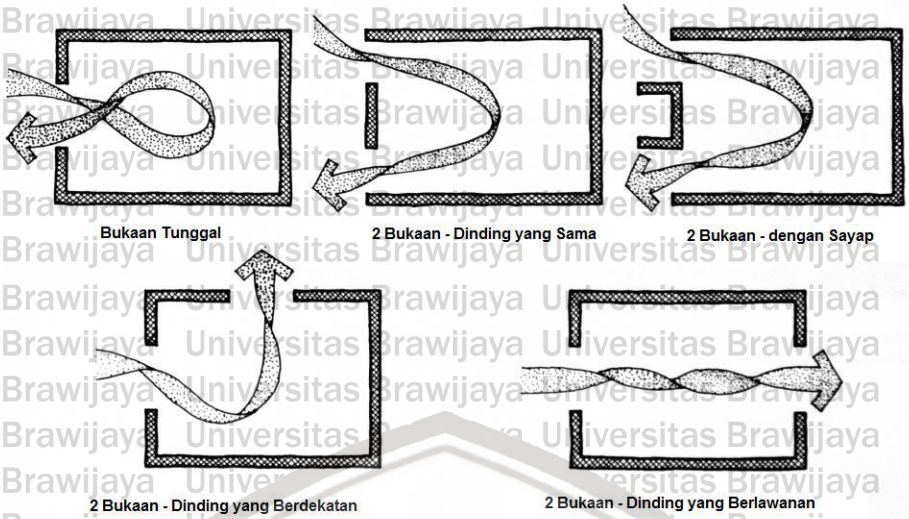
Ventilasi merupakan proses untuk mencatu udara segar ke dalam bangunan gedung dalam jumlah yang sesuai kebutuhan (SNI 03-6572-2001). Aliran udara dari lingkungan luar ke dalam bangunan akan masuk, jika bukaan berada pada titik yang memiliki perbedaan tekanan udara. Bukaan berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam ruangan dan mengurangi tingkat kelembaban di dalam ruangan. Bukaan yang baik harus terjadi cross ventilation, sehingga udara dapat masuk dan keluar ruangan (Gambar 2.5).



Gambar 2. 3 Posisi ketinggian bukaan inlet dan outlet terhadap aliran udara

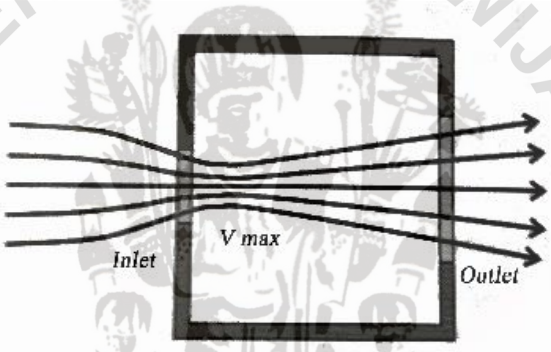
Sumber : Rahmawati, et al., 2015

Kenyamanan termal dalam ruang dapat dikendalikan dengan meningkatkan fungsi dari ventilasi. Agar performa sistem ventilasi alamiah pada bangunan mempunyai kualitas yang baik maka, diperlukan suatu desain lubang ventilasi tertentu. Penerapan penghawaan ruang bangunan disesuaikan dengan prinsip kenyamanan. Prinsip ini diterapkan melalui presentase daerah jendela aktif sebesar ±20% dari area lantai. Presentase tersebut disesuaikan dengan bukaan yang berada di dinding (Lechner, 2007). Inlet dapat mempengaruhi kecepatan dan pola aliran udara di dalam ruangan, sedangkan pengaruh outlet hanya pengaruh kecil saja, Semakin besar perbandingan luas outlet terhadap inlet, maka kecepatan angin di dalam ruangan lebih tinggi sehingga ruangan lebih sejuk (Latifah *et al*, 2013). Perletakan dan orientasi inlet berada pada zona bertekanan positif, sedangkan outlet berada pada zona bertekanan negative. Tipe bukaan yang berbeda akan memberikan sudut pengarah yang berbeda pula dalam menentukan arah gerak udara dalam ruang (Gambar 2.6). Pada jendela mati (fixed) tidak mengalirkan udara sama sekali kedalam ruangan.



Gambar 2. 4 Posisi inlet dan outlet pada ruang

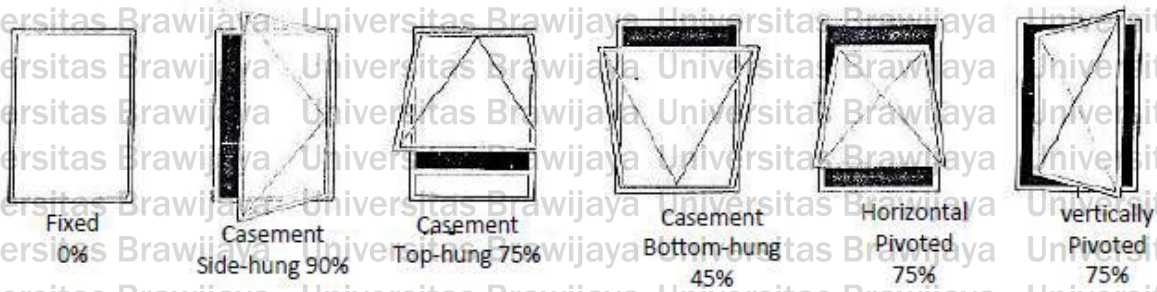
Sumber: Lippsmeier, 1980



Gambar 2. 5 Perbedaan kecepatan aliran udara terhadap rasio bukaan

Sumber: Rahmawati, et al., 2015

Jendela hidup (casement side-hung) mengalirkan paling banyak aliran udara kedalam bangunan yaitu 90% dari total hembusan angin. Jendela hidup putar (horizontal pivoted) mengalirkan udara sebanyak 75%. Jendela jatuh (hopper) mengalirkan udara sebanyak 45%. Jendela gantung (awning) mengalirkan udara sebanyak 75%. Jendela geser vertikal (single hung) mengalirkan udara 45%. Jendela nako (Jalousie) mengalirkan udara 90%. Jendela geser horizontal mengalirkan udara 40% (Becket *et al*, 1974).



Gambar 2. 6 Tipe Bukaan

Sumber: Becket *et al* (1974)

4. Pengaruh Lingkungan

Perletakan vegetasi di area sekitar bangunan dapat mengurangi radiasi panas matahari ke bangunan baik secara langsung maupun tidak langsung. Menurut White R.F (dalam Egan, 1975 dalam Latifah, N.L., Harry Perdana, Agung Prasetya, dan Oswald P.M. Siahaan, 2013), semakin jauh jarak vegetasi maupun objek dari suatu bangunan, maka pergerakan udara di dalam bangunan yang tercipta akan menjadi lebih baik.

Gambar 2. 7 Jarak pohon terhadap bangunan dan pengaruhnya terhadap ventilasi alami

Sumber: Talarosha, 2005

5. Pelindung Radiasi Matahari

Peneduh eksternal lebih efektif dalam mengurangi perolehan panas matahari dibandingkan dengan peneduh internal karena dapat menghalangi radiasi matahari sebelum mencapai selubung bangunan. Peneduh eksternal perlu dirancang secara hati-hati agar tidak hanya untuk mengurangi beban pendinginan tetapi juga untuk menciptakan arsitektur yang estetis, dengan tetap memperhitungkan kinerja pencahayaan alami. Apabila orientasi bangunan harus Timur Barat, maka jendela-jendela yang berada di sisi ini harus dilindungi dari radiasi panas dan dari efek silau yang muncul pada saat sudut matahari rendah yang dapat mengganggu aktivitas di dalam ruangan. Berikut ini adalah elemen arsitektur yang

sering digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari (*sun shading devices*) (Gambar 2.7).

Gambar 2. 8 Jenis shading devices sebagai pelindung terhadap radiasi matahari

Sumber: Talarosha, 2005

Tabel 2. 4 Shading Coefficient pada Elemen Peneduh

No.	Elemen Pelindung	*Shading Coefficient*
	Elemen arsitektur (eksternal):	
1	*Egg-Crate*	0,10
2	Panel atau Awning (warna muda)	0,15
3	*Horizontal Louver Overhang*	0,20
4	*Horizontal Louver Screen*	0,60 – 0,10
5	*Cantilever*	0,25
6	*Vertical Louver* (permanen)	0,30
7	*Vertical Louver* (*moevable*)	0,15-0,10

Sumber: Talarosha, 2005

2.2.3 Indeks Kenyamanan Termal

Salah satu persoalan yang perlu dipecahkan dalam ilmu kenyamanan termal adalah bagaimana ’kenyamanan’ dapat diukur secara kuantitatif. Bagaimana menyatakan kaitan antara sensasi termal manusia terhadap stimuli termal dari lingkungan sekitarnya. Bagaimana memperlihatkan atau membedakan bahwa ruang A lebih nyaman secara termal dibanding ruang B misalnya. Ada dua persoalan penting yang perlu digaris bawahi: pertama, bagaimana ‘menyatakan’ sensasi yang dirasakan oleh manusia terhadap lingkungan termalnya melalui ukuran atau satuan yang dapat dinyatakan secara kuantitatif, kedua, bagaimana mengukur variabel-variabel yang dapat mewakili sensasi termal untuk kemudian dapat digabungkan menjadi satu nilai yang dapat mewakili secara menyeluruh kondisi lingkungan termal (atau ruang) tertentu.

Dalam kondisi iklim tropis lembab, kenyamanan yang lebih diutamakan adalah kenyamanan termal dalam bangunan. Hal ini disebabkan tingkat kelembaban yang tinggi akan mengakibatkan kondisi dalam ruangan menjadi tidak nyaman akibat dari penguapan sedikit dan gerak udara yang kurang. Suhu inti manusia adalah ± 37^{o}C, pada bagian permukaan suhu bekisar antara 30-35^{o}C. Untuk mengukur kenyamanan termal pada manusia diperlukan sebuah indeks kenyamanan termal. Secara umum temperatur udara kering, kelembaban udara, kecepatan angin, radiasi matahari menjadi faktor kenyamanan termal.

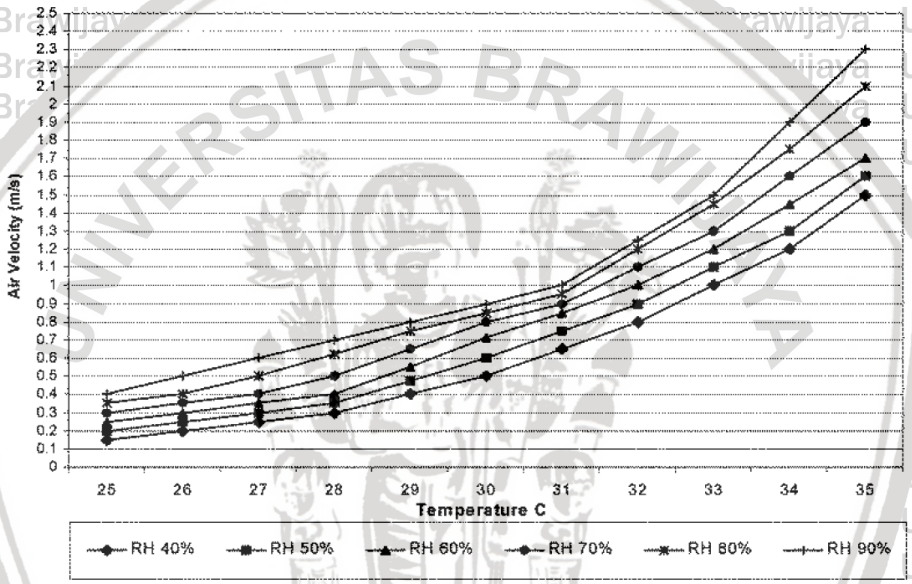
Menurut SNI 03-6572-2001, kenyamanan yaitu hasil dari proses mengolah udara secara serempak dengan mengendalikan; temperatur, kelembaban nisbi, kebersihan dan distribusinya untuk memperoleh kenyamanan penghuni dalam ruang yang dikondisikan. Dan zona kenyamanan termal untuk orang Indonesia untuk perancangan umumnya diambil: 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Temperatur udara kering (*dry-bulb temperature / DBT*), kelembaban udara relatif (*relative humidity / rH*), dan kecepatan udara menjadi tiga faktor utama dalam indeks kenyamanan termal.

1. Temperatur Udara Kering.
   a. Temperatur udara kering sangat besar pengaruhnya terhadap besar kecilnya kalor yang dilepas melalui penguapan (evaporasi) dan melalui konveksi.
   b. Daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi sejuk nyaman, nyaman optimal, hangat nyaman.
2. Kelembaban Udara Relatif.
   a. Kelembaban udara relatif dalam ruangan adalah perbandingan antara jumlah uap air yang dikandung oleh udara tersebut dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur udara ruangan tersebut.
   b. Untuk daerah tropis, kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara 40% ~ 50%, tetapi untuk ruangan yang jumlah orangnya padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif masih diperbolehkan berkisar antara 55% ~ 60%.
3. Pergerakan Udara (Kecepatan Udara).
   a. Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik dan sebaiknya lebih kecil dari 0,15 m/detik.
   b. Kecepatan udara ini dapat lebih besar dari 0,25 m/detik tergantung dari temperatur udara kering rancangan.

Tabel 2. 5 Kecepatan udara dan kesejukan

Kecepatan udara (m/s)	0.1	0.2	0.25	0.3	0.35
Temperatur udara kering (ºC)	25	26.8	26.9	27.1	27.2

Dalam hubungannya dengan temperatur udara kering, kecepatan angin juga memberikan pengaruh terhadap kenyamanan melalui penyejukan terhadap permukaan kulit manusia yang disebut sebagai kenyamanan ventilasi. Nugroho et al. (2007) meneliti mengenai digram untuk menentukan besarnya kebutuhan kecepatan angin dalam mencapai kenyamanan ventilasi. Kebutuhan kecepatan angin dapat ditentukan dengan mengetahui kondisi suhu dan kelembaban pada ruang tersebut



Gambar 2. 9 Kebutuhan kecepatan angin untuk kenyamanan ventilasi

Sumber : Nugroho *et al.*, 2007

Pergerakan angin dapat menimbulkan penguapan pada permukaan kulit tersebut, sehingga terjadi penurunan suhu pada permukaan kulit. Perbedaan kecepatan angin memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kenyamanan termal termasuk efek penyegarannya. Berikut ini merupakan pengaruh yang diberikan oleh kecepatan angin (Frick & Mulyani, 2006).

Tabel 2. 6 Pengaruh angin terhadap kenyamanan pengguna

Kecepatan angin bergerak	Pengaruh atas kenyamanan	Efek penyegaran (pada suhu 30ºC)
< 0.25 m/s	Tidak dapat dirasakan	0 ºC
0.25 – 0.5 m/s	Paling nyaman	0.5 – 0.7 ºC
0.5 – 1 m/s	Masih nyaman, namun gerakan udara dapat dirasakan	1 – 1.2 ºC
1 – 1.5 m/s	Kecepatan maksimal	1.7 – 2.2 ºC
1.5 – 2 m/s	Kurang nyaman, berangin	2.0 – 3.3 ºC
> 2 m/s	Kesehatan penghuni terpengaruh oleh kec. angin yang tinggi	2.3 – 4.2 ºC

Sumber : Frick, 2008

2.3 Tinjauan Fasad dan Selubung Bangunan

Fasad adalah istilah arsitektur yang berarti tampak depan bangunan yang umumnya menghadap ke arah jalan lingkungan. Fasad merupakan wajah yang mencerminkan citra dan ekspresi dari seluruh bagian bangunan, bahkan bisa menjadi jiwa bangunan dengan mencermati desain fasad dari waktu ke waktu, dapat dipelajari kondisi sosial budaya, kehidupan spiritual, bahkan keadaan ekonomi dan politik yang berlaku pada saat itu.

Fasad sebagai bagian terluar dari arsitektur bangunan, tampak eksterior akan menjadi bagian terdahulu yang paling kritis serta rentan terhadap perubahan cuaca yang ekstrem dan cepat. Ancaman terbesar yang dihadapi oleh bangunan yang berada di iklim tropis adalah panas matahari yang bersinar sepanjang tahun, kelembaban udara yang tinggi, terpaan air hujan. Selubung bangunan merupakan elemen bangunan yang menyelubungi bangunan gedung yang meliputi elemen dinding dan atap transparan atau tidak transparan dimana sebagian besar energi termal berpindah melalui elemen tersebut (Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 38 Tahun 2012). Selubung bangunan (building envelope) berperan penting dalam menangapi masalah iklim dan penghematan energi seperti radiasi matahari, hujan, kecepatan angin, tingginya kelembaban serta pemanfatan potensi alam berupa cahaya matahari sebagai penerangan alami melalui dinding, maupun atap, serta memilih material yang memiliki perambatan relatif kecil (Sukawi, 2010).

Kemampuan selubung bangunan untuk menjaga kondisi nyaman di dalam ruang pada bangunan yang dikondisikan secara aktif akan mempengaruhi energi untuk keperluan operasional bangunan (Givoni, 1998). Selubung bangunan dengan luasan kaca yang sangat besar berpengaruh pada pemanfaatan cahaya alami yang akan mengurangi kebutuhan energi

untuk pencahayaan buatan, dan berpengaruh pada perolehan panas bangunan yang di iklim tropis lembab akan meningkatkan besar beban pendinginan dan akhirnya meningkatan energi untuk pendinginan.

2.4 Tinjauan Kaca

Kaca adalah suatu bahan tembus cahaya (transparan) sebagai hasil pengolahan beberapa bahan dasar, seperti pasir kuarsa, soda abu, dolomite, dan lain-lain yang digunakan untuk berbagai keperluan bangunan terutama untuk pintu dan jendela dan *building envelope*. Kaca memiliki kekurangan terkait dengan suhu bangunan, sifat kaca yang tembus pandang mampu meneruskan sinar matahari masuk sehingga mempengaruhi suhu dalam bangunan. Namun, kaca juga memungkinkan pandangan lebih luas dan tidak terbatas. Ini bisa menimbulkan kesan terbuka dan bebas. Karena kaca merupakan material bangunan yang memungkinkan kita melihat ada apa dibaliknya, sehingga mata dapat melihat lebih jauh, meskipun secara ruang terbatasi oleh kaca tersebut.

Sesuai dengan kualitas dan ketebalannya tersedia berbagai jenis kaca yang dirancang khusus untuk mengurangi kesilauan atau transmisi panas yang menembus bahan tersebut. Jenis jenis kaca yang biasa dipakai sebagai penutup bangunan antara lain kaca bening, kaca berwarna, serta kaca reflektif.

Tabel 2. 7 Nilai u-value, shading coefficient, dan SGHC berbagai tipe kaca

Kaca Tunggal (4mm)	U-value	Tranmisi Visual (VT)	Shading Coefficient	SGHC
Bening	4.94	89	0.95	0.82
Berwarna	5.18	55	0.51-0.57	0.44-0.49
Reflektif	5.18	42-48	0.42-0.53	0.36-0.46
Rendah	4.54	35-48	0.40-0.69	0.34-0.59

Sumber : Panduan pengguna bangunan gedung hijau Jakarta, 2012

2.4.1 Jenis Kaca penutup Bangunan

1. Kaca Bening *(Clear Float Glass)*

Kaca ini juga sering disebut dengan kaca polos atau dalam istilah teknisnya adalah ***float glass***. Material ini tidak berwarna, memiliki permukaan yang sangat bersih, rata dan bebas distorsi.Karena sifat kacanya yang tidak berwarna, jenis kaca ini memberikan tingkat transmisi yang tinggi (lebih dari 90%) serta memberikan bayangan yang sempurna.

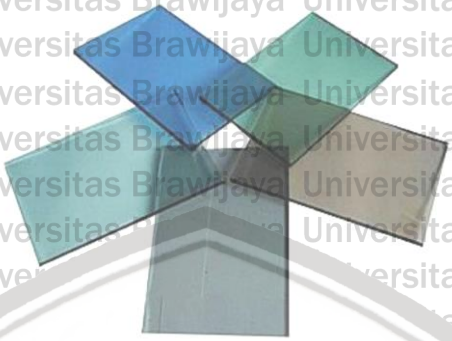
Gambar 2. 10 Kaca Bening (Clear Float Glass)

Kaca ini banyak digunakan untuk eksterior maupun interior bangunan, baik rumah tinggal maupun gedung bertingkat umum dipakai mulai dari 5mm, 6mm, atau 8mm. Pemilihan ketebalan kaca disesuaikan dengan. Namun kaca ini tidak direkomendasikan untuk ektserior bangunan bertingkat karena kemampuan menahan panas matahari yang rendah. Ketebalan kaca ini bervariasi, yang bentang kaca yang akan dipasang. Untuk rumah tinggal dan interior gedung, biasanya digunakan kaca tebal 5mm, 6mm atau 8mm tergantung bentangnya.

2. Kaca Berwarna (*Tinted Glass*)

Di kalangan masyarakat, kaca ini biasa disebut dengan kaca *rayban*, untuk kaca warna hitam. Kaca berwarna mampu menyerap 55% panas matahari *(Heat Absorbing*

Glass), sehingga akan mengurangi beban pendingin ruangan dan memberikan rasa nyaman pada penghuni bangunan. Dengan warna kaca tersebut, maka sifat tembus pandang kaca menjadi rendah, sehingga memberikan kebebasan privasi bagi penghuni bangunan.



Gambar 2. 11 Kaca Berwarna (Tinted Glass / Rayban)

Warna yang tersedia pada kaca panasap adalah blue green, dark blue, euro grey, dark grey, bronze dan green. Karena warna yang terkandung pada kaca, maka semakin tebal kaca, akan warnanya akan semakin gelap dan tingkat penyerapan panas matahari akan semakin tinggi. Kaca jenis ini dapat digunakan baik untuk eksterior maupun interior bangunan. Namun dalam penerapannya, jenis kaca ini lebih banyak dipakai pada eksterior bangunan, baik untuk pintu dan jendela, maupun pada curtain wall. Untuk pintu da jendela, biasa digunakan tebal kaca 6mm. Sedangkan pada curtain wall, digunakan tebal kaca 8mm atau 10mm.

3. Kaca Reflektif (*Reflective Glass*)

Gambar 2.7 Kaca Reflektif (reflective glass)

Kaca reflektif adalah jenis kaca yang mampu memantulkan cahaya dan mereduksi sifat tembus pandang dari sisi luar, sehingga sering pula disebut dengan kaca one way. Dalam pembuatannya, kaca ini dilapisi dengan pelapis transparan tipis dari oksida logam (sebagai lapisan pemantul) melalui proses pyrolysis. Lapisan kaca refletif ini bersifat memantulkan cahaya dan panas, serta mampu memberikan penampilan yang mewah, sekaligus menurunkan beban energi pengkodisian udara. Kaca refleksi digolongkan menjadi 2 bagian yaitu:

a. Kaca Stopsol

Gambar 2. 12 Kaca Stopsol

Kaca Stopsol memberikan perlindungan yang baik dari panas matahari dengan cara memantulkan kembali panas sehingga dapat mengurangi beban pendingin ruangan. Kaca stopsol mempunyai ketahanan yang kuat terhadap polusi karena lapisan reflektif yang digunakan pada saat pembuatan kaca.

b. Kaca One Way

Gambar 2. 13 Kaca One Way

Sifatnya tembus pandang dari satu arah dari dalam kita bisa memandang semua pemandangan yang ada di luar, namun orang luar tidak akan mungkin bisa melihat kedalam, kecuali di waktu malam hari dimana cahaya dalam ruang lebih terang dari luar.

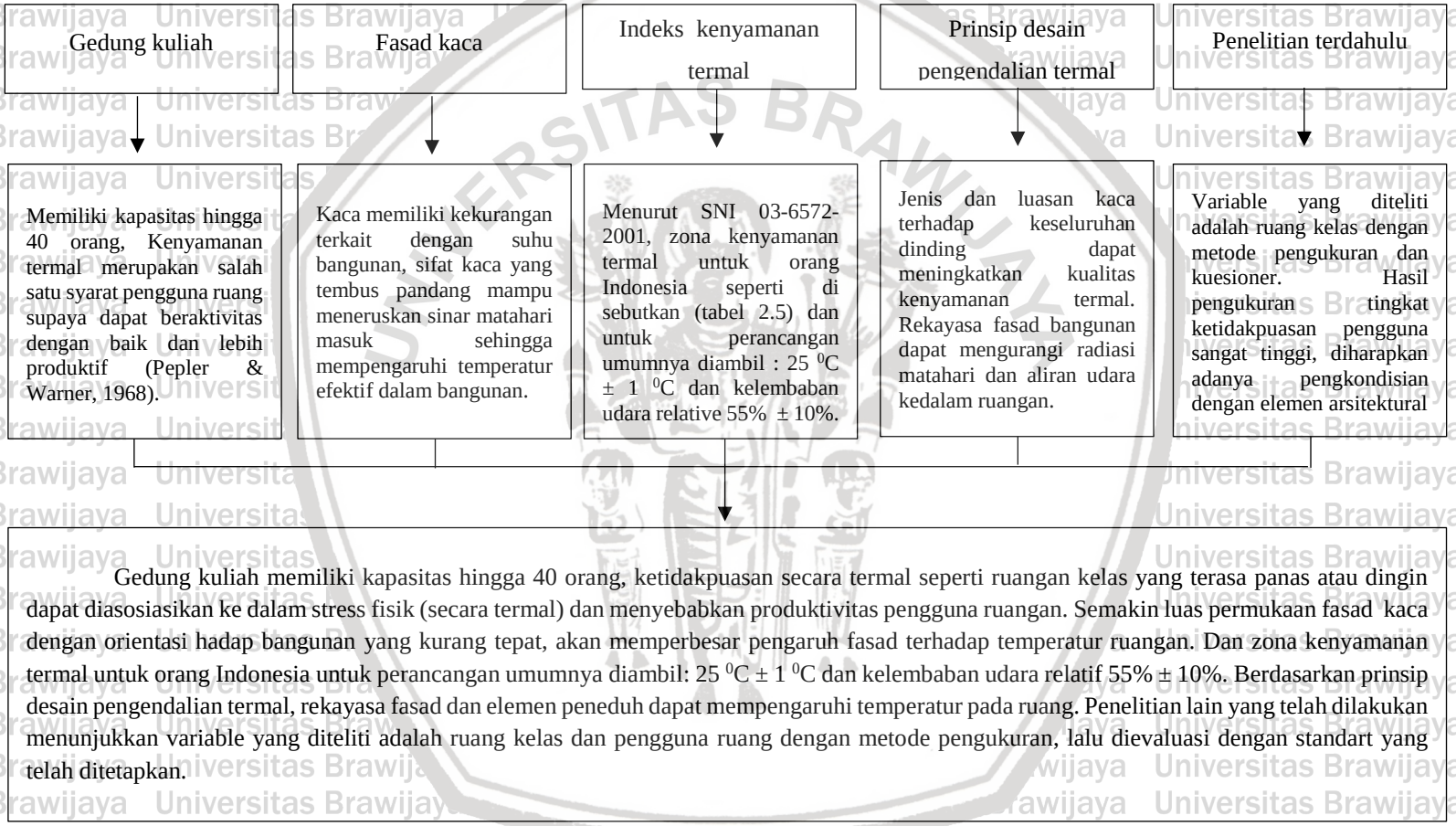
2.6 Studi Tinjauan Penelitian Terdahulu

No.	Judul Jurnal	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi
1.	Pengaruh Material Pelapis Fasade pada bangunan terhadap nilai OTTV.	Dhyan Seminar Asih, 2012	Untuk mengetahui material pelapis yang memiliki nilai OTTV yang baik, sedang, rendah sehingga ditemukan pengaruh luasan dinding tembus cahaya dengan luasan dinding opaque terhadap nilai OTTV.	Metode penelitian dilakukan dengan metode testing out dengan pendekatan kuantitatif. Metode dilakukan dengan melakukan simulasi dengan software OTTV V2.01 dan Ecotect 2011.	Semakin besar RASIO (Wall Window Rasio) semakin menambah nilai OTTV, semakin besar bukaan semakin besar penggunaan energi. Semakin Tebal material semakin kecil nilai OTTV.	Tinjauan serta beberapa variable yang identic namun dengan metodologi penelitian yang berberda. Dari jurnal tersebut dapat memberikan alternatif penggunaan material pada penelitian dan pengetahuan pada software ecotect.
2.	Konsekuensi Energi akibat pemakaian Bidang Kaca pada Bangunan Tinggi di daerah Tropis Lembab.	Anik Juniwati Santoso, 2005	Mengetahui pengaruh bidang kaca terhadap pemanfaatan cahaya alami dan perolehan beban panas bangunan	Penelitian dilakukan dengan simulasi computer untuk mendapatkan besar energi yang diperoleh dari pemanfaatan cahaya alami dan kebutuhan tambahan energi untuk pencahayaan elektrikal, serta besar beban pendinginan bangunan berdasarkan rincian perolehan panasnya dan kebutuhan energi untuk pendinginan ruang.	Peningkatan perolehan cahaya alami justru mendorong peningkatan penerimaan panas yang selanjutnya juga meningkatkan kebutuhan energi pendinginan. Lonjakan kebutuhan energi ini jauh lebih besar dibanding dengan kebutuhan energi pencahayaan. Penerimaan radiasi yang besar melalui kaca merupakan faktor penting yang mempengaruhi kondisi tersebut.	Penelitian dengan permasalahan sejenis yaitu rasio bukaan dan pengaruhnya terhadap panas bangunan/radiasi. Dari penelitian ini dapat digunakan sebagai hipotesis awal berupa pengaruh RASIO terhadap tingginya nilai MRT ruang kuliah.
3.	Determination of OptimumWindow to External Wall Ratio for Offices in a Hot and Humid Climate	Halil Alibaba, 2016	Untuk mengetahui kenyamanan termal bangunan dengan penghawaan alami di Famagusta, Cyprus melalui proporsi jendela terhadap dinding luar menggunakan EDSL Tas Software.	Metode yang digunakan yaitu simulasi dengan pendekatan kuantitatif dengan metode Predicted Mean Vote (PMV) menggunakan EDSL Tas software.	Dapat diketahui bahwa peningkatan rasio bukaan jendela mempengaruhi secara positive kenyamanan termal bangunan. Dengan rata rata tahunaan, disimpulkan bahwa dengan bukaan 0.1 maka dapat diraih peningkatan kenyamanan termal sekitar 11.64% di keseluruhan kategori.	Penelitian dengan beberapa variable yang sama yaitu RASIO mempengaruhi nilai MRT dengan perhitungan rumus PMVV. Dari penelitian ini diketahui dapat diambil sampel berupa bulan terpanas untuk melakukan simulasi

Gambar 2. 14 Tinjauan Penelitian Terdahulu

2.7 Kerangka Teori

Kerangka teori menjelaskan mengenai teori teori yang digunakan serta variable yang akan diteliti. Teori yang digunakan berupa studi literature mengenai teori umum dan peraturan terkait. Dalam bentuk bagan metode penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. 15 Diagram Kerangka Teori

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang yang beralamat di Jl. Tata Surya, Dinoyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65144 pada koordinat 7°56'57.7"S 112°36'48.1"E. Adapun objek utama penilitian ini yaitu sampel ruang kelas yang berbatasan langsung dengan fasad kaca dan berada pada sisi bangunan yang berbeda.

Gambar 3. 1 Fasad dan Material Kaca pada Gedung Pascasarjana UNISMA

Universitas Islam Malang terletak di Kota Malang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Secara astronomis terletak pada 112.36°BT dan 7.57°LS. Berdasarkan data kondisi iklim yang dihimpun dalam Kota Malang dalam Angka 2014, selama tahun 2013 rata-rata suhu udara berkisar antara 21,6°C – 24,7 °C, sedangkan rata-rata kelembaban udara berkisar antara 70% - 86% (Malang Kota, diakses tanggal 18 Mei 2018). Universitas Islam Malang memiliki beberapa mid-rise building dengan ketinggian enam sampai dengan delapan lantai, untuk mewadahi fungsi ruang kuliah dan ruang kantor. Salah satunya adalah Gedung Pascasarjana.

3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode penelitian Deskriptif Kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Deskriptif kuantitatif yaitu berupa pendeskripsian atau gambaran berdasarkan fakta dan hubungan antar variable yang diteliti dengan penjabaran data berupa angka. Sedangkan pendekatan eksperimental yaitu dengan melakukan metode simulasi pada keadaan eksisting dan hasil rekayasa pada objek penelitian.

Sebagai langkah permulaan dilakukan penelusuran berbagai studi literatur terkait dengan hal yang akan diteliti, yaitu mengenai kondisi termal eksisting pada bangunan. Kondisi eksisting bangunan dianalisis dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Kinerja termal ruang kuliah dianalisis dengan metode eksperimental, yaitu dengan mensimulasikan fasad bangunan (RASIO dan Material), Ventilasi, dan Elemen peneduh. Hasil simulasi dari 3 variabel utama dengan alternatif dan kombinasi akan dikomparasikan dan dipilih satu rekomendasi dengan kinerja termal paling baik. Temperatur yang dihasilkan oleh rekomendasi terpilih kemudian akan dievaluasi dengan SNI 03-6572-2001, apabila terpenuhi maka alternatif tersebut telah mencapai standar zona kenyamanan. Keseluruhan analisis kemudian disintesis untuk mencapai tujuan penelitian.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat 2 jenis variabel dalam penelitian ini yaitu variable bebas dan terikat. Variabel bebas yaitu variable yang mempengaruhi atau yang menyebabkan terjadinya perubahan. Variabel bebas yaitu faktor-faktor yang nantinya akan diukur, dipilih, dan dimanipulasi oleh peneliti untuk melihat hubungan di antara fenomena atau peristiwa yang diteliti atau diamati. Dalam penelitian ini variable disesuaikan dengan setiap rumusan masalah, hal itu dilakukan karena perbedaan metode dalam penyelesaian masalah.

- Variable kontrol : Lokasi objek, letak geografis, orientasi bangunan.
- Variable bebas : - Rasio luas dinding dan jendela
  - Material dinding dan jendela
  - Jarak *double skin façade*
  - Jenis Ventilasi: jumlah, jenis, dan posisi

  } 2 alternatif dari setiap variable
- Variable terikat : Temperatur udara kering, Kelembaban udara, serta Kecepatan angin.

3.4 Metode Pengumpulan Data

3.4.1 Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan secara tidak langsung pada objek penilitan, Data didapatkan dari dokumen, dinas – dinas terkait, wawancara, serta sumber referensi lainnya yang berkaitan dengan fungsi objek penelitian. Data pada penelitian yang merupakan data primer meliputi :

1. Lokasi objek, letak geografis, orientasi bangunan dari skematik bangunan.
2. Luas permukaan dan dimensi selubung/fasade, terdiri dari luas dinding dan kaca.
3. Temperature udara kering-basah dalam dan luar bangunan.
4. Kelembaban udara dalam dan luar bangunan
5. Kecepatan angin pada luar dan dalam bangunan.

3.4.2 Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan pengamatan dan dokumentasi pada objek studi yaitu Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang, dalam bentuk narasi, angka, serta 3D. Observasi dilakukan dengan pengamatan pada variable eksisting dan mendokumentasikan objek studi, kemudian dicetak untuk disajikan sebagai data penelitian.

3.5 Metode Pengukuran

3.5.1 Pengukuran Eksisting

Dilakukan pengukuran pada ruang yang akan diteliti. Pengukuran hanya dapat dilakukan menyesuaikan dengan jam operasional ruang kuliah gedung pascasarjana UNISMA yaitu pada interval waktu pagi hari (08.00) hingga sore hari (16.00). Instrument yang digunakan sebagai alat ukur yaitu termometer basah – kering, *hotwire anemometer* dan *vane probe anemometer* (Gambar 3.2). Titik ukur berada di tengah dan di luar jendela ruangan yang bertujuan untuk memperoleh besaran temperatur udara, kecepatan angin, serta kelembaban relatif pada ruang kuliah. Observasi umum juga dilakukan seperti observasi arah datang angin pada objek penelitian. Selain itu nantinya akan dilakukan analisis hasil pengukuran yang bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran temperatur pada ke empat ruangan.

Hotwire anemometer digital

Vane probe anemometer

Termometer basah-kering

Gambar 3. 2 Instrumen penelitian

3.5.2 Visualisasi dan Simulasi Umum

Pada tahapan awal peneliatian, visualisasi 3d bangunan dibuat sesuai hasil observasi lapangan pada software *Ecotect Analysis* berdasarkan variable control seperti orientasi dan koordinat sesuai lapangan. Kemudian *weather data* yang berisi data kondisi iklim kota malang selama satu tahun penuh diinput untuk dapat mensimulasikan iklim kota malang, pada penelitian ini *weather data* menggunakan data iklim Joyogrand, Malang. Setelah pengaturan data selesai, dilakukan simulasi pembayangan bangunan pada *Ecotect Analysis* dengan *sun-path diagram* berdasarkan koordinat dan orientasi untuk mengetahui pengaruh bangunan sekitar terhadap objek penelitian. Simulasi pembayangan pada software dinilai lebih valid karena berdasarkan koordinat objek penelitian dan tidak terpengaruh oleh cuaca lingkungan.

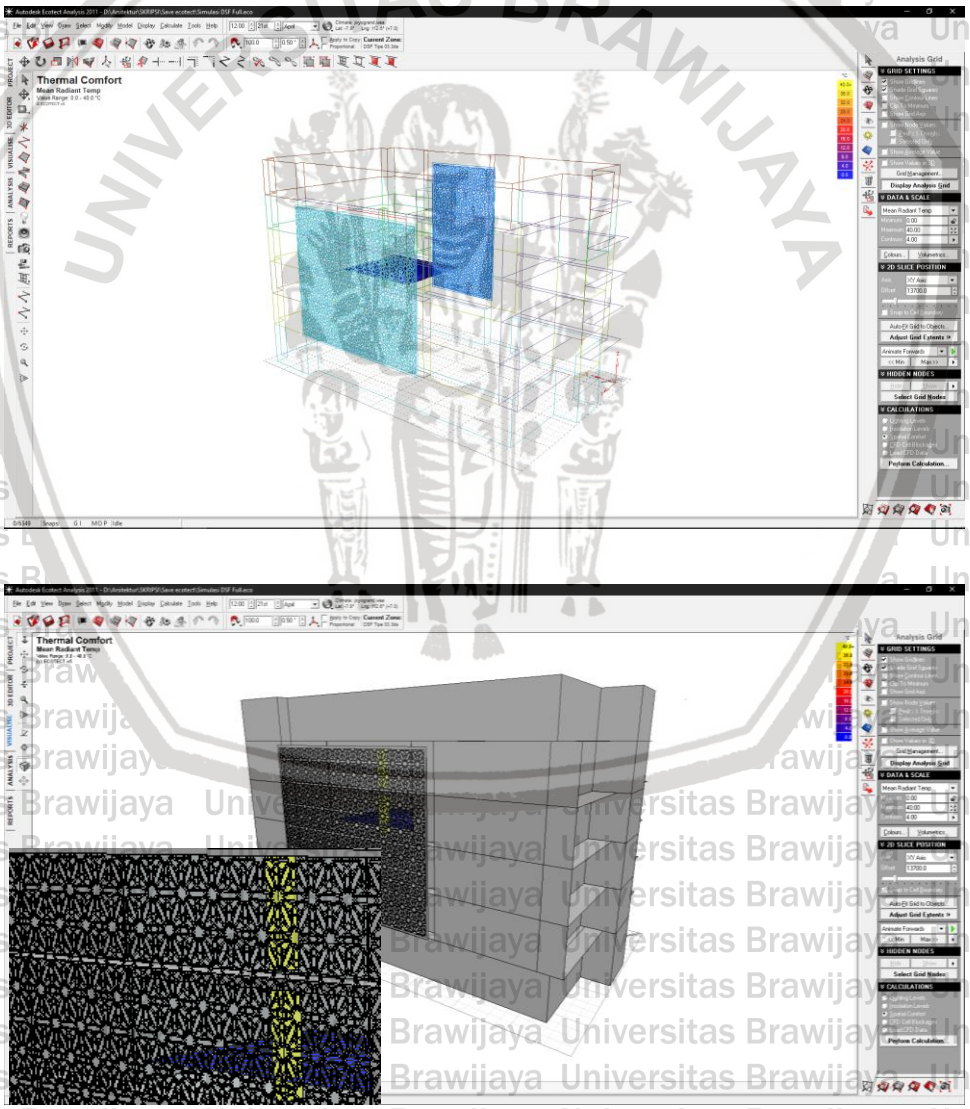
3.6 Metode Analisis Data

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam analisis data pada penelitian ini, yaitu menghitung nilai dari variabel terikat dan membandingkannya dengan hasil simulasi eksisting kemudian mengevaluasi temperatur ruang kuliah terhadap SNI 03-6572-2001, maka akan diberikan rekomendasi terhadap rekayasa fasad pada ruang kuliah yang kemudian dilakukan simulasi untuk menunjang hasil yang valid.

3.6.1 Perhitungan Data dan Simulasi Eksisting

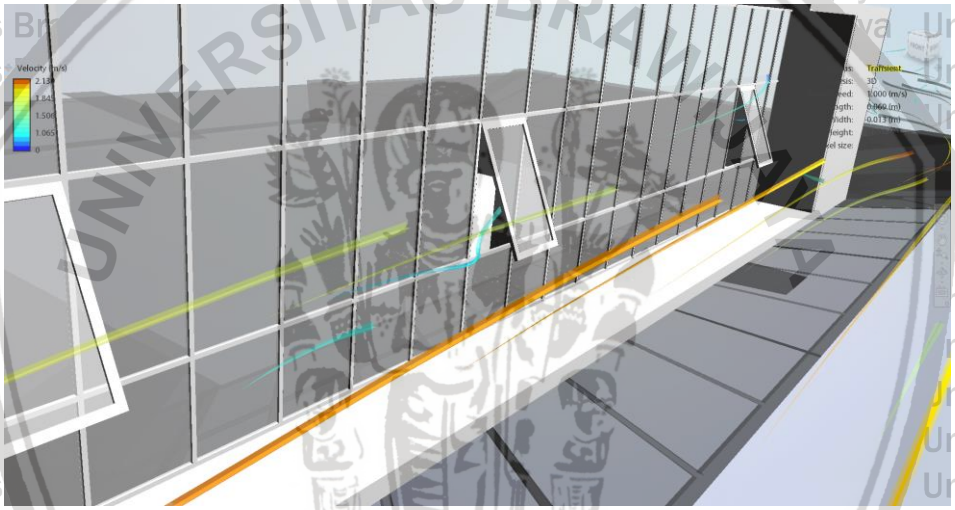
Pada tahapan awal peneliatian, visualisasi 3d bangunan dibuat sesuai hasil observasi lapangan pada software *Ecotect Analysis* berdasarkan variable control seperti orientasi dan koordinat sesuai lapangan. Kemudian *weather data* yang berisi data kondisi iklim kota malang selama satu tahun penuh diinput untuk dapat mensimulasikan iklim kota malang,

pada penelitian ini weather data menggunakan data iklim Joyogrand, Malang. Setelah pengaturan data selesai, dilakukan simulasi pembayangan bangunan pada *Ecotect Analysis* dengan *sun-path diagram* berdasarkan koordinat dan orientasi untuk mengetahui pengaruh bangunan sekitar terhadap objek penelitian. Simulasi temperatur ruang kuliah eksisting pada *Ecotect Analysis* dengan *spatial comfort* kemudian dilakukan pada tanggal 29 April untuk dapat dibandingkan dengan data hasil pengukuran lapangan yaitu *Dry-bulb temperature* (*DBT*) sebagai variable yang berpengaruh sesuai SNI 03-6572-2001. Hasil simulasi eksisting berupa temperatur udara kering (DBT) per jam, agar hasil valid maka perbandingan dilakukan dengan komparasi temperatur pada jam efektif yaitu pukul 08.00 hingga 16.00. Software dianggap valid apabila selisih pebandingan keduanya tidak mencapai 15%.



Gambar 3. 3 Simulasi Spatial Comfort menggunakan Ecotect Analysis

Langkah selanjutnya yaitu membandingkan hasil pengukuran kecepatan angin dengan simulasi *Autodesk Flow Design*. Visualisasi bangunan kemudian diinput kedalam software berupa 3d ruangan sampel yang akan disimulasikan, selanjutnya dilakukan penyesuaian arah laju angin dengan merotasi model sesuai observasi lapangan. Pengaturan dilakukan pada *wind tunnel* dan *wind velocity* (*v*), wind tunnel diatur 2 kali tinggi bangunan sedangkan *wind velocity* (*v*) diatur sesuai hasil pengukuran kecepatan angin outdoor. Hasil simulasi berupa kontur warna pada garis arah angin pada indoor dan outdoor kemudian dibandingkan terhadap hasil pengukuran lapangan. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai *dry-bulb temperature (DBT), relative humidity (rH),* dan *wind velocity (v)* ruang kuliah kemudian dievaluasi dengan berdasarkan pada SNI 03-6572-2001 kemudian dilakukan rekayasa untuk meningkatkan kinerja termal ruang kuliah.



Gambar 3. 4 Autodesk Flow Design untuk mengetahui kecepatan angin

3.6.2 Rekayasa dan Rekomendasi Desain

Setelah adanya evaluasi terhadap ruang kuliah, maka akan dilakukan rekayasa pada fasad Gedung Pacasarjana UNISMA sebagai penanganan desain pasif pengendalian termal dengan merubah variable bebas yaitu faktor faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal seperti rasio luas dinding dan jendela, material dinding dan jendela, jarak *double skin façade,* serta ventilasi berupa jumlah, jenis, dan posisi ventilasi.

Rasio dinding dan jendela memiliki pengaruh terhadap beban pendinginan karena menentukan total perolehan panas yang masuk kedalam bangunan. Hal ini dikarenakan material kaca dapat memasukkan panas kedalam bangunan. Oleh karena itu rasio luas jendela terhadap dinding yang menghadap matahari biasanya lebih tinggi sehingga beban

pendinginan berlebih. Merekayasa fasad maupun menambahkan *double skin facade* (DSF) adalah salah satu solusi paling efektif untuk mengurangi beban pendinginan dan konsumsi energi bangunan secara keseluruhan.

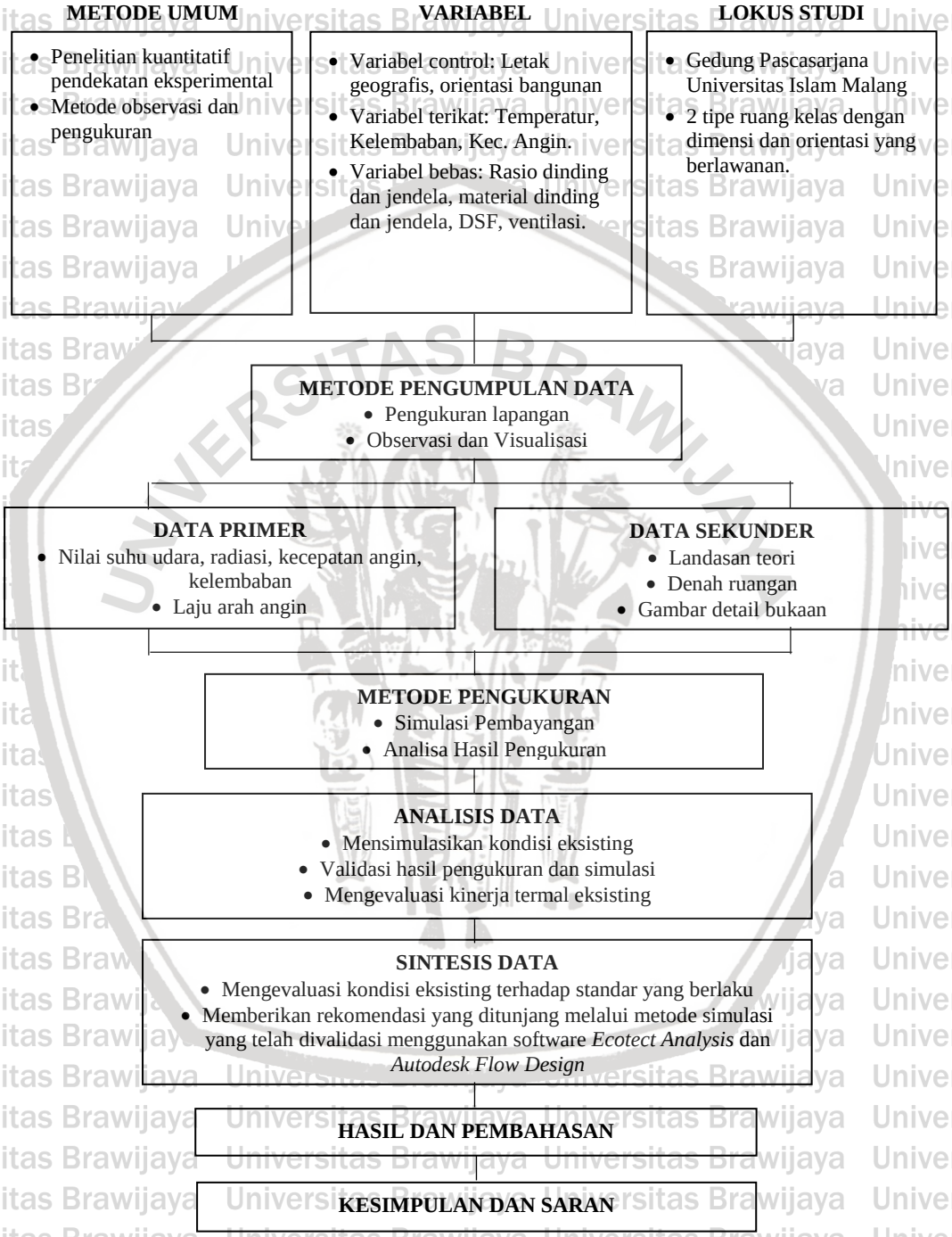
Mengurangi radiasi yang masuk pada ruangan dapat mengubah nilai temperatur di dalam ruangan, sedangkan jumlah, jenis, dan posisi ventilasi pada ruangan mempengaruhi aliran udara dan kelembaban di dalam ruangan, sehingga nilai temperatur ruangan lebih optimal dan dapat mendekati standar SNI 03-6572-2001 tanpa harus menggunakan pengkondisian udara buatan (AC). Ketiga rekomendasi utama kemudian disimulasikan untuk mengetahui pengaruh penerapan rekayasa terhadap temperatur ruang dalam menggunakan simulasi *spatial comfort* software *Ecotect Analysis*. Namun, guna mengetahui kemungkinan kinerja rekayasa yang paling efektif dalam menurunkan temperatur ruang kuliah maka dilakukan simulasi terhadap kombinasi dari setiap rekomendasi utama sehingga didapatkan 7 rekayasa fasad yang mungkin diterapkan. Hasil dari ketujuh simulasi kemudian dibandingkan untuk dipilih rekomendasi yang paling efektif terhadap penurunan temperatur ruang kuliah. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, hasil rekomendasi terpilih kemudian dievaluasi dengan berdasarkan standar zona kenyamanan pada SNI 03-6572-2001 sesuai tanggal pengukuran yaitu bulan April dan sesuai data bulan terpanas dalam satu tahun.

3.6.3 Rekayasa Ventilasi

Rekayasa Ventilasi dilakukan apabila temperatur ruang kuliah hasil rekomendasi terpilih belum dapat memenuhi SNI 03-6572-2001, rekayasa ventilasi bertujuan guna meningkatkan kecepatan angin dalam ruang kuliah sehingga dapat mengkompensasi tingginya temperatur dan kelembaban (Nugroho *et al.* 2007). Rekayasa berupa penambahan jumlah bukaan, penggantian jenis bukaan dengan bukaan dengan persentase efektivitas lebih besar, serta posisi bukaan agar dapat difungsikan sebagai outlet. Untuk menunjang hasil rekayasa ventilasi ruang terhadap kecepatan dan aliran udara ruang kuliah, maka digunakan software *Autodesk Flow Design* untuk mensimulasikan hasil rekomendasi terhadap variable yang diteliti hingga kecepatan angin dapat memenuhi kebutuhan ruang kuliah.

3.7 Kerangka Alur Penelitian

Untuk lebih memudahkan dan jelas mengenai langkah langkah yang akan dilakukan, maka disusun diagram alur peneletian dari tahap awal persiapan hingga akhir penyelesaian.



Gambar 3. 5 Diagram kerangka alur penelitian

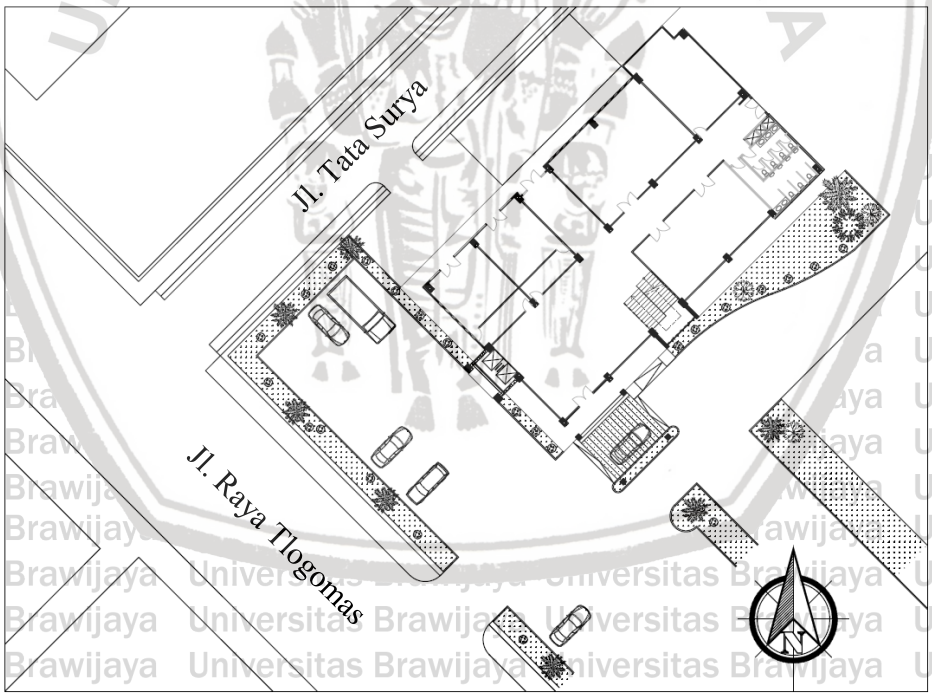
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Analisa Situasi

Penelitian dilakukan pada Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang yang berlokasi di Kelurahan Dinoyo, Kecamatan Lowokwaru. Lokasi gedung berada pada sisi terluar kompleks Universitas Islam Malang (UNISMA), pada sisi gedung berbatasan dengan Jl. Raya Tlogomas dengan insentitas kendaraan yang padat. Gedung Pascasarjana UNISMA memiliki 7 lantai dengan lokasi tapak berbatasan :

1. Utara : Gedung Al-Hanafi (FKIP Universitas Islam Malang)
2. Selatan : Jl. Raya Tlogomas (kolektor primer)
3. Timur : Lapangan Parkir utama UNISMA
4. Barat : Jl. Tata Surya



Gambar 4. 1 Layout Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang

Sumber: Kepala Bidang Sarana dan Prasarana Universitas Islam Malang

Pada Gedung Pascasarjana UNISMA, lantai 1 hingga lantai 3 digunakan sebagai ruang administrasi, lantai 4-6 sebagai ruang kuliah, sedangkan lantai 7 sebagai ruang auditorium. Ruangan yang dipilih sebagai tempat penelitian yaitu 4 ruang kelas, yaitu dua ruang kelas di lantai 4 dan dua ruang kelas di lantai 5. Lantai 4 dan 5 dipilih karena memiliki pola ruang yang tipikal. Setiap sampel ruang dipilih berdasarkan orientasi bangunan yang menghadap sisi Timur laut (lantai 4 dan 5) dan Tenggara (lantai 4 dan 5).

Terdapat beberapa gedung disekitar bangunan Gedung Pascasarjana UNISMA. Pembayangan yang dihasilkan perlu dianalisis karena dapat mempengaruhi hasil penelitian apabila terdapat faktor pembayangan dari gedung sekitar. Jalan Raya Tlogomas yang padat kendaraan juga turut memberikan dampak terhadap suhu lingkungan. Terdapat vegetasi peneduh disekitar bangunan gedung, namun hanya terdiri dari beberapa tanaman perdu pada taman bagian depan gedung. Selain itu material perkerasan tanah di sekitar gedung di dominasi oleh paving juga menyebabkan suhu sekitar bangunan cenderung panas pada saat siang hari (gambar 4.2).

Gambar 4. 2 Keadaan lingkungan sekitar gedung pascasarjana UNISMA

Tabel 4. 1 Tabel suhu rata rata bulanan kawasan Tlogomas 10 tahun terakhir

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature (°C)	24	24.1	24	24	23.9	23.2	22.4	23.2	23.6	24.3	24.3	23.8
Min. Temperature (°C)	19.6	19.7	19.5	19.3	18.9	17.7	16.5	17.1	17.5	18.5	19.2	19.1
Max. Temperature (°C)	28.5	28.5	28.5	28.7	29	28.8	28.4	29.3	29.8	30.2	29.5	28.5
Avg. Temperature (°F)	75.2	75.4	75.2	75.2	75.0	73.8	72.3	73.8	74.5	75.7	75.7	74.8
Min. Temperature (°F)	67.3	67.5	67.1	66.7	66.0	63.9	61.7	62.8	63.5	65.3	66.6	66.4
Max. Temperature (°F)	83.3	83.3	83.3	83.7	84.2	83.8	83.1	84.7	85.6	86.4	85.1	83.3
Precipitation / Rainfall (mm)	334	307	292	173	132	77	47	26	43	106	225	326

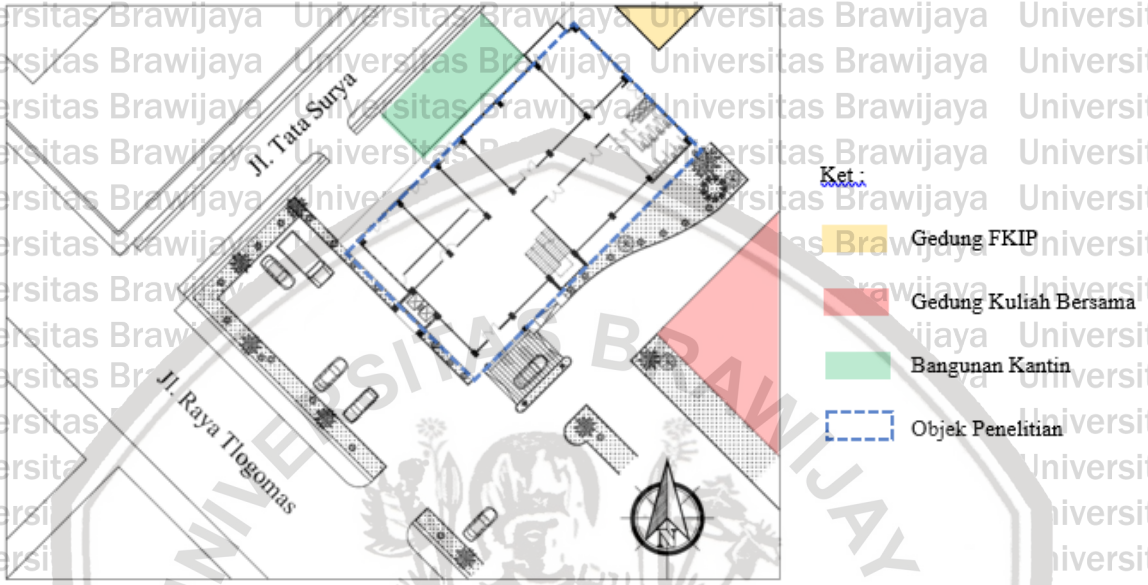
Sumber : https://id.climate-data.org (diakses pada tanggal 18 Mei 2018)

Pada tabel diatas (tabel 4.1) menunjukan grafik rata rata temperatur bulanan *(monthly avg. temperature)* kawasan Tlogomas pada 10 tahun terkahir. Kondisi iklim Kota Malang tepatnya Tlogomas, pada 10 tahun terakhir tercatat bahwa rata-rata suhu udara berkisar antara 22.4°C – 24.3°C. Sedangkan rata rata suhu maksimum mencapai 30.2°C pada bulaan Oktober dan rata rata suhu minimum 16.5°C pada bulan Juli. Penelitian dilaksanakan pada bulan April hingga bulan Mei 2018. Pengukuran dilakukan pada tanggal 29 April 2018, dimulai dari pukul 08.00 – 16.00 WIB dengan kondisi cuaca cerah di ruangan sampel yang telah ditentukan. Sedangkan simulasi di set pada tanggal yang sama untuk mendapatkan hasil sesuai validasi. Diketahui bahwa bulan april memiliki temperatur rata rata 24^{o}C pada 10 tahun terakhir dan suhu tertinggi yaitu 28.7^{o}C, namun secara umum rata rata temperatur tertinggi terjadi pada bulan Oktober yaitu 24.3^{o}C dan suhu tertinggi yaitu 30.2^{o}C. Oleh karena itu, nantinya pada rekomendasi terpilih juga akan disimulasikan pada 29 Oktober untuk mengetahui pengaruh rekayasa fasad terhadap temperatur ruang kuliah pada bulan terpanas. Pemilihan tanggal simulasi dilakukan secara acak karena tidak didapatkan grafik harian *(daily temperature)* pada bulan oktober.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kinerja termal pada ruangan yang diukur dengan menggunakan alat thermometer basah-kering untuk mengetahui kelembaban udara serta *anemometer* untuk mengetahui kecepatan angin, selain itu aspek yang diobservasi yaitu dimensi serta posisi bukaan pada fasad kaca bangunan. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi ruangan sebelum dan setelah rekayasa agar mendapatkan hasil yang valid.

4.1.2 Analisis Pembayangan Matahari

Dilakukan analisis pembayangan untuk mengetahui pembayangan yang dihasilkan dari bangunan sekitar terhadap Gedung pascasarjana UNISMA. Terdapat beberapa gedung yang berbatasan dengan gedung pasca sarjana, antara lain :

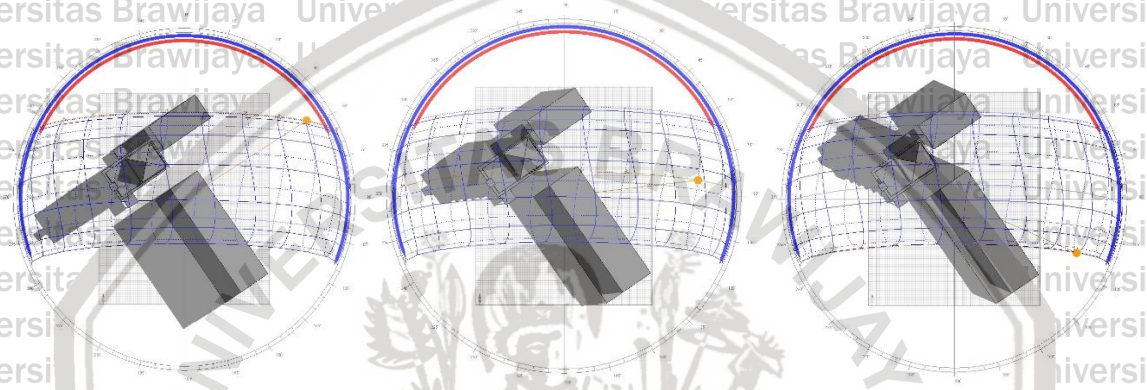


Gambar 4. 3 Siteplan gedung pascasarjana UNISMA

1. Gedung FKIP (Al-Hanafi) yang terletak disebelah timur laut, memiliki ketinggian 3 lantai (±17) dan berjarak ± 6 meter dari gedung pascasarjana.
2. Gedung Kuliah Bersama (Utsman bin Affan) dengan bentuk memanjang ke arah tenggara, ±12 meter dari gedung pascasarjana dengan ketinggian 2 (±8m) dan 6 lantai (±25m)
3. Bangunan kantin diantara Jl. Tata Surya dan gedung pascasarjana dengan ketinggian 3 sampai 5 meter dan terdapat pohon pada persimpangan Jl.Tata Surya dan Jl. Raya Tlogomas dengan tajuk ± 6 meter dan tinggi 8 meter.

Gambar 4. 4 Garis pergerakan matahari

Simulasi dilakukan menggunakan software *Ecotect Analysis 2012* agar dapat diketahui kondisi pembayangan pada garis pergerakan matahari, simulasi ditentukan pada tanggal 21 Juni, 23 September, dan 22 Desember sehingga dapat dilihat embayangan dari matahari berada pada titik paling utara, diatas garis equinox, dan titik paling selatan. Bangunan yang dianggap paling berpengaruh yaitu Gedung Kuliah Bersama (Utsman bin Affan) karena memiliki ketinggian yang hampir sama dengan objek (±25m), oleh karena itu perbandingan simulasi antar titik matahari menggunakan rentang waktu pada pukul 08.00 dimana sinar matahari datang dari Gedung Kuliah Bersama yaitu sisi timur.

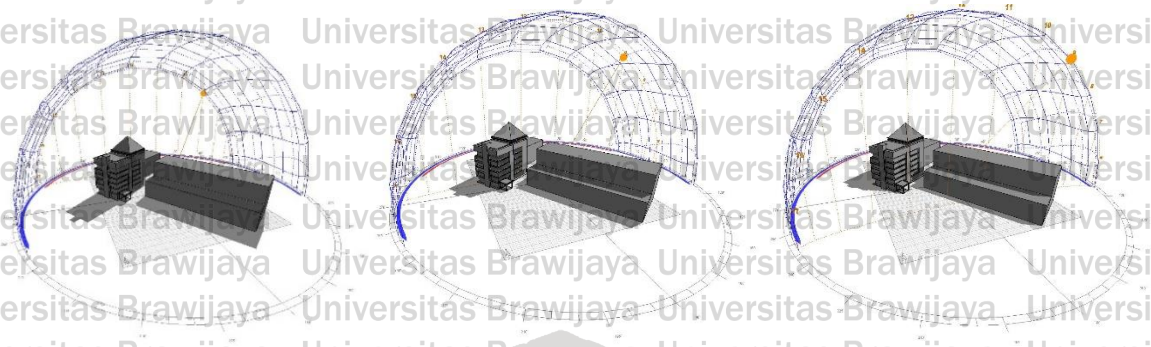


Gambar 4. 5 Hasil simulasi pembayangan pada (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des.

Dari hasil simulasi pembayangan bangunan sekitar yang dilakukan pada tanggal 21 Juni, 23 September, dan 22 Desember dapat diketahui bahwa bangunan hanya sedikit terbayangi oleh gedung FKIP dan bangunan kantin di bagian utara gedung dan terbayangi GKB Utsman bin Affan pada bulan Desember hingga lantai 3 bangunan. Oleh karena itu, diputuskan bahwa selama ketiga titik pergerakan matahari, ruangan objek penelitian tidak terpengaruhi oleh bayangan gedung lainnya dan simulasi dapat dilanjutkan.

Dilakukan juga analisis terhadap pergerakan matahari pada interval waktu pukul 09.00, 12.00, dan 15.00 untuk mengetahui bagaimana kondisi sinar matahari terhadap fasad ruang yang diteliti. Analisis dibagi berdasarkan masing masing interval waktu kemudian dikomparasikan dengan ketiga titik matahari yang berbeda tersebut.

A. Analisis Pembayangan Pagi hari (09.00)



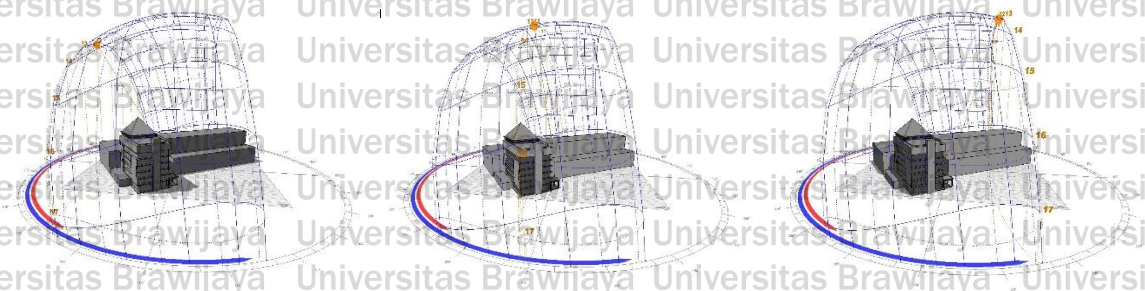
Gambar 4. 6 Simulasi pukul 09.00 pada tanggal (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des

Dari hasil simulasi ketiga titik pergerakan matahari diketahui bahwa pada pagi hari kondisi ruang kuliah tipe 03 (sisi barat laut) tidak terkena direct sunlight karena berada pada sisi lain arah datangnya matahari. Sedangkan pada ruang kuliah tipe 08 (sisi tenggara) diketahui bahwa hanya saat matahari berada pada garis balik selatan (22 Desember) ruangan kuliah tipe ini tidak terbayangi oleh bangunan maupun *shading device* sehingga sinar matahari tidak terhalang ke dalam ruang kuliah (*direct sunlight*), sedangkan pada bulan Juni dan September shading device masih dapat membayangi fasad ruang kuliah tipe 03.

Tabel 4. 2 Hasil simulasi titik pergerakan matahari pada pagi hari (09.00)

Titik Pergerakan Matahari	Ruang Kuliah			
	H4-03	H4-08	H5-03	H5-08
21 Juni	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi
23 Septemberr	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi
22 Desember	Terbayangi	Terpapar	Terbayangi	Terpapar

B. Analisis Pembayangan Siang hari (12.00)



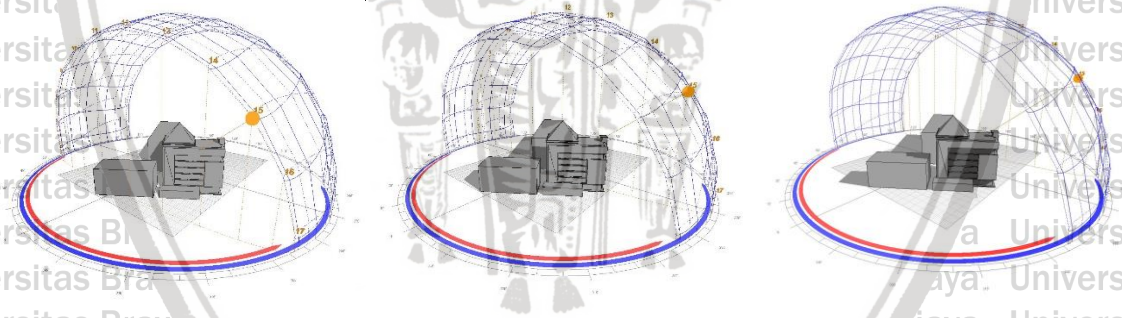
Gambar 4. 7 Simulasi pukul 12.00 pada tanggal (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des

Berdasarkan simulasi pembayangan ruang kuliah pada pukul 12.00, terdapat perbedaan disetiap titik pergerakan matahari. Shading device pada fasad ruang kuliah tipe 03 (sisi barat laut) hanya dapat membayangi sebagian fasad akibat matahari berada pada titik terjauh utara (21 Juni) dari bangunan, dan terbayangi sepenuhnya pada 23 September dan 22 Desember dikarenakan matahari sedang berada pada garis balik selatan dan diatas garis khatulistiwa. Sedangkan kondisi pembayangan pada ruang kuliah tipe 08 (sisi tenggara) selalu terbayangi oleh bangunan saat simulasi ketiga titik pergerakan matahari dilakukan.

Tabel 4. 3 Hasil simulasi titik pergerakan matahari pada siang hari (12.00)

Titik Pergerakan Matahari	**Ruang Kuliah**			
	H4-03	H4-08	H5-03	H5-08
21 Juni	Sebagian	Terbayangi	Sebagian	Terbayangi
23 Septemberr	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi
22 Desember	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi

C. Analisis Pembayangan Sore hari (15.00)



Gambar 4. 8 Simulasi pukul 15.00 pada tanggal (dari kiri) 21 Jun, 23 Sep, dan 22 Des

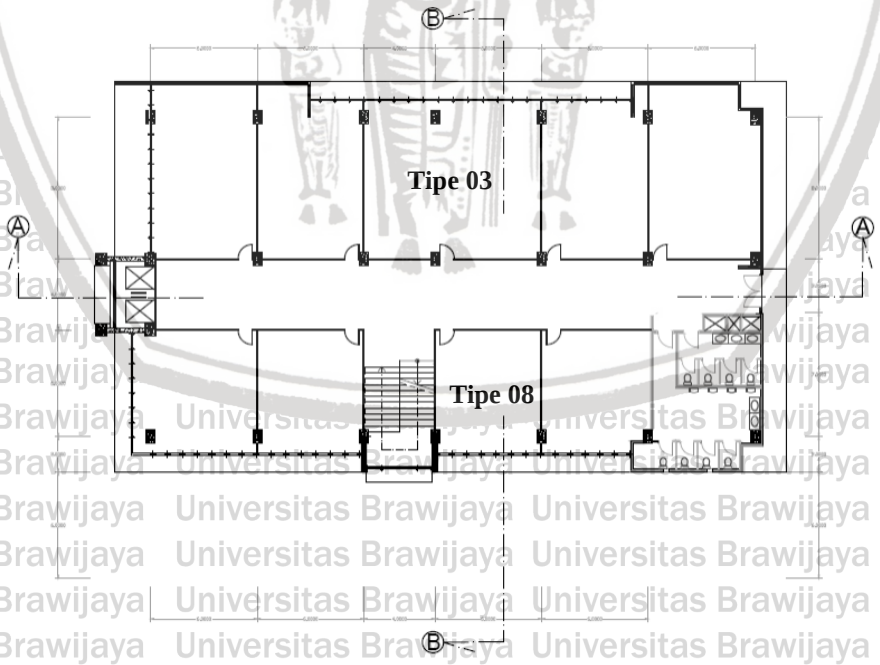
Pada simulasi pembayangan terhadap ruang kuliah pada sore hari, diketahui bahwa shading device tidak dapat menaungi fasad ruang kuliah tipe 03 (sisi barat laut) dari sinar matahari pada 21 Juni dan 23 September, sedangkan pada 22 Desember fasad ruang kuliah tipe 03 terbayangi seluruhnya karena matahari berada pada garis balik selatan. Pada ruangan kuliah tipe 08 (sisi tenggara) selalu terbayangi oleh bangunan saat simulasi ketiga titik pergerakan matahari dilakukan.

Tabel 4. 4 Hasil simulasi titik pergerakan matahari pada sore hari (15.00)

Titik Pergerakan Matahari	Ruang Kuliah			
	H4-03	H4-08	H5-03	H5-08
21 Juni	Terpapar	Terbayangi	Terpapar	Terbayangi
23 Septemberr	Terpapar	Terbayangi	Terpapar	Terbayangi
22 Desember	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi	Terbayangi

4.1.3 Kondisi Ruang

Terdapat empat ruangan sampel yang dilakukan pengukuran temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin. Ruangan sampel berada pada lantai 4 dan lantai 5 gedung pascasarjana UNISMA, terdapat masing masing dua ruangan pada lantai 4 yaitu H4-03 dan H4-08, sedangkan pada lantai 5 yaitu H5-03 dan H5-08. Kondisi ruangan terbagi menjadi dua tipe, yaitu ruangan yang berorientasi menghadap barat laut dan memiliki dimensi ruangan yang lebih besar yaitu ruangan 03 dan ruangan yang berorientasi menghadap tenggara dan dimensi yang lebih kecil yaitu ruangan 08. Ruang kuliah 03 dan 08 merupakan ruang yang saling berhadapan. Kondisi interior kedua tipe ruangan berbeda dari segi layout hingga perabot ruangan.



Gambar 4. 9 Denah ruang kuliah tipikal lantai 2-5

Ruangan pada lantai 4, H4-03 memiliki layout standart ruang kuliah dan memiliki perabot berupa set meja dan kursi kuliah berbahan metal serta tidak memiliki penutup berupa blind maupun tirai. Sedangkan H4-08 memiliki layout letter U dengan meja lecture berada pada tengah ruangan dan juga tidak memiliki penutup pada bagian fasad.

Gambar 4. 10 Kondisi ruang kuliah H4-03(lantai 4)

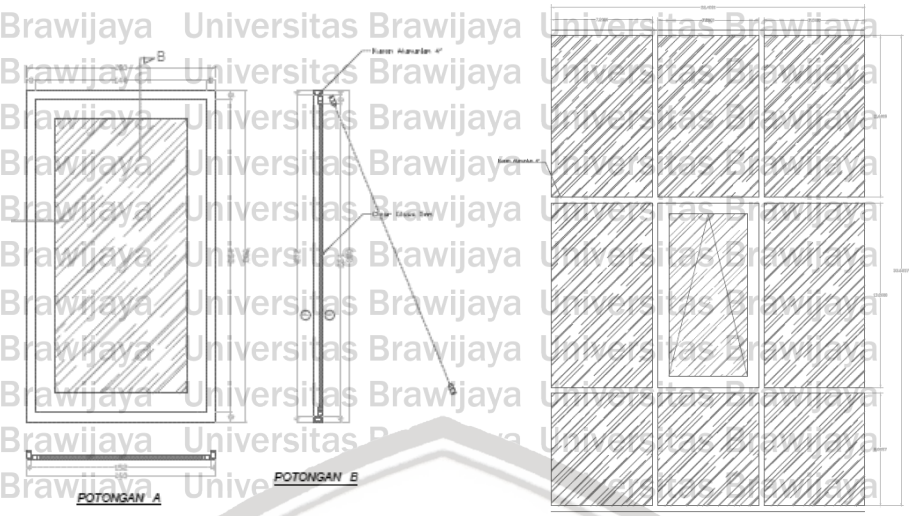
Gambar 4. 11 Kondisi ruang kuliah H4-08 (lantai 4)

Ruangan pada lantai 5, H5-03 memiliki layout yang sama dengan ruangan H4-03 berupa layout standart ruang kuliah, perabot berupa set meja dan kursi kuliah, dan tidak memiliki penutup bukaan. Ruangan H5-08 sedikit berbeda dengan H4-08 yaitu layout standard ruang kuliah karena ruangan tipe 08 merupakan ruang yang memiliki layout fleksibel mengikuti kebutuhan ruangan.

Gambar 4. 12 Kondisi ruang kuliah H5-03 (lantai 5)

Gambar 4. 13 Kondisi ruang kuliah H5-08 (lantai 5)

Keempat ruangan memiliki fasad kaca berupa *curtain wall* dan orientasi yang menghadap arah matahari pada pagi dan sore hari, hal ini yang dinilai menjadi penyumbang terbesar terhadap panas dalam bangunan. Selain dimensi rasio dinding dan jendela yang penuh yaitu 100%, *curtain wall* pada ruangan kuliah gedung pasacasarjana UNISMA juga tidak dilengkapi dengan pelindung panas baik tirai maupun *blinds* sehingga ruangan menerima *direct sunlight* tanpa terhalang. Perbedaan kondisi ruang pada ruang kelas yang berada di lantai empat dan lima juga akan memberi pengaruh terdahap kinerja termal ruangan, karena layout dan perabot yang digunakan masing masing ruangan mempengaruhi jumlah pengguna ruang.



Gambar 4. 14 Detail jendela dan curtain wall

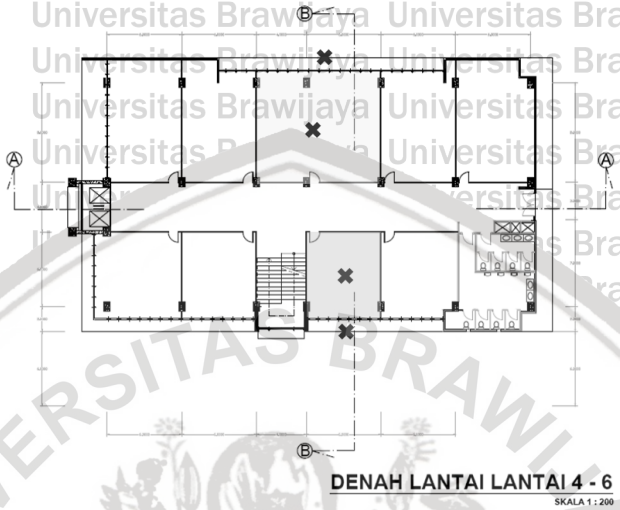
Tidak terdapat sistem ventilasi silang pada keempat ruangan, ventilasi ruangan hanya mengandalkan *inlet* yang mengarah sisi luar bangunan tanpa memberi *outlet* pada ruangan sehingga tidak terjadi *cross ventilation* yang mempengaruhi kecepatan angin pada ruangan. Pada saat pengukuran dilakukan, arah datang angin cenderung tidak mengarah ke inlet sehingga kecepatan / aliran udara di dalam ruangan sangat rendah.

Gambar 4. 15 Bukaan (dari kiri) tipe 03, tipe 08, dan kerusakan inlet H4-03

Hanya terdapat 1 bukaan berjenis *top-hung* dengan efektivitas masuknya angin sebesar 75% pada ruangan sebesar H4-03 dan H5-03. Selain dimensi bukaan yang kecil, ditemukan kerusakan pada bukaan H4-03 yang mengakibatkan tidak adanya angin yang dapat masuk ke ruangan. Sedangkan ruangan H4-08 dan H5-08 memiliki 3 bukaan berjenis *top-hung* pada sisi bangunan yang menyebabkan kecepatan udara pada ruangan cukup tinggi.

4.1.4 Titik Pengukuran

Pengukuran dilakukan di dalam ruang kuliah dan diluar jendela ruangan untuk mengetahui perbedaan temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin di masing-masing lokasi.



Gambar 4. 16 Denah titik pengukuran lantai 4-6 (tipikal)

Pengukuran dilaksanakan pada ruang kuliah H4-03 dan H4-08 di lantai 4 dan H5-03 dan H5-08 pada lantai 5. Kedua tipe ruangan memiliki orientasi yang berbeda H4-03 dan H5-03 berada pada sisi barat laut sedangkan H4-08 dan H5-08 berada pada sisi tenggara. Kedua tipe ruangan ini digunakan sebagai objek penelitian dikarenakan memiliki dimensi dan sisi yang berbeda, selain itu ketinggian bangunan yaitu lantai 4 dan 5 juga memberikan pengaruh pada pemilihan sampel penelitian.

4.2 Hasil Pengukuran

Dari hasil observasi, dokumentasi dan pengukuran yang sudah dilaksanakan, diperoleh data tentang temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin pada ruang kelas dalam keadaan jendela terbuka dan AC berjenis cassete yang dinon-aktifkan. Sedangkan dari simulasi pengukuran diperoleh data suhu rata-rata tahunan untuk dibandingkan terhadap hasil pengukuran lapangan dan dinilai seberapa valid perbedaan kedua metode pengukuran.

4.2.1 Temperatur Udara

Pengukuran temperatur udara dilakukan selama 10 jam mulai pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 sesuai dengan waktu penggunaan efektif gedung dan ruang kuliah pascasarjana UNISMA. Posisi pengukuran dilakukan di tengah ruangan dan di luar jendela ruang kelas untuk mengetahui kondisi temperatur antara keduanya.

A. Ruang Kuliah H4-03

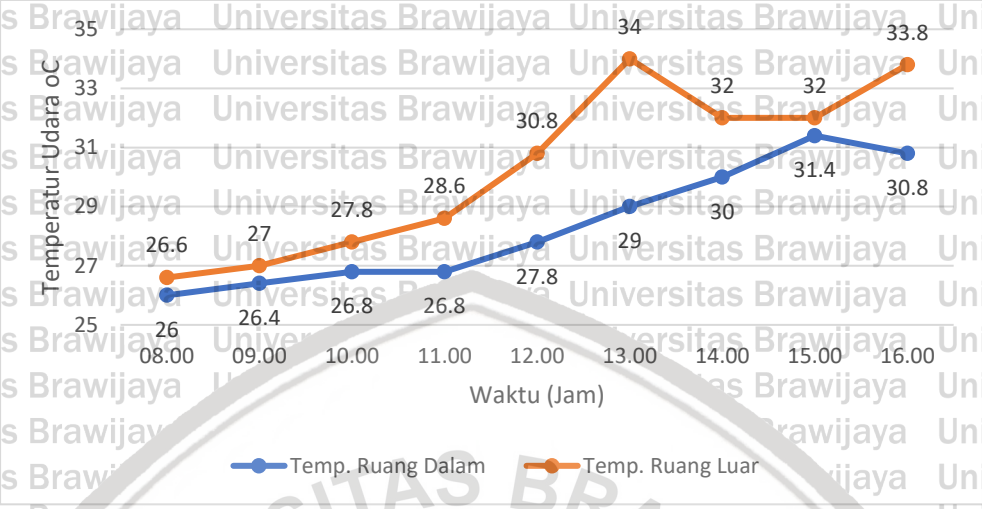
Temperatur udara rata-rata *indoor* lebih rendah dari *outdoor* yaitu sebesar 28.3ºC : 30.2ºC dengan rentang temperatur udara *indoor* 26.0ºC–31.4ºC dan rentang temperatur udara *outdoor* 26.6ºC - 33.8ºC.

Tabel 4. 5 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H4-03

Rentang Jam	**Dry ºC**	
	Indoor / Outdoor	
08.00	26	26.6
09.00	26.4	27
10.00	26.8	27.8
11.00	26.8	28.6
12.00	27.8	30.8
13.00	29	34
14.00	30	32
15.00	31.4	32
16.00	30.8	33.8
Avg.	**28.3**	**30.2**

Dari tabel hasil pengukuran temperatur udara yang dilakukan, temperatur udara ruang tertinggi terjadi pada interval pukul 13.00 – 16.00 dengan rata rata temperatur 30.3 ºC. Temperatur udara *indoor* sudah lebih rendah dibandingkan temperatur *outdoor*, namun berdasarkan SNI 03-6572-2001 akan lebih baik bila temperatur ruang dapat mencapai angka 25ºC agar kalor yang dilepas melalui penguapan tidak terlalu besar sehingga ruangan terasa lebih sejuk meski pergerakan angin dalam ruangan sangat rendah. Selisih temperatur ruang *indoor* dan *outdoor*

paling besar yaitu 5ºC yang terjadi pada rentang waktu 13.00 dan selisih paling kecil yaitu 0.6ºC yang terjadi pada jam 08.00, 09.00, dan 15.00.



Gambar 4. 17 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H4-03

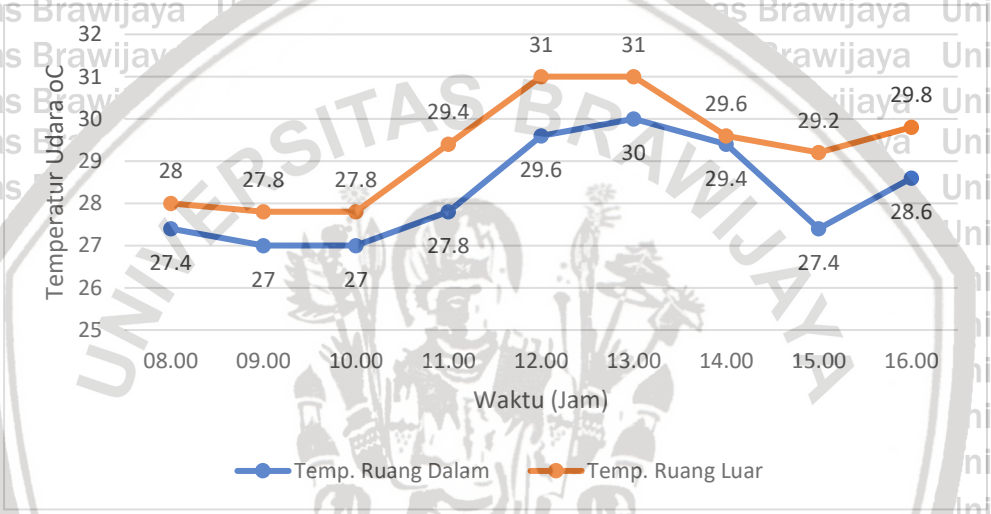
B. Ruang Kuliah H4-08

Temperatur udara rata-rata *indoor* berkisar antara 27.4ºC – 30.0ºC dan temperatur udara *outdoor* antara 27.8ºC – 31.0ºC dengan perbandingan suhu rata-rata *indoor* dan *outdoor* adalah 28.2ºC : 29.3ºC.

Tabel 4. 6 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H4-08

Rentang Jam	**Dry ºC**	
	Indoor	**/ Outdoor**
08.00	27.4	28
09.00	27.0	27.8
10.00	27.0	27.8
11.00	27.8	29.4
12.00	29.6	31.0
13.00	30.0	31.0
14.00	29.4	29.6
15.00	27.4	29.2
16.00	28.6	29.8
Avg.	**28.2**	**29.3**

Temperatur ruangan tertinggi terjadi pada interval jam 12.00 – 13.00 yaitu 31.0ºC, temperatur ruang yang tinggi akan mengakibatkan kebutuhan pelepasan kalor serta pergerakan udara yang tinggi (SNI 03-6572-2001). Sedangkan temperatur ruangan terendah terjadi pada interval 09.00 – 10.00 yaitu 27.8 ºC. Temperatur ruang *indoor* dan *outdoor* memiliki selisih paling besar yaitu 2,8ºC dan selisih paling kecil adalah 0.2ºC. Berdasarkan rentang waktu, perbedaan / selisih temperatur tertinggi terjadi pada jam 15.00 dan selisih temperatur terendah terjadi pada jam 14.00, sedangkan pada temperatur tertinggi (12.00 – 13.00) selisih temperaturnya mencapai 1 – 1.4ºC.



Gambar 4. 18 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H4-08

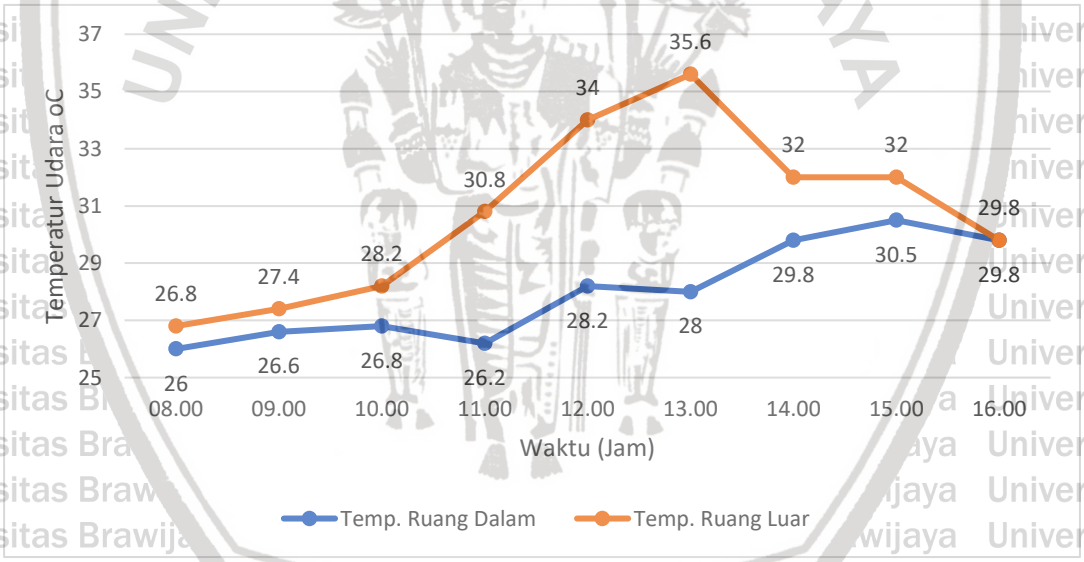
C. Ruang Kuliah H5-03

Temperatur udara rata-rata *indoor* berkisar antara 26ºC – 30.5ºC dan temperatur udara *outdoor* antara 26,8ºC – 35.6ºC dengan perbandingan suhu rata-rata *indoor* dan *outdoor* adalah 27.9ºC : 30.7ºC.

Temperatur ruangan tertinggi terjadi pada interval jam 11.00 – 14.00 yaitu 29,4ºC. Temperatur yang tinggi ini menyebabkan kebutuhan akan pelepasan kalor dan pergerakan udara yang tinggi di dalam ruangan. Temperatur ruang *indoor* dan *outdoor* memiliki selisih paling besar yaitu 4ºC dan selisih paling kecil -1ºC. Berdasarkan rentang waktu (jam), perbedaan / selisih temperatur tertinggi terjadi pada jam 07.00 dan selisih temperatur terendah terjadi pada jam 17.00, sedangkan pada temperatur tertinggi (12.00) selisih temperaturnya mencapai 2,2ºC.

Tabel 4. 7 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H5-03

Rentang Jam	Dry °C Indoor / Outdoor	
08.00	26	26.8
09.00	26.6	27.4
10.00	26.8	28.2
11.00	26.2	30.8
12.00	28.2	34
13.00	28	35.6
14.00	29.8	32
15.00	30.5	32
16.00	29.8	29.8
Avg.	**27.9**	**30.7**



Gambar 4. 19 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H5-03

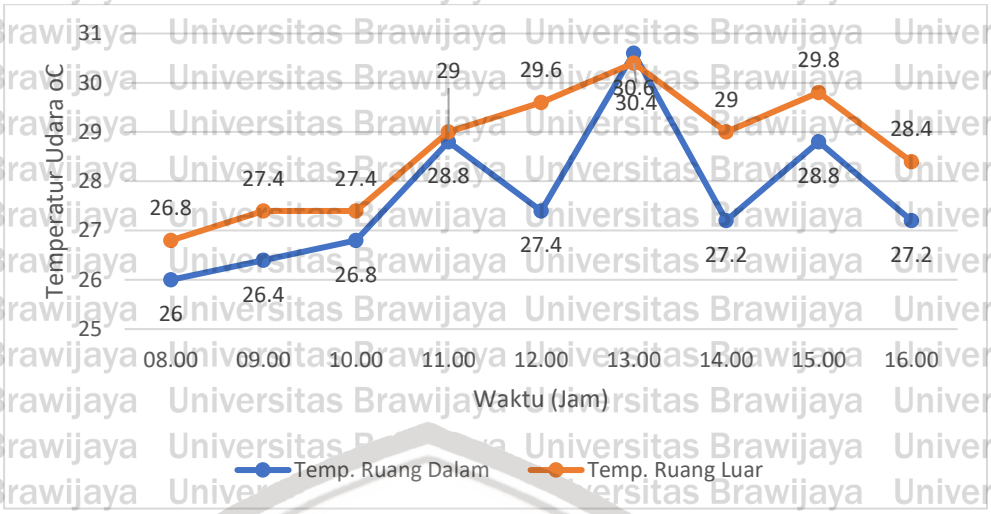
D. Ruang Kuliah H5-08

Temperatur udara rata-rata *indoor* berkisar antara 26ºC – 30.6ºC dan temperatur udara *outdoor* antara 26.8 ºC – 30,4 ºC dengan perbandingan suhu rata-rata *indoor* dan *outdoor* adalah 27,58 ºC : 30.4 ºC.

Tabel 4. 8 Rata - rata hasil pengukuran temperatur udara ruang kelas H5-08

Rentang Jam	**Dry ºC Indoor / Outdoor**	
08.00	26	26.8
09.00	26.4	27.4
10.00	26.8	27.4
11.00	28.8	29
12.00	27.4	29.6
13.00	30.6	30.4
14.00	27.2	29
15.00	28.8	29.8
16.00	27.2	28.4
Avg.	**27.6**	**28.6**

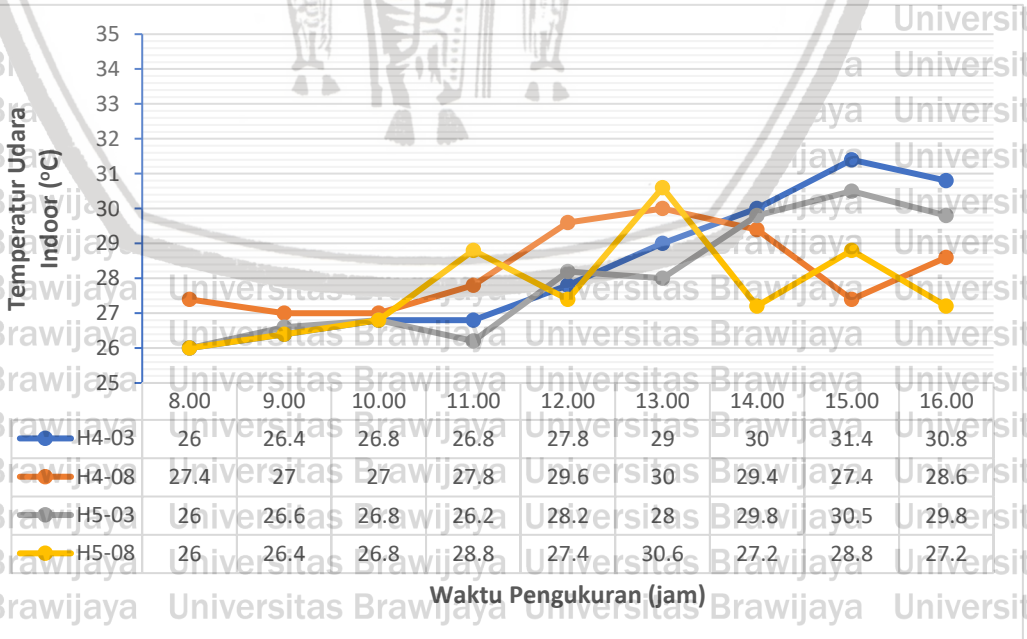
Temperatur ruangan tertinggi terjadi pada interval jam 11.00 – 15.00 dengan rata-rata suhu 29.6ºC. Temperatur yang tinggi ini menyebabkan kebutuhan akan pelepasan kalor dan pergerakan udara yang tinggi di dalam ruangan. Berdasarkan rentang waktu (jam), temperatur ruang *indoor* dan *outdoor* memiliki selisih paling besar yaitu 3.2 ºC perbedaan / selisih temperatur tertinggi terjadi pada jam 11.00 – 13.00 . Dan selisih temperatur paling kecil -0.2ºC, selisih temperatur terendah terjadi pada jam 13.00. Temperatur *indoor* memiliki grafik yang tidak stabil pada interval 11.00 – 15.00 karena dipengaruhi oleh kecepatan angin dan pembayangan ruangan.



Gambar 4. 20 Grafik rata-rata temperatur udara ruang kuliah H5-08

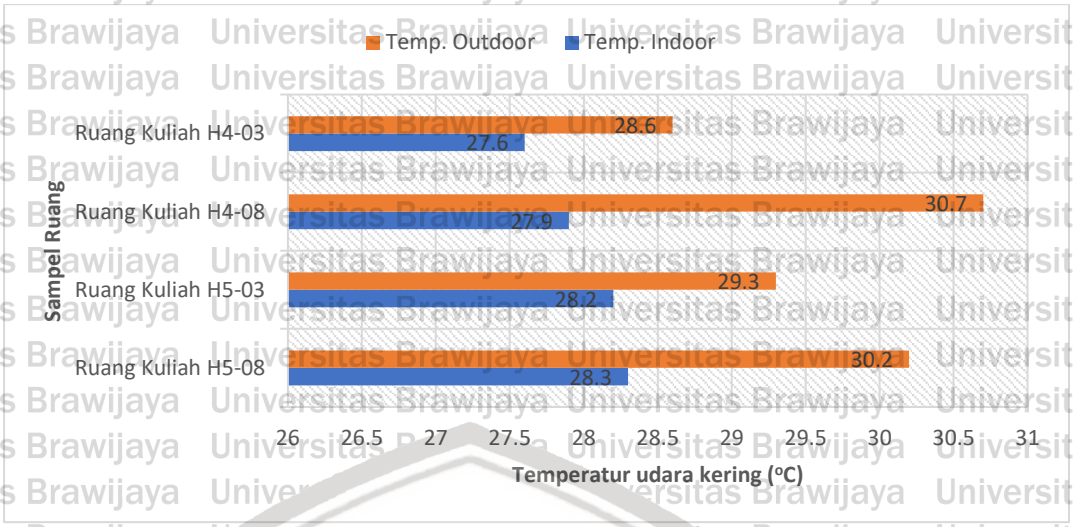
E. Perbandingan temperatur ruang – basah

Ruang kuliah yang diteliti memiliki nilai temperatur ruangan diatas suhu optimal ruang yaitu 27.6 ºC – 28.3 ºC. Dimana pada suhu 26°C – 30°C daya tahan dan kemampuan kerja penghuni ruangan mulai menurun (Lippsmeier, 1997). Keempat ruangan sampel memiliki perbedaan hingga 0.3 ºC, hal ini dipengaruhi oleh faktor terpapar langsung sinar matahari dan kecepatan udara yang rendah di luar ruangan. Ruangan H4-08 dan H5-08 memiliki suhu outdoor lebih tinggi dikarenakan terpapar matahari langsung pada pagi hari dan kecepatan udara yg rendah karena memiliki orientasi kearah gedung kuliah bersama UNISMA pada bagian tenggara.



	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
H4-03	26	26.4	26.8	26.8	27.8	29	30	31.4	30.8
H4-08	27.4	27	27	27.8	29.6	30	29.4	27.4	28.6
H5-03	26	26.6	26.8	26.2	28.2	28	29.8	30.5	29.8
H5-08	26	26.4	26.8	28.8	27.4	30.6	27.2	28.8	27.2

Gambar 4. 21 Perbandingan Temperatur Udara Kering Indoor tiap Ruang Kelas



Gambar 4. 22 Perbandingan suhu indoor dan outdoor ruang sampel

Dengan melihat grafik diatas (diagram 4.5), maka dapat disimpulkan bahwa dimensi ruangan juga memberikan faktor pada kenaikan suhu ruangan, dapat dilihat bahwa temperatur ruang ruangan tipe 08 lebih tinggi daripada tipe 03 pada lantai yang sama. Hal ini dapat dipengaruhi baik perbedaan banyaknya volume udara pada ruangan maupun pelepasan kalor dari material sekitar ruang. Selain itu semakin tinggi lantai bangunan semakin tinggi pula temperatur ruang pada bangunan yang dipengaruhi oleh temperatur ruang luar.

4.2.2 Kelembaban Udara

Pengukuran temperatur udara dilakukan selama 8 jam mulai pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 sesuai dengan waktu penggunaan efektif gedung dan ruang kuliah pascasarjana UNISMA. Posisi pengukuran dilakukan di tengah ruangan dan di luar jendela ruang kelas untuk mengetahui kondisi kelemaban udara antara keduanya.

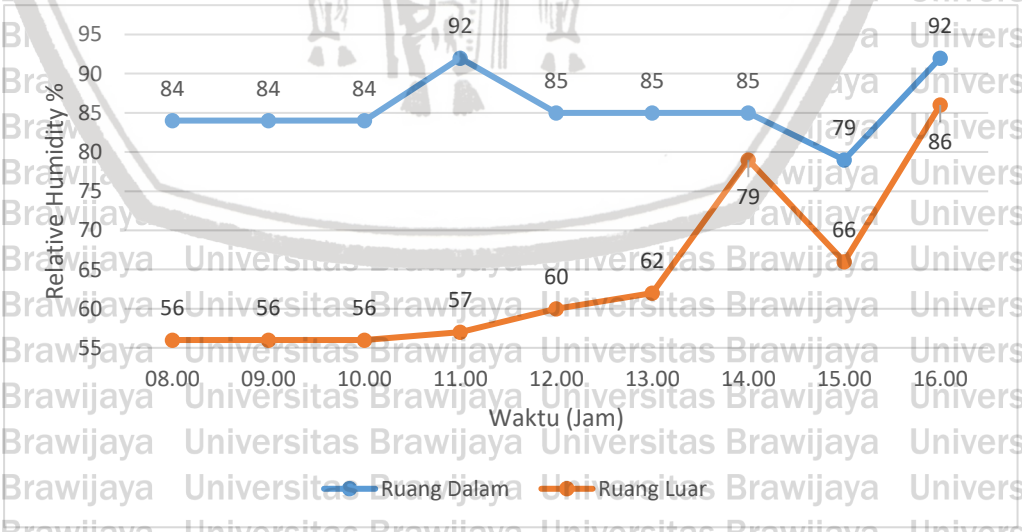
A. Ruang Kuliah H4-03

Kelembaban udara di dalam ruangan selama 8 jam dari pukul 08.00 – 16.00 terdapat sedikit perbedaan, hal ini menunjukkan terjadi perubahan kadar air dalam udara pada ruangan pada interval waktu 11.00, 15.00, dan 16.00.

Tabel 4. 9 Rata - rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H4-03

Rentang Jam	RH %	
	Indoor / Outdoor	
08.00	84	56
09.00	84	56
10.00	84	56
11.00	92	57
12.00	85	60
13.00	85	62
14.00	85	79
15.00	79	66
16.00	92	86
Avg.	**85.5**	**64.2**

Rata-rata kelembaban udara di dalam ruangan cukup tinggi yaitu 85.5%, sedangkan untuk daerah tropis kelembaban udara relatif yang dianjurkan dalam SNI 03-6572-2001 adalah 40%-50% atau 55%-60% untuk ruangan yang cenderung padat. Perbedaan / selisih antara kelembaban relatif *indoor* dan *outdoor* tertinggi terjadi pada jam 11.00 yaitu 35% dan selisih terendah terjadi pada jam 14.00 dan 16.00 yaitu 6%.



Gambar 4. 23 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H4-03

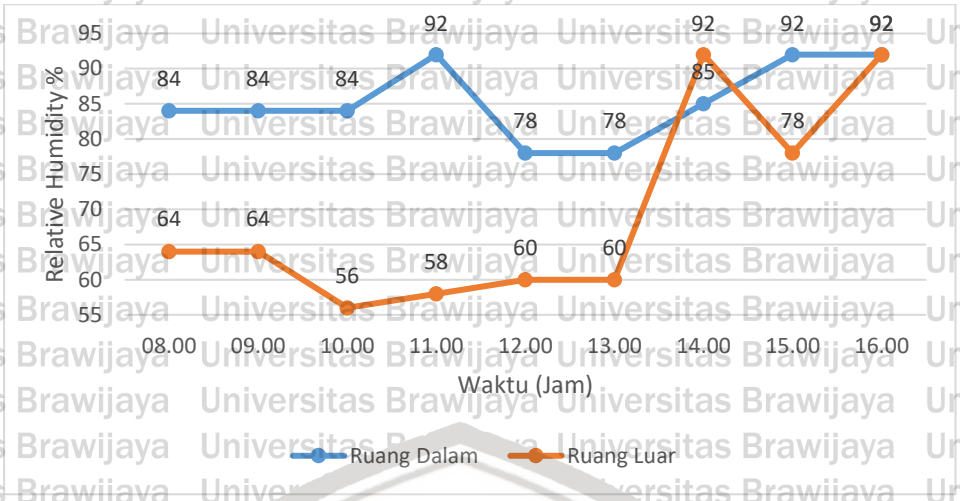
B. Ruang Kuliah H4-08

Kelembaban udara pada ruang kuliah H4-08 selama pengukuran berlangsung dari pukul 08.00 hingga 16.00 cenderung tinggi dan mengalami perubahan yang cukup signifikan pada jam 11.00 dan 12.00 dengan rata-rata kelembaban 85.4%.

Tabel 4. 10 Rata-rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H4-08

Rentang Jam	**RH %**	
	Indoor / Outdoor	
08.00	84	64
09.00	84	64
10.00	84	56
11.00	92	58
12.00	78	60
13.00	78	60
14.00	85	92
15.00	92	78
16.00	92	92
Avg.	**85.4**	**69.3**

Dari tabel hasil pengukuran kelembaban udara pada ruang kuliah H4-08, kondisi kelembaban udara masih belum sesuai standar kelembaban ruang pada daerah tropis yaitu 40% - 60%. Pada ruang kelas ini, terdapat perbedaan kelembaban yang signifikan antara ruang luar dan ruang kelas. Berdasarkan waktu, perbedaan kelembaban udara *indoor* dan *outdoor* paling besar terjadi pada jam 11.00 dengan selisih 34%, sedangkan perbedaan drastic kelembaban *outdoor* terjadi pada pukul 14.00 dimana kelembaban *outdoor* melebihi kelembaban *indoor*.



Gambar 4. 24 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H4-08

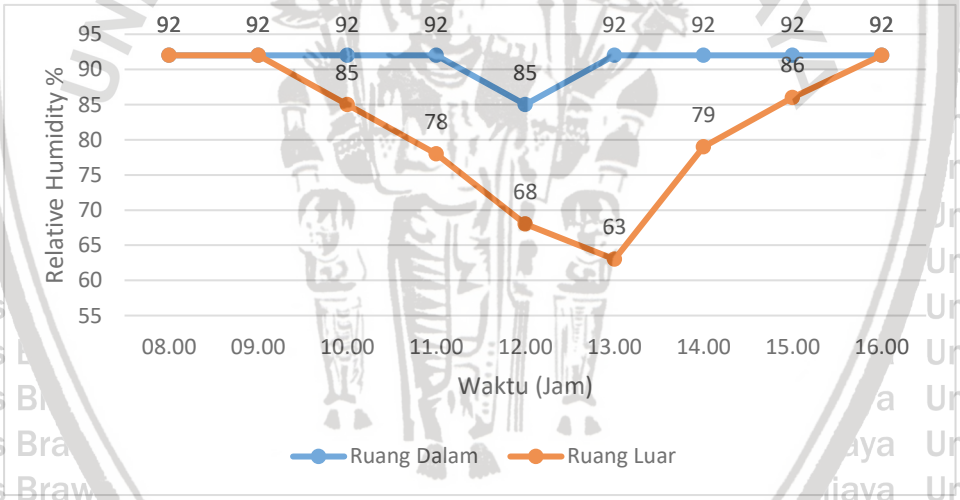
C. Ruang Kuliah H5-03

Kelembaban udara pada ruang H5-03 selama pengukuran berlangsung dari pukul 08.00 hingga 16.00 cenderung tinggi yaitu lebih dari 91%. Perubahan tingkat kelembaban udara *indoor* terjadi pada pukul 11.00 - 13.00, sedangkan kondisi di luar gedung (jendela) penurunan kelembaban udara terjadi pada pukul 09.00 – 15.00 dan berada dibawah persentase kelembaban udara *indoor*.

Dari tabel dan grafik kelembaban udara pada ruang kuliah H5-03, kondisi kelembaban udara masih belum sesuai standar kelembaban ruang pada daerah tropis yaitu 40% - 60%. Kondisi kelembaban udara *outdoor* yang tinggi juga menjadi salah satu alasan mengapa kondisi kelembaban di dalam ruangan sangat tinggi. Selisih antara kelembaban udara relatif *indoor* dan *outdoor* paling besar terjadi pada jam 13.00 dengan selisih 29%, sedangkan selisih kelembaban paling kecil terjadi pada jam 08.00 – 09.00 dan jam 16.00 dengan perbedaan 0%.

Tabel 4. 11 Rata-rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H5-03

Rentang Jam	RH %	
	Indoor / Outdoor	
08.00	92	92
09.00	92	92
10.00	92	85
11.00	92	78
12.00	85	68
13.00	92	63
14.00	92	79
15.00	92	86
16.00	92	92
Avg.	**91.2**	**81.6**



Gambar 4. 25 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H5-03

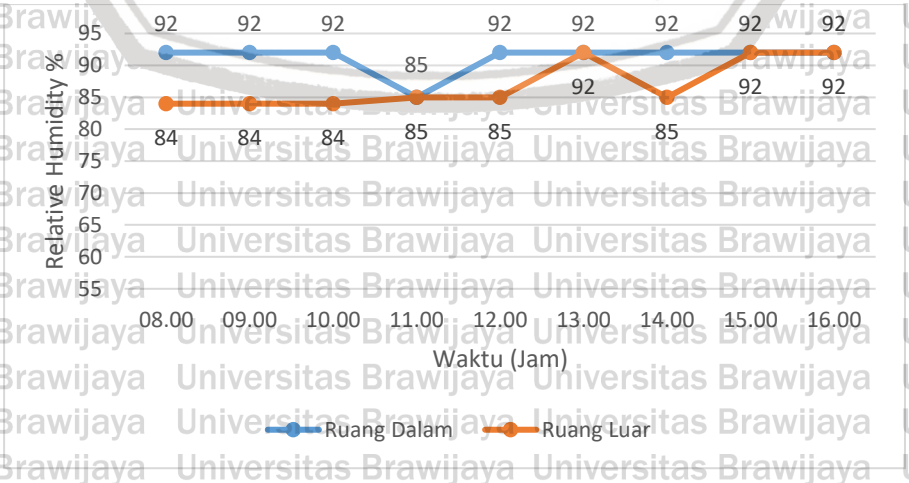
D. Ruang Kuliah H5-08

Kelembaban udara pada ruang kuliah H5-08 selama pengukuran berlangsung dari pukul 08.00 hingga 16.00 sangat tinggi dan cenderung tidak mengalami perubahan dengan rata-rata kelembaban > 91%.

Tabel 4. 12 Rata-rata hasil pengukuran kelembaban udara ruang kuliah H5-08

Rentang Jam	RH %	
	Indoor / Outdoor	
08.00	92	84
09.00	92	84
10.00	92	84
11.00	85	85
12.00	92	85
13.00	92	92
14.00	92	85
15.00	92	92
16.00	92	92
Avg.	**91.2**	**87**

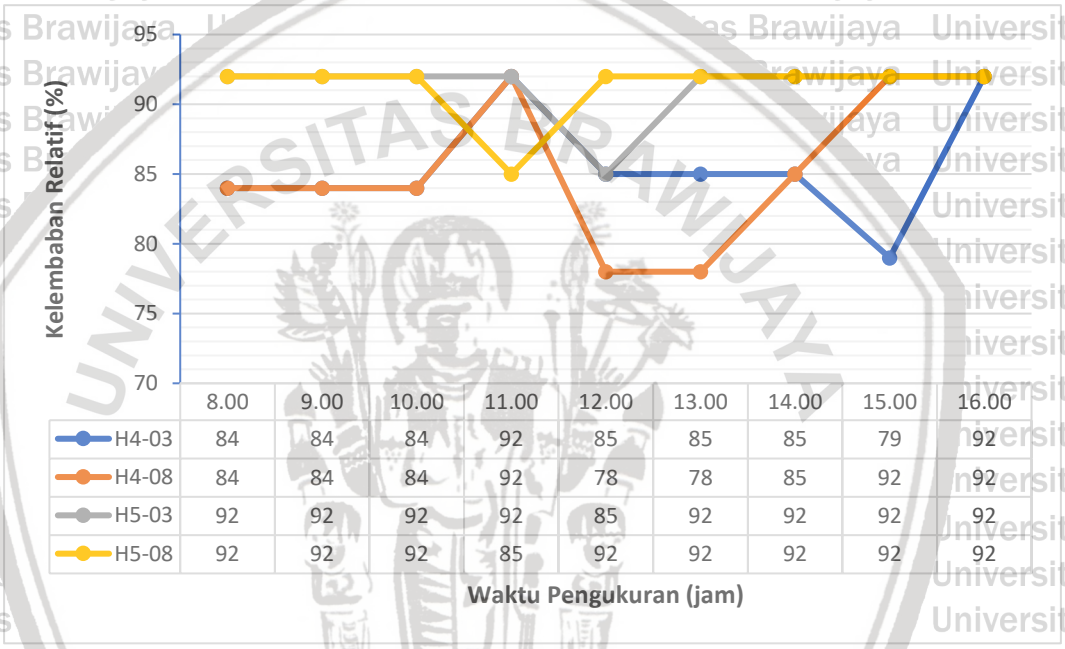
Dari tabel hasil pengukuran kelembaban udara pada ruang kuliah H5-08, kondisi kelembaban udara masih belum sesuai standar kelembaban ruang pada daerah tropis yaitu 40% - 60%. Pada ruang kelas ini, terdapat perbedaan kelembaban antara ruang luar dan ruang kelas, walau tidak signifikan. Perbedaan kelembaban udara relatif antara *indoor* dan *outdoor* paling besar terjadi pada jam 14.00 dengan selisih 7%, sedangkan pada jam 11.00 kelembaban udara *indoor* turun hingga menyamai kelembaban udara *outdoor* pada 85%, kemudian pada pukul 13.00 dan 15.00 – 16.00 tidak terdapat selisih antara kelembaban udara *indoor* dan *outdoor* yaitu pada angka 92%.



Gambar 4. 26 Grafik rata-rata kelembaban udara ruang H5-08

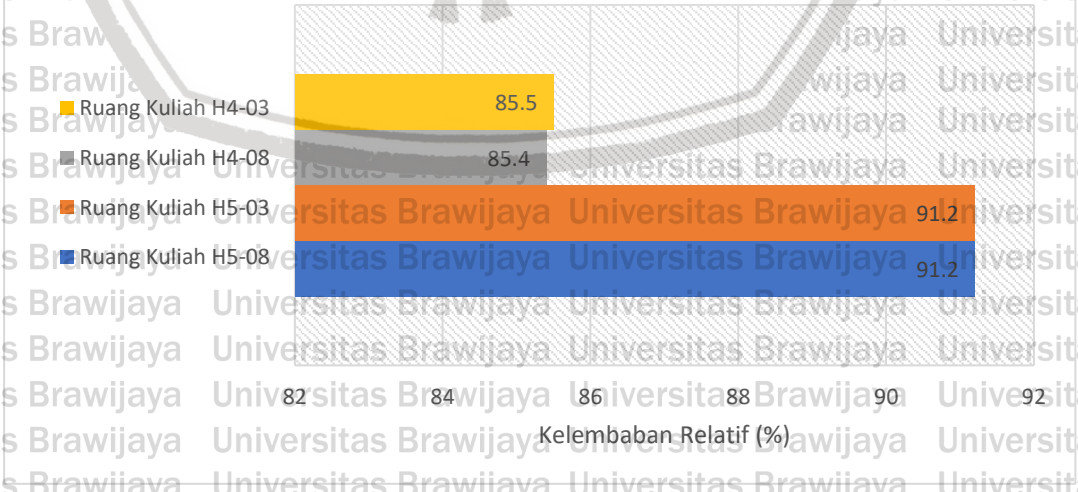
E. Perbandingan kelembaban udara ruang kuliah

Ruang – ruang kelas yang diteliti memiliki nilai kelembaban udara relatif yang cenderung tinggi, dimana kelembaban ruang kuliah pada lantai 4 lebih dari 85% sedangkan ruang kuliah pada lantai 5 memiliki kelembaban yang lebih tinggi yaitu 91.2%. Kondisi ini akan mempengaruhi kenyaman termal pengguna di dalam ruangan dikarenakan penguapan (evaporasi) terhadap kalor yang terjadi sangat kecil. Kelembaban udara optimal pada ruang kelas 55% - 60% akan sulit dicapai melalui penanganan pasif karena kondisi kelebaban *outdoor* juga tinggi.



	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
H4-03	84	84	84	92	85	85	85	79	92
H4-08	84	84	84	92	78	78	85	92	92
H5-03	92	92	92	92	85	92	92	92	92
H5-08	92	92	92	85	92	92	92	92	92

Gambar 4. 27 Perbandingan kelembaban udara ruang kuliah



Gambar 4. 28 Rata rata kelembaban relatif tiap ruang kuliah

Dilihat dari hasil komparasi kelembaban ruang ruang sampel (gambar 4.10), dapat disimpulkan bahwa kelembaban meningkat seiiring ketinggian ruang sampel. Hal ini dapat dipengaruhi juga oleh faktor tingginya temperatur ruang pada lantai 5.

4.2.3 Kecepatan Angin

Pengukuran temperatur udara dilakukan selama 8 jam mulai pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 sesuai dengan waktu penggunaan efektif gedung dan ruang kuliah pascasarjana UNISMA. Posisi pengukuran dilakukan di tengah ruangan dan di luar jendela ruang kelas untuk mengetahui kecepatan angin antara keduanya.

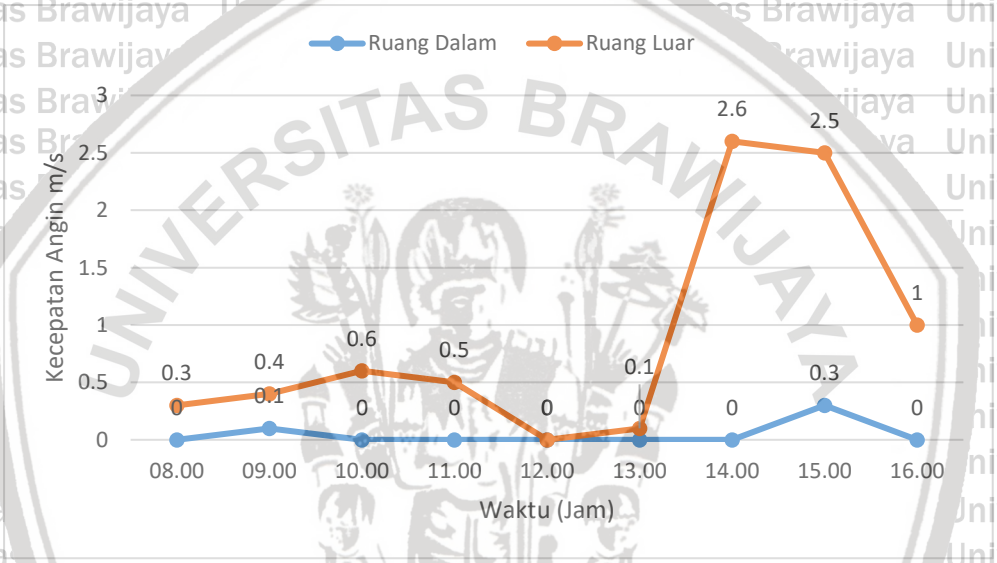
A. Ruang Kuliah H4-03

Kecepatan udara pada H4-03 selama pengukuran berlangsung pada pagi hari sangat rendah, bahkan tidak terdapat pergerakan udara selama interval jam 10.00 – 14.00. Hal ini dikarenakan kerusakan pada satu-satunya bukaan pada ruangan sehinnga jendela bertipe *top-hung* hanya bisa terbuka kurang dari 5^{o}. Pada sore hari tepatnya pukul 15.00 terdapat sedikit angin yang masuk kedalam ruangan dikarenakan kecepatan angin *outdoor* juga tinggi.

Tabel 4. 13 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H4-03

Rentang Jam	**Temp. Udara (ºC) Indoor / Outdoor**		**Kec. Angin (m/s) Indoor / Outdoor**	
08.00	28.0	27.4	0.0	0.3
09.00	28.5	27.0	0.1	0.4
10.00	29.1	27.9	0.0	0.6
11.00	29.1	31.6	0.0	0.5
12.00	30.1	33.3	0.0	0.0
13.00	31.7	32.5	0.0	0.1
14.00	31.6	30.5	0.0	2.6
15.00	31.0	30.8	0.3	2.5
16.00	33.4	30.4	0.0	1.0
Avg.	**30.2**	**30.1**	**0.1**	**0.8**

Kecepatan udara pada ruang kuliah H4-03 berada pada kisaran 0,0 m/s – 0,3 m/s dan kecepatan udara erat kaitannya dengan temperatur ruang pada ruang. Berdasarkan SNI-2001, peningkatan kecepatan udara bertujuan untuk mengkompensasi kenaikan temperatur ruang sehingga kenyamanan termal ruang tetap terjaga. Temperatur ruang pada ruang kuliah H4-03 rata-rata 30.2°C sehingga dibutuhkan kecepatan udara ≥ 0,35m/s untuk mengkompensasinya. Perbedaan kecepatan angin *indoor* dan *outdoor* paling besar terjadi pada jam 14.00 dengan selisih 2,6 m/s, sedangkan pada jam 12.00 perbedaan kecepatan udara tidak mengalami perbedaan sama sekali.



Gambar 4. 29 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H4-03

B. Ruang Kuliah H4-08

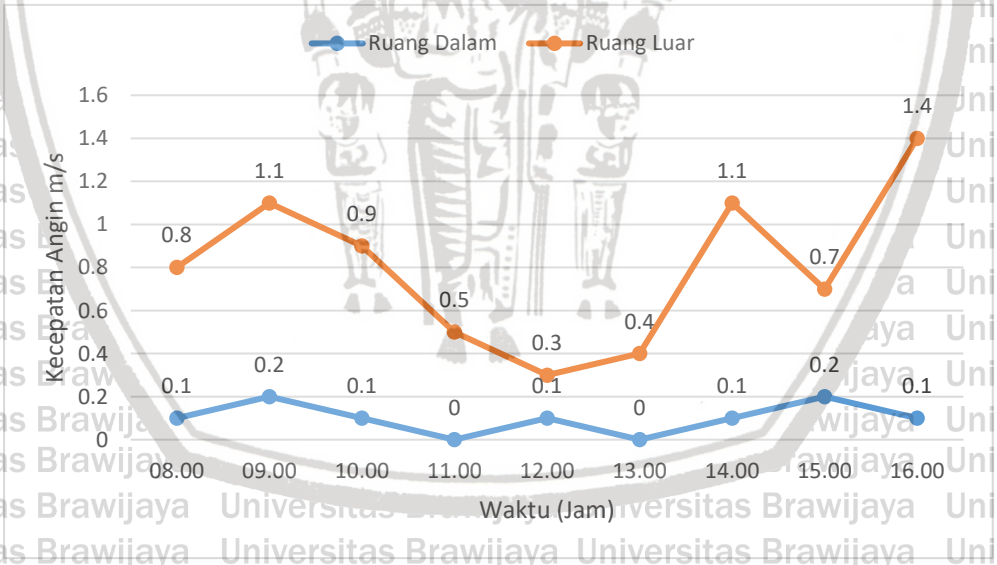
Kecepatan udara pada ruang kuliah H4-08 selama pengukuran berlangsung dari pukul 08.00 hingga 16.00 tercatat rendah, namun setiap interval jam terdapat pergerakan udara di dalam ruang.

Tabel 4. 14 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H4-08

Rentang Jam	Temp. Udara (°C) Indoor / Outdoor		Kec. Angin (m/s) Indoor / Outdoor	
08.00	28.0	26.8	0.1	0.8
09.00	27.9	27.1	0.2	1.1
10.00	28.5	27.9	0.1	0.9

11.00	29.3	29.4	0.0	0.5
12.00	30.8	31.0	0.1	0.3
13.00	31.4	30.3	0.0	0.4
14.00	30.2	29.5	0.1	1.1
15.00	29.1	28.3	0.2	0.7
16.00	30.1	29.1	0.1	1.4
Avg.	**29.4**	**28.8**	**0.1**	**0.8**

Kecepatan udara pada ruang kuliah H4-08 berada pada kisaran 0,0 m/s – 0,2 m/s, dengan rata-rata temperatur ruang pada ruang kelas 29.4ºC. Dibutuhkan kecepatan udara ≥ 0,35m/s untuk mengkompensasi kenyamanan termal ruang, hal ini dapat diatasi dengan rekayasa bukaan dikarenakan kondisi *outdoor* selalu terdapat pergerakan udara dengan kecepatan yang sesuai dengan SNI-2001. Perbedaan kecepatan angin *indoor* dan *ourdoor* paling besar terjadi pada jam 10.00 dengan selisih 0.8 m/s, sedangkan perbedaan kecepatan udara paling kecil terjadi pada jam 12.00 sebesar 0,2 m/s antara *indoor* dan outdoor.



Gambar 4. 30 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H4-08

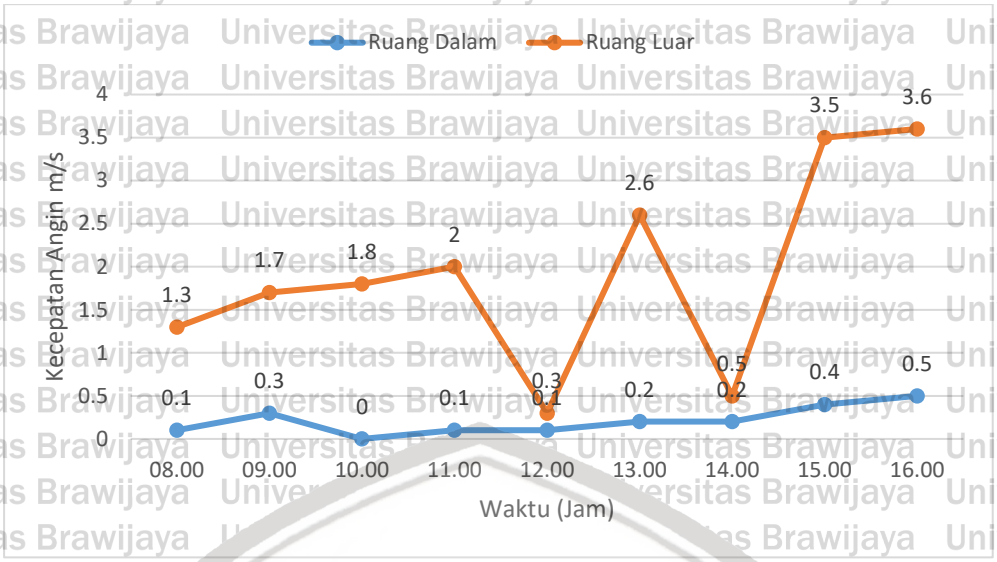
C. Ruang Kuliah H5-03

Kecepatan udara pada ruang kuliah H5-03 selama pengukuran berlangsung dari pukul 08.00 hingga 16.00 tercatat rendah, namun setiap interval jam terdapat pergerakan udara di dalam ruang.

Tabel 4. 15 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H5-03

Rentang Jam	Temp. Udara (ºC)		Kec. Angin (m/s)	
	Indoor / Outdoor		Indoor / Outdoor	
08.00	26.47	26.8	0.1	1.3
09.00	27.5	27.5	0.3	1.7
10.00	28.5	27.8	0.0	1.8
11.00	28.2	27.5	0.1	2.0
12.00	29.5	32.6	0.1	0.3
13.00	30.7	32.8	0.2	2.6
14.00	30.5	31.3	0.2	0.5
15.00	31.2	29.9	0.4	3.5
16.00	31.1	28.7	0.5	3.6
Avg.	**29.2**	**29.4**	**0.2**	**1.9**

Kecepatan udara pada ruang kuliah H5-03 berada pada kisaran 0,0 m/s – 0,4 m/s, dengan rata-rata temperatur ruang pada ruang kelas 29.2ºC. Dibutuhkan kecepatan udara ≥ 0,35m/s untuk mengkompensasi kenyamanan termal ruang, hal ini dapat diatasi dengan rekayasa bukaan dikarenakan kondisi *outdoor* selalu terdapat pergerakan udara, bahkan pada sore hari kecepatan angin tertinggi mencapai 3.6 m/s. Berdasarkan waktu pengukuran, perbedaan antara kecepatan udara *indoor* dan *outdoor* paling besar terjadi pada jam 15.00 dan 16.00 dengan selisih 3.1m/s, sedangkan selisih kecepatan udara paling kecil terjadi pada pukul 12.00 dengan selisih 0,2 m/s.



Gambar 4. 31 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H5-03

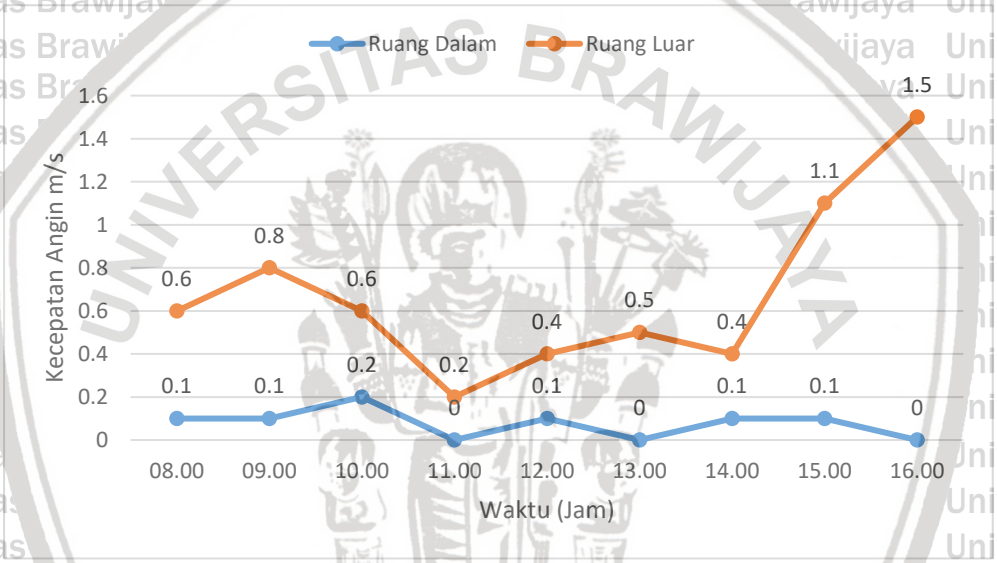
D. Ruang Kuliah H5-08

Kecepatan udara yang tercatat selama pengukuran pada ruang kuliah H5-08 dari pukul 08.00 hingga 16.00 sangat rendah, pergerakan udara di dalam ruang hanya terjadi pada interval jam 08.00 – 10.00 dan interval jam 14.00 – 15.00 dengan kecepatan udara 0,0m/s – 0,2 m/s.

Tabel 4. 16 Rata-rata hasil pengukuran kecepatan udara ruang kuliah H5-08

Rentang Jam	Temp. Udara (ºC)		Kec. Angin (m/s)	
	Indoor / Outdoor		Indoor / Outdoor	
08.00	28.8	27.8	0.1	0.6
09.00	29.0	28.1	0.1	0.8
10.00	28.5	27.4	0.2	0.6
11.00	28.8	29.1	0.0	0.2
12.00	30.1	31.4	0.1	0.4
13.00	30.5	30.3	0.0	0.5
14.00	29.3	28.3	0.1	0.4
15.00	31.3	28.9	0.1	1.1
16.00	29.4	28.2	0.0	1.5
Avg.	**29.5**	**28.8**	**0.1**	**0.6**

Kecepatan udara yang terjadi di dalam ruangan sangat rendah dan temperatur ruang rata-rata 29.5ºC, sehingga untuk mengkondisikan tingkat kenyamanan dibutuhkan peningkatan kecepatan udara sebesar 0,35m/s selama jam operasional berlangsung. Kondisi pergerakan udara *outdoor* cukup rendah, namun memiliki pergerakan angin disetiap interval waktu sehingga dapat digunakan untuk mengkondisikan kecepatan udara *indoor* melalui rekayasa bukaan yang ada. Selama rentang waktu 8 jam, perbedaan kecepatan udara antara *indoor* dan *outdoor* paling besar terjadi pada pukul 16.00 dengan selisih 1,5 m/s, sedangkan perbedaan kecepatan udara paling kecil terjadi padajam 11.00 dengan selisih 0,1 m/s antara *indoor* dan *outdoor*.



Gambar 4. 32 Grafik rata – rata kecepatan angin ruang kuliah H5-08

E. Perbandingan kecepatan udara ruang kuliah

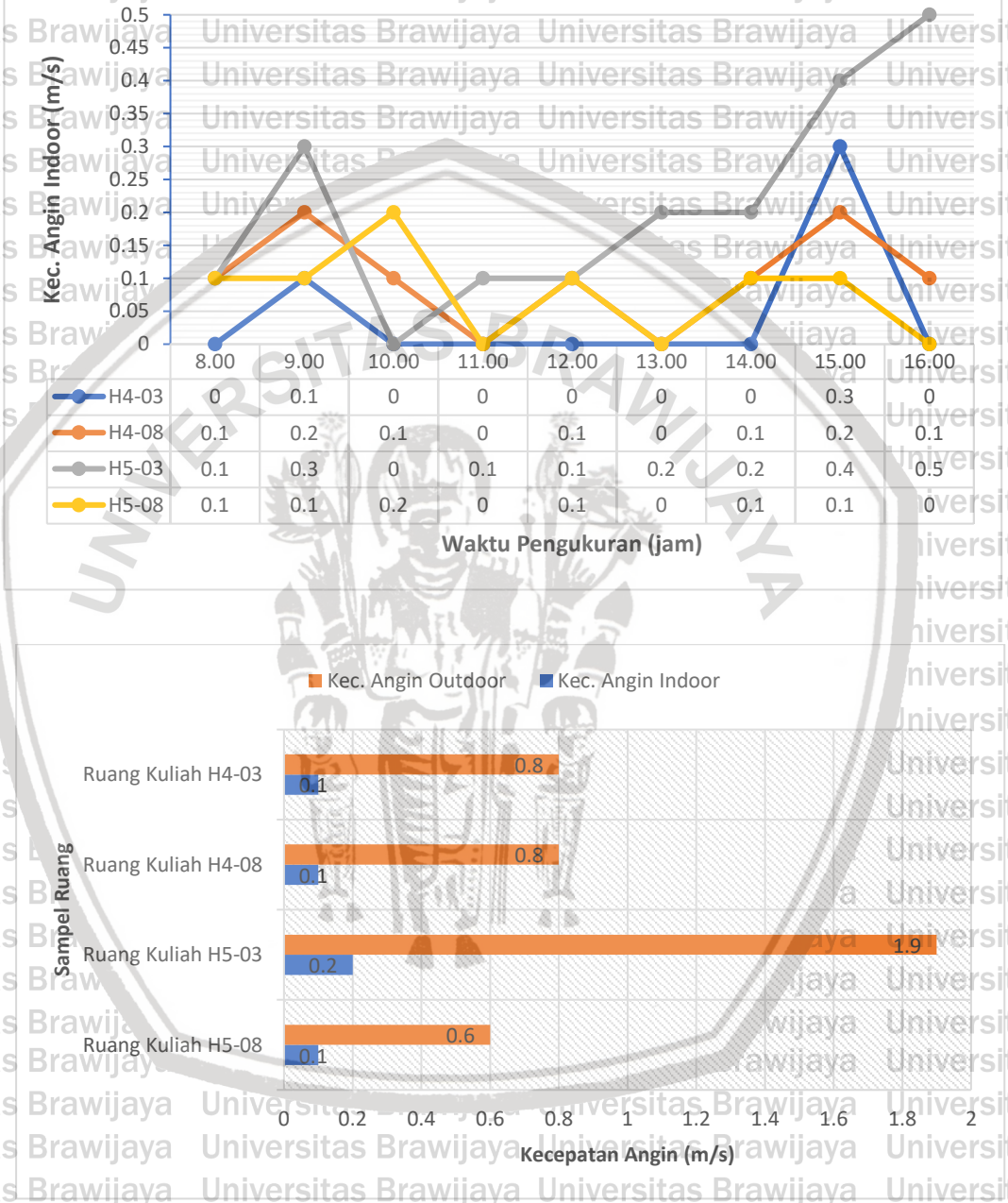
Rata-rata kecepatan udara pada ruang kelas yang diteliti cenderung rendah, dikarenakan temperatur ruang ruangan yang cukup tinggi maka dibutuhkan peningkatan kecepatan udara untuk mencapai kesejukan. Peningkatan kecepatan udara berdasarkan temperatur ruang dijabarkan dalam SNI 03-6572-2001.

Tabel 4. 17 Kecepatan udara dan kesejukan

Kecepatan udara (m/s)	**0,1**	**0,2**	**0,25**	**0,3**	**0,35**
Temperatur ruang (ºC)	25	26,8	26,9	27,1	27,2

Sumber : SNI 03-6572-2001

Untuk mempertahankan kondisi nyaman dan kebutuhan fungsi ruangan yaitu perkuliahan, maka kecepatan udara yang berada di atas kepala tidak boleh lebih besar dari 0,25m/s, namun dapat lebih besar dari 0,25m/s apabila temperatur ruang pada ruangan seperti pada tabel diatas.



Gambar 4. 33 Rata rata kecepatan aliran udara ruang kuliah

Kecepatan udara rata – rata dari seluruh sampel ruangan berada pada kisaran 0.1 m/s yaitu pada tingkatan tidak dapat dirasakan menurut tabel pengaruh angin terhadap pengguna (Frick & Mulyani, 2006), sangat jauh lebih rendah dibandingkan kebutuhan pengoptimalisasian kecepatan udara terkait kesejukan ruangan.

Kecepatan udara rata-rata outdoor memiliki perbedaan signifikan dibanding kecepatan udara indoor, hal ini mengindikasikan adanya peluang untuk meningkatkan kecepatan udara di ruang dalam dikarenakan pergerakan udara luar ruangan yang mencukupi. Rekayasa penambahan bukaan di beberapa titik pada fasad dinilai cukup membantu untuk mengoptimalkan pergerakan udara di dalam ruangan.

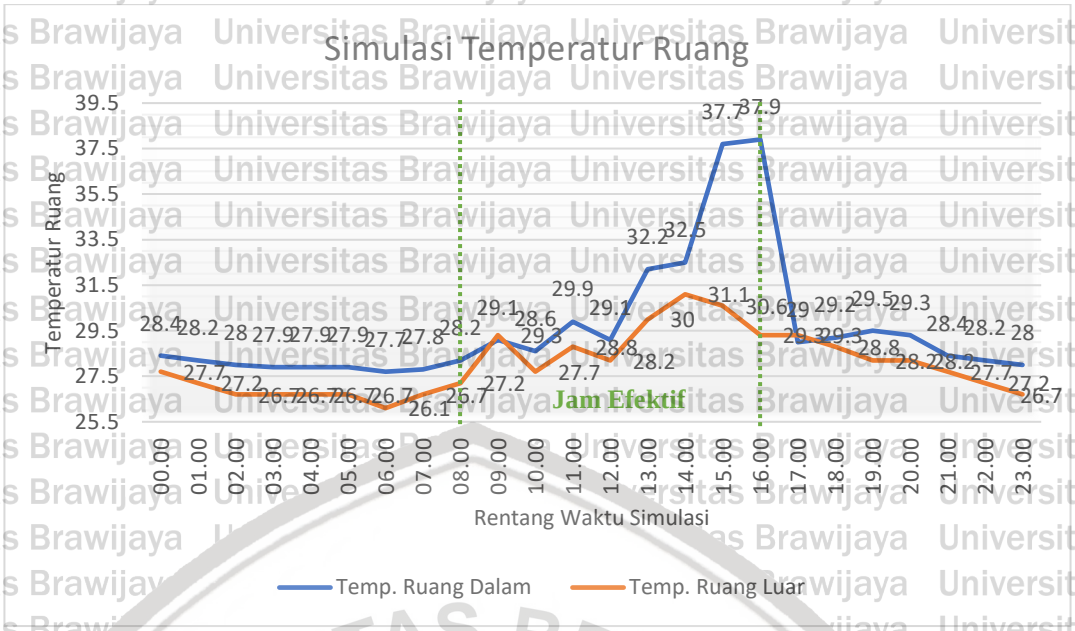
4.3 Simulasi Ruang Sampel

4.3.1 Simulasi Temperatur Ruang Kuliah

Simulasi Temperatur Ruang bertujuan untuk mengetahui *hourly temperature* yaitu nilai temperatur udara perjam dalam satu hari yang dibutuhkan untuk validasi software. Simulasi *Spatial Comfort* diatur pada tanggal 29 April dan *weather data* kota Malang menyesuaikan dengan tanggal pengukuran lapangan, selama 24 jam sehingga hasil simulasi dapat dikomparasikan dengan pengukuran lapangan yang telah dilakukan dan ditentukan valid apabila *margin of error* kurang dari 15%. Hasil akhir simulasi berupa grafik temperatur ruang dalam (*indoor*) dan ruang luar (*outdoor*) per jam *(hourly temperature).*

A. Ruang Kuliah H4-03

Dari hasil simulasi didapatkan data bahwa temperatur harian (*daily temperature*) *indoor* lebih tinggi dari *outdoor* yaitu sebesar 29.60ºC : 28.03ºC dengan rentang temperatur *indoor* 27.7ºC–37.9ºC dan rentang temperatur *outdoor* 26.1ºC – 31.1ºC. Nilai rata rata harian temperatur *indoor* yaitu 29.60 ºC dan nilai rata rata harian temperatur *outdoor* yaitu 28.03ºC.

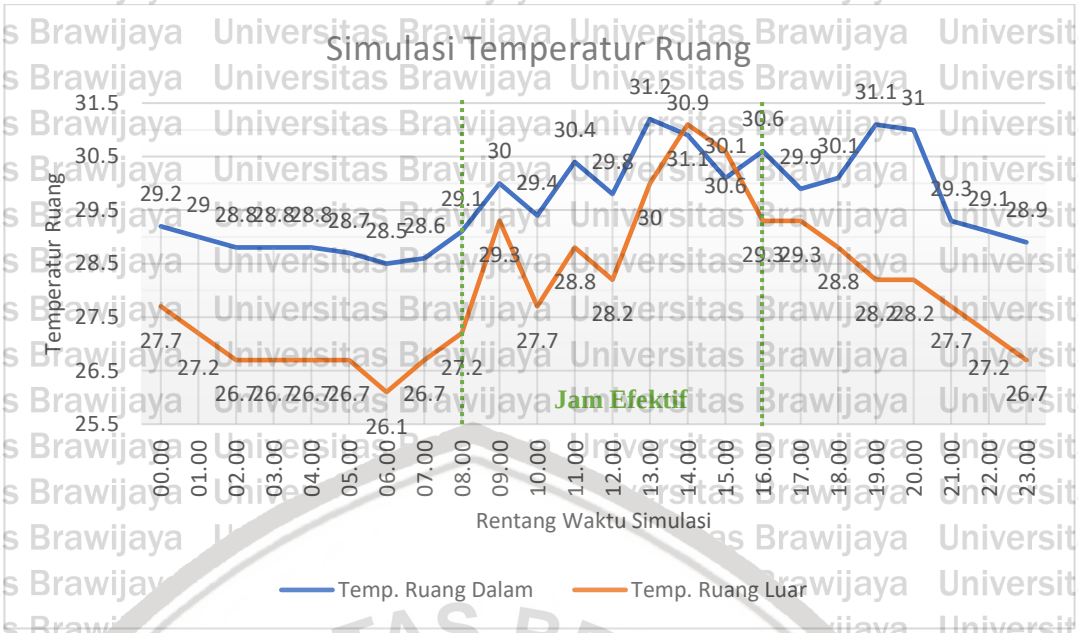


Gambar 4. 34 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H4-03

Dari tabel hasil simulasi temperatur yang dilakukan, temperatur ruang tertinggi terjadi pada interval pukul 13.00 – 16.00 dengan rata rata temperatur 34.5ºC (Diagram 4.21). Selisih temperatur *indoor* dan *outdoor* paling besar yaitu 7.1ºC yang terjadi pada rentang waktu 15.00 dan selisih paling kecil yaitu -0.3ºC yang terjadi pada jam 17.00. Terdapat persamaan pada hasil pengukuran eksisting dan simulasi yaitu terjadi kenaikan temperatur ruang *indoor* signifikan pada jam 13.00 dan temperatur *indoor* paling tinggi pada rentang waktu 15.00 dan 16.00.

B. Ruang Kuliah H4-08

Dari hasil simulasi didapatkan data bahwa temperatur harian (*daily temperature*) *indoor* lebih tinggi dari *outdoor* yaitu sebesar 29.63ºC : 28.03ºC dengan rentang temperatur *indoor* 28.5ºC–31.2ºC dan rentang temperatur *outdoor* 26.1ºC – 31.1ºC. Nilai rata rata harian temperatur *indoor* yaitu 29.60 ºC dan nilai rata rata harian temperatur *outdoor* yaitu 28.03ºC.

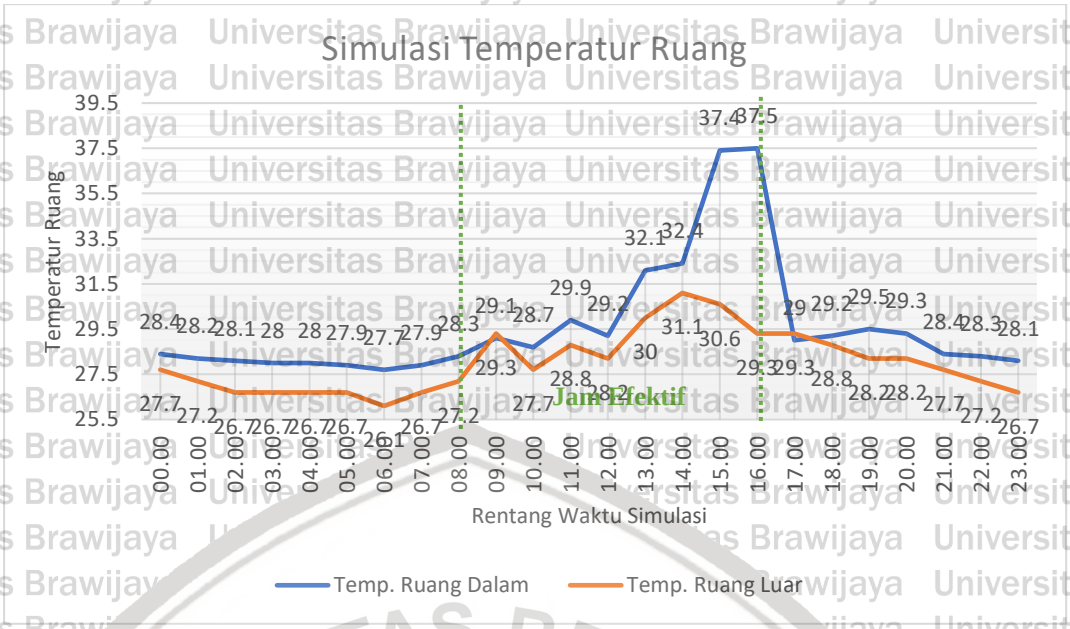


Gambar 4. 35 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H4-08

Dari tabel hasil simulasi temperatur udara yang dilakukan, temperatur ruang tertinggi terjadi pada interval pukul 13.00 dan 14.00 dengan rata rata temperatur 31.05 ºC (diagram 4.22). Selisih temperatur *indoor* dan *outdoor* paling besar yaitu 2.9 ºC yang terjadi pada rentang waktu 19.00 dan selisih paling kecil yaitu -0.5ºC yang terjadi pada jam 15.00. Terdapat persamaan pada hasil pengukuran eksisting dan simulasi yaitu terjadi kenaikan temperatur ruang signifikan pada jam 13.00. Selain itu juga terlihat bahwa temperatur *indoor* naik pada rentang waktu 19.00 dan 20.00 hal itu mengindikasikan adanya pelepasan kalor oleh material pelingkup ruang.

C. Ruang Kuliah H5-03

Dari hasil simulasi didapatkan data bahwa temperatur harian (*daily temperature*) *indoor* lebih tinggi dari *outdoor* yaitu sebesar 29.60ºC : 28.03ºC dengan rentang temperatur *indoor* 26.1ºC– 37.5ºC dan rentang temperatur *outdoor* 26.1ºC – 31.1ºC. Nilai rata rata harian temperatur *indoor* yaitu 29.60 ºC dan nilai rata rata harian temperatur *outdoor* yaitu 28.03ºC.

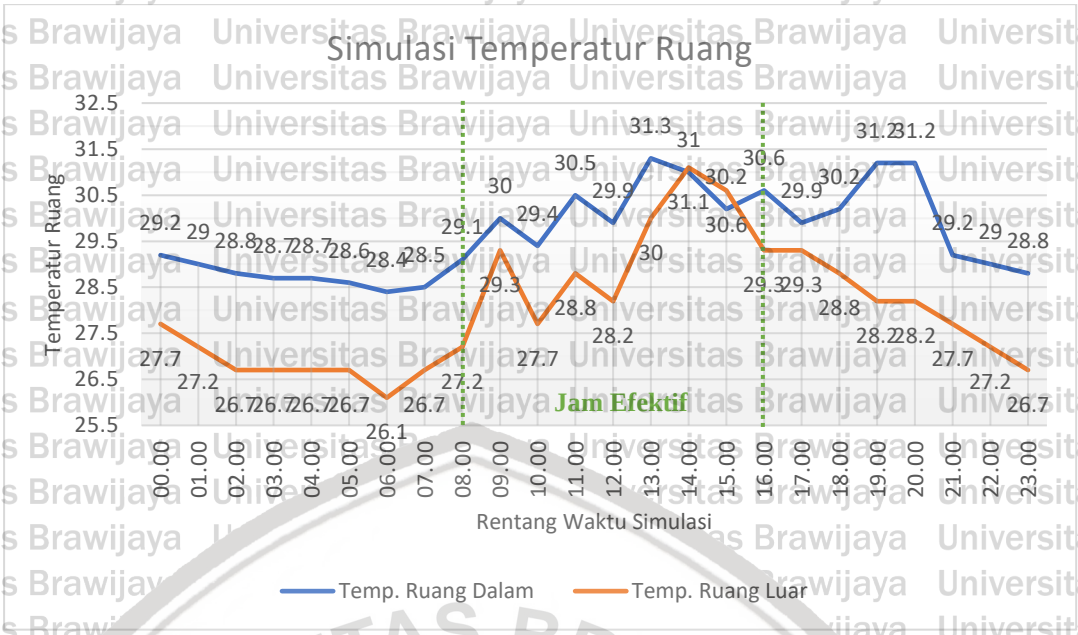


Gambar 4. 36 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H5-03

Dari tabel hasil simulasi temperatur yang dilakukan (diagram 4.23), temperatur ruang tertinggi terjadi pada interval pukul 15.00 dan 16.00 dengan rata rata temperatur 37.45 ^{o}C. Selisih temperatur *indoor* dan *outdoor* paling besar yaitu 8.18 ^{o}C yang terjadi pada rentang waktu 16.00 dan selisih paling kecil yaitu -0.2^{o}C yang terjadi pada jam 09.00. Terdapat persamaan pada hasil pengukuran eksisting dan simulasi yaitu terjadi kenaikan temperatur *indoor* signifikan pada jam 13.00.

D. Ruang Kuliah H5-08

Dari hasil simulasi didapatkan data bahwa temperatur harian (*daily temperature*) *indoor* lebih tinggi dari *outdoor* yaitu sebesar 29.64^{o}C : 28.03^{o}C dengan rentang temperatur *indoor* 28.4^{o}C– 31.3^{o}C dan rentang temperatur *outdoor* 26.1^{o}C – 31.1^{o}C. Nilai rata rata harian temperatur *indoor* yaitu 29.64 ^{o}C dan nilai rata rata harian temperatur *outdoor* yaitu 28.03^{o}C.

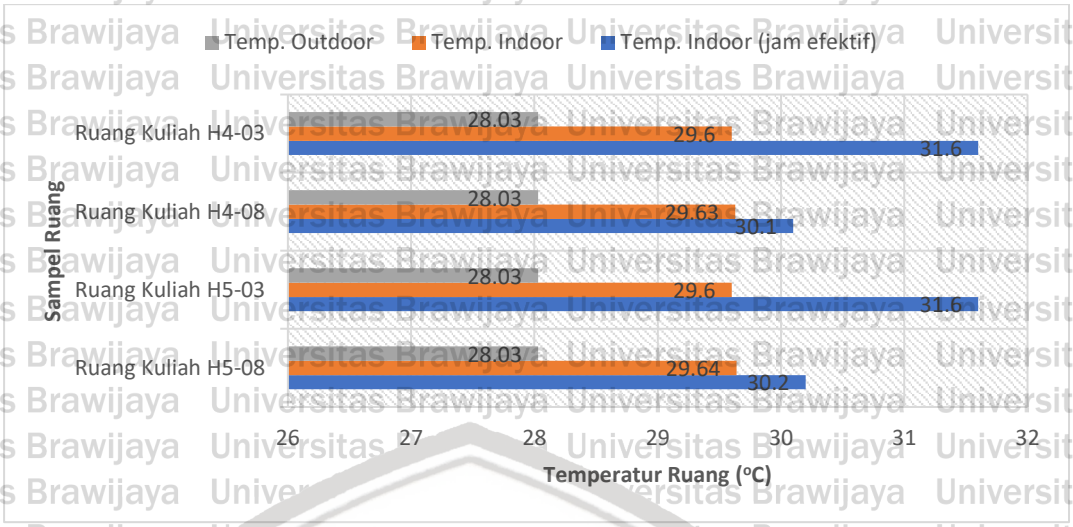


Gambar 4. 37 Grafik hasil simulasi nilai hourly temperatur ruang kuliah H5-08

Dari hasil simulasi temperatur yang dilakukan (diagram 4.24), temperatur ruang tertinggi terjadi pada interval pukul 13.00 dan 14.00 dengan rata rata temperatur 31.15 ºC. Selisih temperatur *indoor* dan *outdoor* paling besar yaitu 2.3ºC yang terjadi pada rentang waktu 06.00 dan selisih paling kecil yaitu -0.4ºC yang terjadi pada jam 15.00. Terdapat persamaan pada hasil pengukuran eksisting dan simulasi yaitu terjadi kenaikan temperatur ruang signifikan pada jam 13.00. Selain itu juga terlihat bahwa temperatur ruang naik pada rentang waktu 19.00 dan 20.00 hal itu mengindikasikan adanya pelepasan kalor oleh material pelingkup ruang.

E. Perbandingan Hasil Simulasi Temperatur Ruang

Ruang kuliah yang diteliti memiliki nilai temperatur ruangan diatas suhu optimal ruang yaitu 27.6 ºC – 28.3 ºC. Dimana pada suhu 26°C – 30°C daya tahan dan kemampuan kerja penghuni ruangan mulai menurun (Lippsmeier, 1997). Keempat ruangan sampel tidak memiliki perbedaan temperatur *indoor* yang signifikan, dan temperatur *outdoor* yang bernilai sama yakni 28.03 ºC. Perbedaan dengan pengukuran eksisting terjadi karena rentang waktu simulasi adalah 24 jam, sedangkan pengukuran langsung dihasilkan dari rata rata temperatur pada rentang waktu operasional gedung pascasarjan UNISMA yaitu 8 jam.



Gambar 4. 38 Perbandingan nilai Daily Temperatur ruang kuliah

Dengan melihat grafik diatas (diagram 4.25), dapat disimpulkan bahwa dengan grafik temperatur yang berbeda pada setiap ruang sampel namun tidak ditemukan rata rata temperatur harian yang berbeda signifikan karena masing-masing ruang sampel melepaskan kalor yang tersimpan pada material pelingkup saat malam hari dan pada pukul 06.00 suhu ruang sampel kembali stabil pada temperatur 27.7 °C – 28.5 °C.

4.3.2 Simulasi Kecepatan Angin Ruang Kuliah

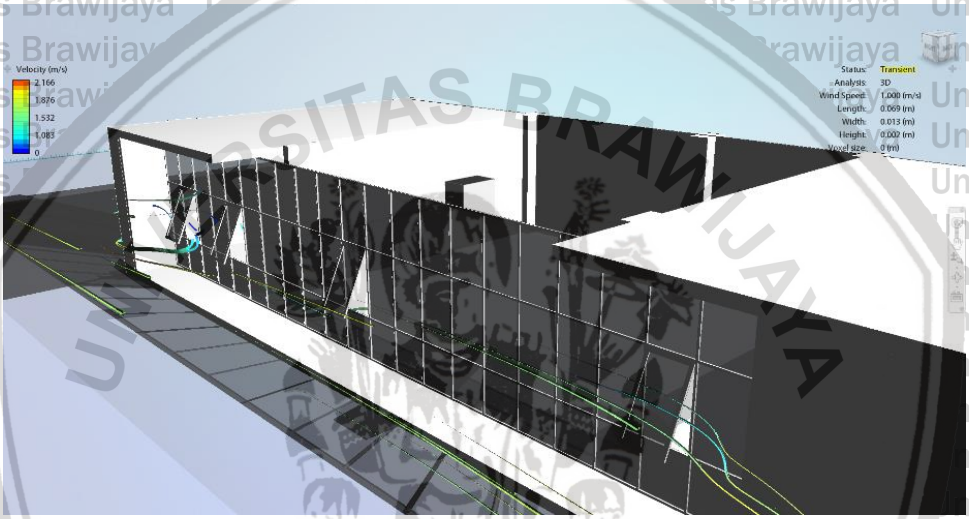
Simulasi kecepatan angin bertujuan untuk mengetahui nilai kecepatan angin untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran demi mendapatkan hasil yang valid. Simulasi menggunakan software *Autodesk Flow Design* dengan data kecepatan angin sesuai hasil pengukuran. Karena denah tipe ruang lantai 4 dan 5 tipikal, maka hanya disimulasikan ruangan berdasarkan tipe yaitu tipe 03 dan 08. Hasil simulasi berupa rata rata kecepatan angin (*v*) indoor dan outdoor.

A. Ruang Kuliah Tipe 03

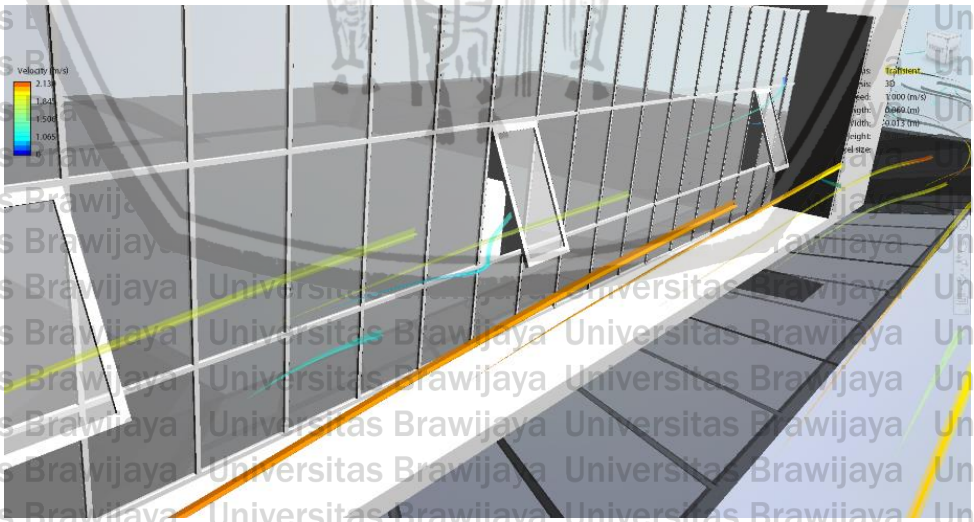
Dari hasil simulasi diketahui bahwa ruang tipe 03 dengan dimensi ruang yang besar tidak mendapatkan kecepatan angin yang cukup. Kecepatan angin outdoor diinput sesuai rata rata hasil pengukuran lapangan yaitu 1 m/s, sedangkan kecepatan angin indoor menunjukan nilai 0.1 – 0.2 m/s.

Dari gambar 4.17, dapat dilihat bahwa desain setback paada fasad bangunan mempengaruhi kecepatan angin yang akan masuk ke dalam ruangan, keberadaan

setback dengan kedalaman 90cm mengurangi kecepatan angin yang berbelok ke dalam setback. Selain itu jumlah bukaan pada ruang kuliah tipe 03 tidak sebanding dengan dimensi luasan ruang kuliah, dengan hanya satu bukaan dan tidak adanya outlet pada ruang mengakibatkan jumlah angin yang masuk tidak dapat mencukupi kebutuhan pendinginan. Dapat dibandingkan dengan ruang kuliah yang lain dengan 2 unit jendela sebagai inlet dan outlet, angin yang masuk lebih terlihat secara signifikan (gambar 4.17). Jenis jendela berupa jendela tipe awning dengan persentase ventilasi 75% juga dinilai kurang efisien untuk menangkap angin dalam setback fasad (gambar 4.18).

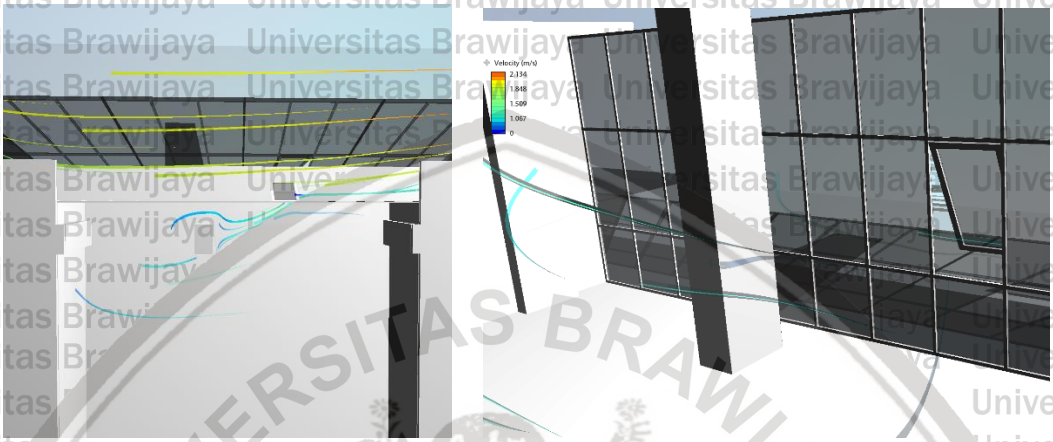


Gambar 4. 39 Efek desain setback pada ruang kuliah tipe 03



Gambar 4. 40 Jendela tipe awning kurang efisien dalam menangkap angin

Jika dilihat dari tampak atas (gambar 4.19), terdapat angin yang memasuki ruangan dengan kecepatan 0.1-0.5 m/s kurang lebih satu meter dari bukaan jendela. Namun angin tidak dapat mencapai area tengah ruang kuliah dikarenakan tidak adanya outlet lainnya baik pada fasad maupun dinding seberang ruangan sehingga tidak terjadi proses *cross ventilation*.

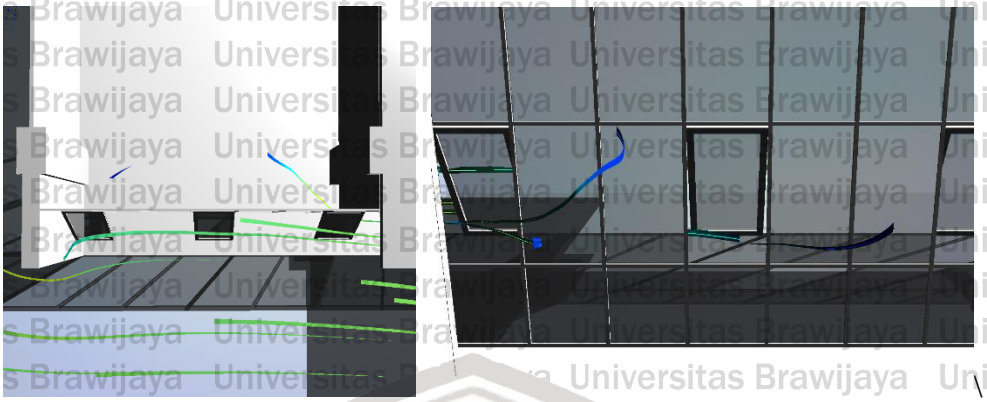


Gambar 4. 41 Tidak adanya outlet menyebabkan pergerakan angin terhambat

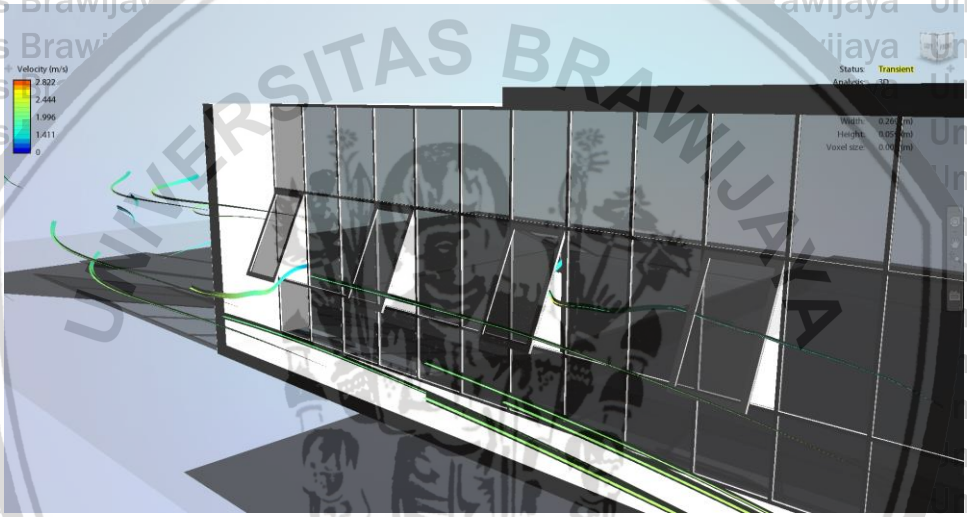
B. Ruang Kuliah Tipe 08

Dari hasil simulasi (gambar 4.20) diketahui bahwa ruang tipe 08 dengan dimensi ruang lebih kecil juga tidak mendapatkan kecepatan angin yang cukup. Kecepatan angin outdoor diinput sesuai rata rata hasil pengukuran lapangan yaitu 1 m/s, sedangkan kecepatan angin indoor menunjukan nilai 0.1 – 0.4 m/s.

Hasil lebih baik ditemukan pada simulasi pergerakan dan kecepatan angin pada ruang kuliah tipe 08, meskipun menggunakan desain fasad dengan setback namun jumlah bukaan mencukupi sesuai dimensi ruang. Dari tampak atas simulasi terlihat angin yang masuk dapat bergerak kearah jendela lain sebagai outlet (gambar 4.20), kelemahan desain pada ruang kuliah yaitu tidak terdapat outlet sebagai cross ventilation sehingga angin tidak mencakup seluruh ruangan kuliah (gambar 4.20). Selain itu, jenis jendela berupa tipe awning dengan persentase ventilasi 75% dinilai kurang efisien untuk menangkap angin dalam setback fasad (gambar 4.21).



Gambar 4. 42 Efek inlet dan outlet pada beberapa jendela di ruang tipe 08



Gambar 4. 43 Jendela awning pada ruang tipe 08

4.3.4 Perbandingan Pengukuran dan Simulasi

Perbandingan dilakukan untuk mengetahui validitas data simulasi, apabila data hasil pengukuran lapangan dan data simulasi software memiliki perbedaan namun tidak mencapai 15% maka data simulasi dianggap valid dan layak digunakan sebagai pengujian hasil rekomendasi desain. Terdapat 3 variabel utama dalam sistem pendinginan alami bangunan, yaitu Temperatur udara kering (*dry-bulb temperature / DBT*), Kelembaban relatif (*relative humidity / rH*), serta kecepatan angin (*v*). Temperatur udara kering dapat disimulasikan menggunakan software *Ecotect Analysis*, sedangkan kecepatan angin yang nantinya akan mempengaruhi kelembaban relatif dapat disimulaasikan dengan software *Autodesk Flow Design*.

Untuk membandingkan kedua hasil, maka simulasi diatur pada tanggal 29 April kemudian diambil hasil simulasi dari rentang waktu pukul 08.00 hingga 16.00 sesuai data pengukuran lapangan dan akan dipresentasekan hasil perbedaan temperatur udara kering (DBT) ruang kuliah per jam pada setiap ruangan dan disimpulkan validitas hasil simulasi.

A. Ruang Kuliah H4-03

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi yang didapatkan dan diolah sebelumnya didapatkan rata-rata temperatur ruang *indoor* dan *outdoor* pada ruang kuliah H4-03. Data yang dibandingkan yaitu temperatur udara kering ruang kuliah pada tanggal 29 April pada rentang waktu 08.00 hingga 16.00 dari hasil pengukuran dan simulasi.

Tabel 4. 18 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H4-03

Rentang Jam	Temperatur Pengukuran Indoor / Outdoor		Temperatur Simulasi Indoor / Outdoor		Persentase Validitas
08.00	26	26.6	28.2	27.2	8%
09.00	26.4	27.0	29.1	29.3	9%
10.00	26.8	27.8	28.6	27.7	6%
11.00	26.8	28.6	29.9	28.8	10%
12.00	27.8	30.8	29.1	28.2	4%
13.00	29.0	34.0	32.2	30.0	10%
14.00	30.0	32.0	32.5	31.1	8%
15.00	32.4	32.0	37.7	30.6	14%
16.00	32.8	33.8	37.9	29.3	13%
Avg.	**28.6**	**30.2**	**31.6**	**29.1**	**9%**

Dari hasil data yang telah diolah sebelumnya, nilai temperatur udara kering ruang kuliah pada hasil pengukuran memiliki rata-rata yaitu 28.6 ^{o}C dan hasil simulasi menunjukan temperatur sebesar 31.6 ^{o}C. Sedangkan nilai temperatur ruang luar memiliki rata-rata 30.2 ^{o}C pada hasil pengukuran dan 29.1 ^{o}C pada hasil simulasi. Diketahui bahwa perbedaan nilai temperatur udara kering ruang kuliah yaitu 3 ^{o}C, sedangkan dari temperatur per jam perbedaan paling signifikan yaitu pada sore hari ketika matahari pada sudut rendah dan ruangan terpapar *direct sunlight* yaitu 5.5 ^{o}C pada jam 15.00 dan 4.3 ^{o}C pada jam 16.00, namun persentase perbedaan

hanya 13% - 14%. Sementaara rata rata persentase perbedaan hasil pengukuran dan simulasi pada ruang kuliah H4-03 yaitu 9%.

B. Ruang Kuliah H4-08

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi yang didapatkan dan diolah sebelumnya didapatkan rata-rata temperatur ruang *indoor* dan *outdoor* pada ruang kuliah H4-08. Data yang dibandingkan yaitu temperatur udara kering ruang kuliah pada tanggal 29 April pada rentang waktu 08.00 hingga 16.00 dari hasil pengukuran dan simulasi.

Tabel 4. 19 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H4-08

Rentang Jam	Temperatur Pengukuran Indoor / Outdoor		Temperatur Simulasi Indoor / Outdoor		Persentase Validasi
08.00	27.4	28.0	29.1	27.2	6%
09.00	27.0	27.8	30	29.3	10%
10.00	27.0	27.8	29.4	27.7	8%
11.00	27.8	29.4	30.4	28.8	9%
12.00	29.6	31.0	29.8	28.2	1%
13.00	30.0	31.0	31.2	30	4%
14.00	29.4	29.6	30.9	31.1	5%
15.00	27.4	29.2	30.1	30.6	9%
16.00	28.6	29.8	30.6	29.3	7%
Avg.	**28.2**	**29.3**	**30.1**	**29.1**	**6%**

Dari hasil data yang telah diolah sebelumnya, nilai temperatur udara kering ruang kuliah pada hasil pengukuran memiliki rata-rata yaitu 28.2 ^{o}C dan hasil simulasi menunjukan temperatur sebesar 30.1 ^{o}C. Sedangkan nilai temperatur ruang luar memiliki rata-rata 29.3 ^{o}C pada hasil pengukuran dan 29.1 ^{o}C pada hasil simulasi. Diketahui bahwa perbedaan nilai temperatur udara kering ruang kuliah yaitu 1.9 ^{o}C, sedangkan dari temperatur per jam perbedaan paling signifikan yaitu pada pagi hari ketika matahari pada sudut rendah dan ruangan terpapar *direct sunlight* yaitu 3 ^{o}C pada jam 9.00, dan persentase perbed

aan 10%. Sementara rata rata persentase perbedaan hasil pengukuran dan simulasi pada ruang kuliah H4-08 yaitu 6%.

C. Ruang Kuliah H5-03

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi yang didapatkan dan diolah sebelumnya didapatkan rata-rata temperatur ruang indoor dan outdoor pada ruang kuliah H5-03. Data yang dibandingkan yaitu temperatur udara kering ruang kuliah pada tanggal 29 April pada rentang waktu 08.00 hingga 16.00 dari hasil pengukuran dan simulasi.

Tabel 4. 20 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H5-03

Rentang Jam	Temperatur Pengukuran Indoor / Outdoor		Temperatur Simulasi Indoor / Outdoor		Persentase Validitas
08.00	26.0	26.8	28.3	27.2	8%
09.00	26.6	27.4	29.1	29.3	9%
10.00	26.8	28.2	28.7	27.7	7%
11.00	26.2	30.8	29.9	28.8	12%
12.00	28.2	34.0	29.2	28.2	3%
13.00	28.0	35.6	32.1	30.0	13%
14.00	29.8	32.0	32.4	31.1	8%
15.00	32.5	32.0	37.4	30.6	13%
16.00	31.8	29.8	37.5	29.3	15%
Avg.	**28.4**	**30.7**	**31.6**	**29.1**	**10%**

Dari hasil data yang telah diolah sebelumnya, nilai temperatur udara kering ruang kuliah pada hasil pengukuran memiliki rata-rata yaitu 28.4 ^{o}C dan hasil simulasi menunjukan temperatur sebesar 31.6 ^{o}C. Sedangkan nilai temperatur ruang luar memiliki rata-rata 30.2 ^{o}C pada hasil pengukuran dan 29.1 ^{o}C pada hasil simulasi. Diketahui bahwa perbedaan nilai temperatur udara kering ruang kuliah yaitu 3.2 ^{o}C, sedangkan dari temperatur per jam perbedaan paling signifikan yaitu pada siang dan sore hari yaitu 4.1 ^{o}C pada jam 11.00 dan 15.00 serta 6.3 ^{o}C pada jam 16.00, persentase perbedaan mencapai 13% - 15%. Namun rata rata persentase perbedaan hasil pengukuran dan simulasi pada ruang kuliah H5-03 yaitu 10%.

D. Ruang Kuliah H5-08

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi yang didapatkan dan diolah sebelumnya didapatkan rata-rata temperatur ruang indoor dan outdoor pada ruang kuliah H5-08. Data yang dibandingkan yaitu temperatur udara kering ruang kuliah pada tanggal 29 April pada rentang waktu 08.00 hingga 16.00 dari hasil pengukuran dan simulasi.

Tabel 4. 21 Data pengukuran hasil pengukuran dan simulasi H5-08

Rentang Jam	Temperatur Pengukuran Indoor / Outdoor		Temperatur Simulasi Indoor / Outdoor		Persentase Validasi
08.00	26	26.8	29.1	27.2	11%
09.00	26.4	27.4	30	29.3	12%
10.00	26.8	27.4	29.4	27.7	9%
11.00	28.8	29	30.5	28.8	6%
12.00	27.4	29.6	29.9	28.2	8%
13.00	30.6	30.4	31.3	30	2%
14.00	27.2	29	31	31.1	12%
15.00	28.8	29.8	30.2	30.6	5%
16.00	27.2	28.4	30.6	29.3	11%
Avg.	**27.7**	**28.6**	**30.2**	**29.1**	**8%**

Dari hasil data yang telah diolah sebelumnya, nilai temperatur udara kering ruang kuliah pada hasil pengukuran memiliki rata-rata yaitu 27.7 ^{o}C dan hasil simulasi menunjukan temperatur sebesar 30.2 ^{o}C. Sedangkan nilai temperatur ruang luar memiliki rata-rata 28.6 ^{o}C pada hasil pengukuran dan 29.1 ^{o}C pada hasil simulasi. Diketahui bahwa perbedaan nilai temperatur udara kering ruang kuliah yaitu 2.5 ^{o}C, sedangkan dari temperatur per jam perbedaan paling signifikan yaitu pada pagi dan sore hari ketika ruangan terpapar *direct sunlight* yaitu 3.1 ^{o}C pada jam 08.00 dan 16.00, serta 3.8 ^{o}C dengan persentase perbedaan 11% - 12%. Sementara rata rata persentase perbedaan hasil pengukuran dan simulasi pada ruang kuliah H5-08 yaitu 8%.

E. Kesimpulan Uji Perbandingan

Dari hasil perbandingan hasil pengukuran lapangan dan simulasi diketahui bahwa terdapat beberapa perbedaan pada nilai suhu temperatur ruang dalam dan ruang luar. Nilai deviasi temperatur udara kering (*DBT*) akan diubah kedalam persentase dan kemudian disimpulkan validitas data hasil simulasi *Ecotect Analysis.*

Tabel 4. 22 Hasil perbandingan pengukuran lapangan dan simulasi

Ruang Kuliah	Validitas Hasil Simulasi Ruang Kuliah
Ruang Kuliah H4-03	**9%**
Ruang Kuliah H4-08	**6%**
Ruang Kuliah H5-03	**10%**
Ruang Kuliah H5-08	**8%**
Avg.	**8.25%**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa nilai deviasi terbesar berada pada hasil perhitungan nilai temperatur ruang kuliah H5-03. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran seperti perubahan cuaca, perubahan intensitas awan, paparan sinar matahari dalam ruang, dan kecepatan angin yang berubah menjadi penyebab terjadinya perbedaan hasil pengukuran. Namun dari hasil perbandingan, persentase selisih nilai temperatur tidak melebihi 15% baik dari temperature per jam maupun temperatur rata rata harian. Rata rata persentase validitas tiap ruang kuliah yaitu 8.25%.

Tabel 4. 23 Hasil simulasi kecepatan angin pada Autodesk Flow Design

Ruang Kuliah	Hasil Simulasi Kecepatan Angin (v)
Ruang Kuliah Tipe 03	**0.1 – 0.2 m/s**
Ruang Kuliah Tipe 08	**0.1 – 0.4 m/s**

Sedangkan simulasi pada software *Autodesk Flow Design* menunjukan hasil pergerakan angin pada ruang kuliah. Kecepatan angin pada software berupa garis warna sesuai kecepatan angin saat itu, dilihat dari perbedaan kecepatan udara *outdoor* dapat diketahui kecepatan angin pada bagian *indoor* ruang kuliah. Data hasil simulasi menunjukan

bahwa kecepatan angin pada *indoor* sangat rendah atau bahkan tidak terdapat pergerakan angin sesuai dengan hasil pengukuran. Beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan seperti perubahan cuaca menjadi penyebab terjadinya perbedaan hasil pengukuran terhadap simulasi. Namun secara garis besar hasil simulasi dapat menunjukan alasan rendahnya kecepaatan angin pada ruang kuliah.

Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa simulasi software *Ecotect Analysis* dan *Autodesk Flow Design* memberikan hasil yang valid dan dapat digunakan sebagai acuan rekayasa penelitian.

4.4 Evaluasi Kinerja Termal Eksisting

4.4.1 Desain Bangunan

Desain bangunan gedung pascasarjana UNISMA dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain orientasi bangunan yang berdampak pada radiasi matahari dan arah angin pada bangunan. Massa bangunan berbentuk persegi panjang dengan sisi terpanjang bengunan menghadap ke Barat laut dan Tenggara, hal ini mengakibatkan fasad bangunan akan terkena paparan sinar matahari.

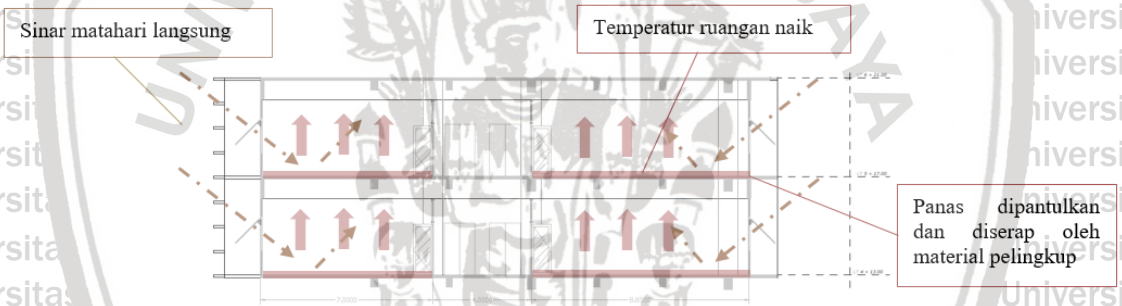
Gambar 4. 44 Desain bangunan terhadap matahari dan angin

Faktor lain yang mempengaruhi termal ruang dalam pada daerah dengan iklim tropis lembab adalah desain bukaan yang dapat menangkap angin karena pola aliran udara yang melewati ruang tergantung pada lokasi *inlet* (lubang masuk) udara dan *shading devices* yang digunakan di bagian luar (Talarosha, 2005). Desain bangunan khususnya sisi yang memiliki

bukaan sebaiknya berorientasi terhadap arah datang angin untuk memaksimalkan aliran udara di dalam ruangan. Selain itu, *shading* bangunan berupa *setback* tidak efektif untuk mengurangi cahaya dan radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan. Desain massa bangunan eksisting yang belum tanggap terhadap radiasi matahari dan arah angin tersebut mempengaruhi kenyamanan termal ruang yang ada pada bangunan.

4.4.2 Fasad dan Tipe Bukaan

Fasad yang dipakai pada gedung pascasarjana UNISMA didesain dengan gaya modern yaitu tipe *curtain wall* berupa kaca *clear glass* dengan tebal 3.5mm dengan frame berupa alumunium. Dengan pengaplikasian pada ruang kuliah dengan tidak disertai tirai maupun *blinds*, pemakaian desain fasad jenis ini dinilai kurang efektif pada fungsi pembelajaran mahasiswa. Selain memasukan sinar matahari yang berlebihan, suhu ruangan pun terpengaruh dengan kalor yang dihasilkan oleh matahari.

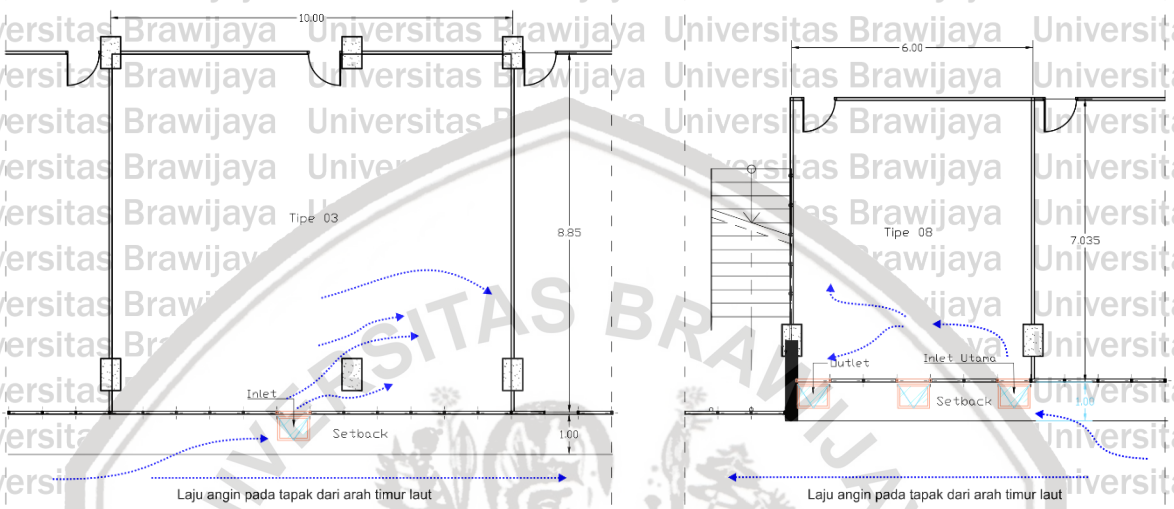


Gambar 4. 45 Radiasi matahari pada fasad gedung pasca sarjana UNISMA

Kecepatan angin pada ruangan juga berperan terhadap suhu ruang optimal. Kenaikan suhu ruangan dapat ditanggulangi dengan penggunaan pengkondisian udara buatan namun penggunaan pengkondisian udara buatan seperti AC Central pada gedung pascasarjana memiliki kebutuhan energi yang tinggi. Sedangkan pendinginan pasif pada gedung pascasarjana UNISMA hampir tidak berpengaruh dikarenakan desain fasad dengan *setback* hingga 90cm yang mengakibatkan kecepatan angin yang datang ke arah jendela berkurang, juga jumlah dan tipe bukaan jendela *casement top-hung* yang dinilai tidak efektif terhadap arah angin.

Kedua permasalahan desain bangunan pada gedung UNISMA dapat dikurangi dengan cara pemakaian *double skin façade* (DSF). Rekayasa jenis ventilasi juga dinilai dapat

membantu menangkap angin ke dalam ruang sehingga nilai temperatur dan kelembaban dapat berkurang. Menurut prinsip desain desain pengendalian termal, posisi bukaan pada sisi yang berlawanan dengan elevasi berbeda akan terbentuk aliran udara yang menjangkau area dalam ruangan. Oleh karena itu dibutuhkan juga ventilasi pada ruang dalam agar dapat terjadi pergerakan udara silang dalam ruangan.



Gambar 4. 46 Aliran angin pada bukaan ruang kuliah tipe 03 dan 08

4.4.3 Temperatur dan Kelembaban

Melalui hasil pengukuran dan analisis yang dilakukan terkait temperatur dan kelembaban pada setiap ruang kelas, dilakukan evaluasi simulasi eksisting terhadap standart SNI 03-6572-2001 yaitu temperatur ruang berkisar 25^0C ± 1^0C dan kelembaban udara relatif 55% ± 10% sehingga jika hasil evaluasi menyatakan ruang kelas belum memenuhi standart maka dapat dilakukan rekomendasi desain. Perhitungan dilakukan dengan data yang didapat dari pengukuran lapangan yakni temperatur udara kering (*dry-bulb temperature*) dan kelembaban relative ruangan (rH).

A. Ruang Kuliah H4-03

Berdasarkan data hasil pengukuran yang didapatkan maka didapatkan rata-rata temperatur ruang *(daily temperature),* kelembaban udara relatif (rH) dan kecepatan angin pada ruang kuliah H4-03.

Tabel 4. 24 Data pengukuran ruang kuliah H4-03

Kategori	Nilai
Temperatur Udara Kering *(DBT)*	**31.6** ^{o}C
Kelembaban Udara Relatif *(rH)*	**85.5 %**
Kecepatan Angin *(v)*	**0.1 m/s**

Dari data tabel 4.23 dapat diketahui bahwa temperatur dan kelembaban relative ruang kuliah H4-03 belum memenuhi standart SNI 03-6572-2001. Temperatur menunjukan nilai 31.6 ^{o}C dari standart kenyamanan 25^{0}C ± 1^{0}C, atau melewati batas 5.6 ^{o}C dari angka nyaman. Kelembaban relatif ruang H4-03 berada pada 85.5% atau 20.5% lebih tinggi dari standar kelembaban yaitu 55% ± 10%. Sedangkan kecepatan angin yang berada pada 0.1 m/s tidak mampu mengkompensasi kelembaban dan suhu yang melibihi standart. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H4-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

B. Ruang Kuliah H4-08

Berdasarkan data hasil pengukuran yang didapatkan maka didapatkan rata-rata temperatur ruang *(daily temperature)*, kelembaban udara relatif (rH) dan kecepatan angin pada ruang kuliah H4-08.

Tabel 4. 25 Data pengukuran ruang kuliah H4-08

Kategori	Nilai
Temperatur Udara Kering *(DBT)*	**30.2** ^{o}C
Kelembaban Udara Relatif *(rH)*	**85.4 %**
Kecepatan Angin *(v)*	**0.1 m/s**

Dari data tabel 4.24 dapat diketahui bahwa temperatur dan kelembaban relative ruang kuliah H4-08 belum memenuhi standart SNI 03-6572-2001. Temperatur menunjukan nilai 30.2 ^{o}C dari standart kenyamanan 25^{0}C ± 1^{0}C, atau melewati batas 4.2 ^{o}C dari angka nyaman. Kelembaban relatif ruang H4-08 berada pada 85.4% atau 20.4% lebih tinggi dari standar kelembaban yaitu 55% ± 10%. Sedangkan kecepatan angin yang berada pada 0.1 m/s tidak mampu mengkompensasi kelembaban dan suhu yang melibihi standart. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa ruang kuliah H4-08 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

C. Ruang Kuliah H5-03

Berdasarkan data hasil pengukuran yang didapatkan maka didapatkan rata-rata temperatur ruang *(daily temperature)*, kelembaban udara relatif (rH) dan kecepatan angin pada ruang kuliah H5-03.

Tabel 4. 26 Data pengukuran ruang kuliah H5-03

Kategori	Nilai
Temperatur Udara Kering *(DBT)*	**31.6** ^{o}C
Kelembaban Udara Relatif *(rH)*	**91.2 %**
Kecepatan Angin *(v)*	**0.2 m/s**

Dari data tabel 4.25 dapat diketahui bahwa temperatur dan kelembaban relative ruang kuliah H5-03 belum memenuhi standart SNI 03-6572-2001. Temperatur menunjukan nilai 31.6 ^{o}C dari standart kenyamanan 25^{0}C ± 1^{0}C, atau melewati batas 5.6 ^{o}C dari angka nyaman. Kelembaban relatif ruang H5-03 berada pada 91.2% atau 26.2% lebih tinggi dari standar kelembaban yaitu 55% ± 10%. Sedangkan kecepatan angin yang berada pada 0.2 m/s lebih tinggi dari ruangan pada lantai 4 namun tetap tidak mampu mengkompensasi kelembaban dan suhu yang melibihi standart. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

D. Ruang Kuliah H5-08

Berdasarkan data hasil pengukuran yang didapatkan maka didapatkan rata-rata temperatur ruang *(daily temperature)*, kelembaban udara relatif (rH) dan kecepatan angin pada ruang kuliah H5-08.

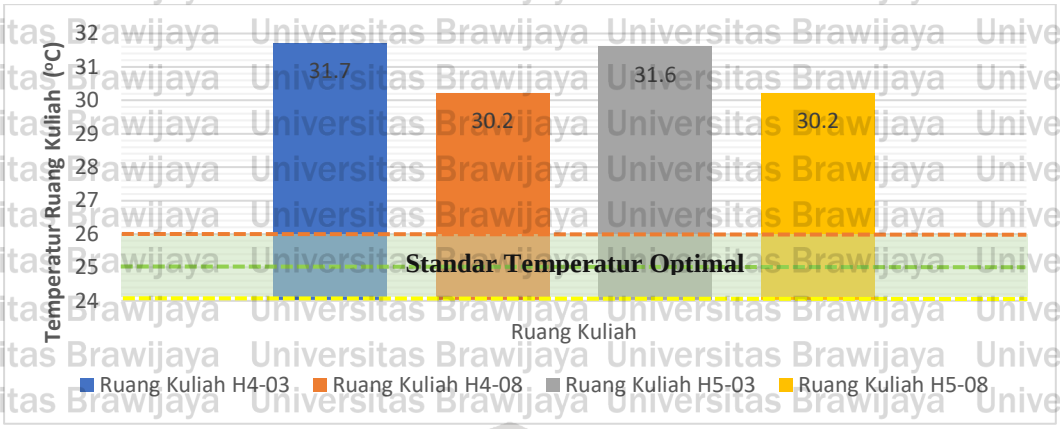
Tabel 4. 27 Data pengukuran ruang kuliah H5-08

Kategori	Nilai
Temperatur Udara Kering *(DBT)*	**30.2** ^{o}C
Kelembaban Udara Relatif *(rH)*	**91.2 %**
Kecepatan Angin *(v)*	**0.2 m/s**

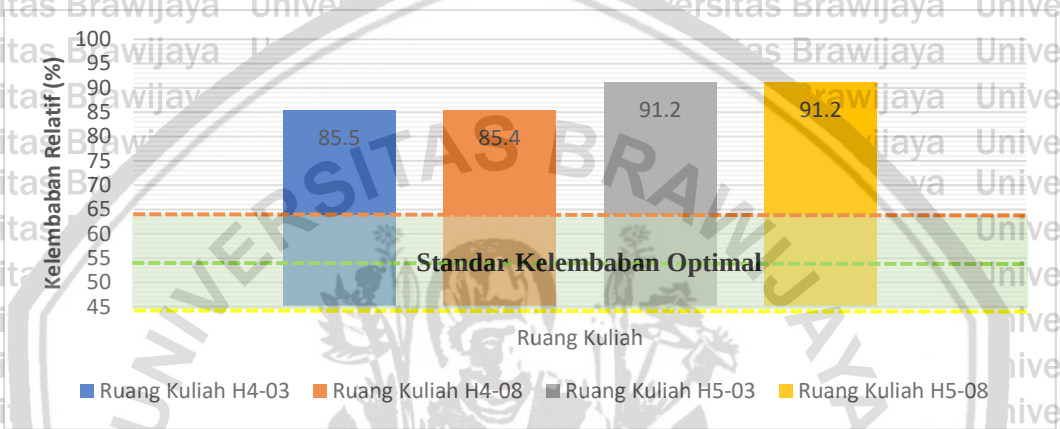
Dari data tabel 4.26 dapat diketahui bahwa temperatur dan kelembaban relative ruang kuliah H5-08 belum memenuhi standart SNI 03-6572-2001. Temperatur menunjukan nilai 29.6 ^{o}C dari standart kenyamanan $25^{0}C \pm 1^{0}C$, atau melewati batas 4.2 ^{o}C dari angka nyaman. Kelembaban relatif ruang H5-08 berada pada 91.2% atau 26.2% lebih tinggi dari standar kelembaban yaitu 55% ± 10%. Sedangkan kecepatan angin yang berada pada 0.2 m/s lebih tinggi dari ruangan pada lantai 4 namun tetap tidak mampu mengkompensasi kelembaban dan suhu yang melibihi standart. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-08 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

E. Evaluasi Temperatur dan Kelembaban Ruang Kelas

Menurut SNI 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung, daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu sejuk nyaman (antara 20,5 ^{o}C ~ 22,8 ^{o}C), nyaman optimal (antara 22,8 ^{o}C ~ 25,8 ^{o}C) dan hangat nyaman (antara 25,8 ^{o}C ~ 27,1 ^{o}C) dan untuk perancangan umumnya diambil $25^{0}C \pm 1^{0}C$ dan kelembaban udara relative 55 % ± 10 %. Berdasarkan evaluasi temperature dan kelembaban yang telah ditentukan, didapatkan hasil bahwa keempat ruang kuliah yang diteliti belum memenuhi kriteria temperatur dan kelembaban optimal untuk daerah tropis berdasarkan SNI 03-6572-2001, dan dapat dilakukan rekayasa terhadap ruang kuliah untuk mengoptimalisasikan temperatur dan kelembaban sehingga kinerja pengguna ruangan meningkat.



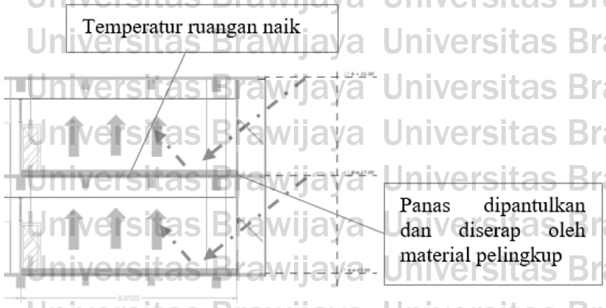
Gambar 4. 47 Komparasi nilai temperature ruang kuliah terhadap SNI 03-6572-2001



Gambar 4. 48 Komparasi nilai kelembaban ruang kuliah terhadap SNI 03-6572-2001

4.5 Solusi Termal dan Simulasi Rekayasa Desain

Berdasarkan pembahasan kondisi eksisting ruang kuliah yang diteliti, tidak ditemukan kesesuaian terhadap standar zona kenyamanan menurut SNI. Hal ini dapat dioptimalisasikan dengan sistem pendinginan pasif untuk menurunkan kebutuhan energi pengkondisian udara buatan. Namun dari aspek-aspek yang mempengaruhi temperatur ruangan dapat dioptimalisasikan dengan mengganti desain fasad yang berupa *curtain wall* dengan rasio dinding dan jendela sebesar 100% serta material dinding dan jendela yang dinilai menjadi penyumbang panas terbesar pada temperatur ruang dalam (gambar 4.25).



Gambar 4. 49 Proses masuknya radiasi matahari pada bangunan

Dari wawancara terhadap kepala sarana prasarana UNISMA diketahui bahwa nantinya fasad akan ditambahkan dengan *double skin façade* (DSF), baik pada gedung baru seperti gedung pascasarjana (gambar 4.20) maupun beberapa gedung lama pada lingkungan kampus UNISMA (gambar 4.21). *Double skin* berupa pola *islamic geometry* yang bertujuan untuk memberi karakter desain pada gedung Universitas Islam Malang agar memiliki gaya arsitektur yang sama (gambar 4.22). Dengan adanya penambahan DSF pada rencana pengembangan fasad gedung maka akan berpengaruh terhadap ruang kuliah, hal itu dapat lebih dioptimalkan lagi dengan mengurangi rasio dinding dan jendela, perubahan material dinding dan jendela, serta rekayasa ventilasi sebagai pendinginan alami untuk mengurangi beban pendinginan yang dibutuhkan.

Faktor utama pada objek penelitian yaitu orientasi bangunan yang menyebabkan paparan matahari meningkatkan temperatur dalam ruang. Oleh karena itu, DSF sebagai rekayasa fasad utama didasari oleh kesesuaian dengan rencana dan pengembangan arsitektur Universitas Islam Malang, selain itu penggunaan dinilai sebagai rekayasa yang tidak perlu merubah struktur maupun material fasad eksisting namun hanya penambahan *outer skin* pada elemen fasad sebagai *sun-shading* ruang kuliah yang tetap mempertahankan kebutuhan cahaya dan visual. Sedangkan rasio dinding dan jendela sebagai langkah lanjutan dari upaya mengurangi sinar matahari langsung ke dalam ruangan, dipilih sebagai rekayasa kedua terkait ekonomi bangunan dimana mengurangi rasio material tembus cahaya pada dinding namun tidak perlu memperhatikan material. Penggunaan rekayasa kedua ini memiliki kekurangan yaitu dapat mempengaruhi pencahayaan atau visual ruang kuliah. Rekayasa selanjutnya yaitu material dinding dan jendela sebagai langkah pencegahan radiasi ke dalam ruang kuliah apabila rekayasa pertama dan kedua belum dapat menurunkan temperatur ruang kuliah. Nilai *time lag* dan *u-value* pada material rekayasa yang akan mempengaruhi temperatur pada ruang kuliah.

Gambar 4. 50 Rencana pengembangan fasad beberapa gedung UNISMA

Gambar 4. 51 Penambahan DSF pada gedung kuliah bersama

Gambar 4. 52 Pola geometri islam di lingkungan kampus UNISMA (dari kiri atas)

Dari analisa diatas, maka rekayasa kombinasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh kombinasi setiap variable bebas terhadap temperature ruang kuliah. Dari ketiga variabel rekayasa utama yaitu *double skin façade* (DSF), rasio dinding dan jendela, dan material dinding dan jendela dikombinasikan dengan setiap kemungkinan sehingga dapat diketahui rekayasa fasad yang paling efektif meningkatkan kinerja termal pada ruang kuliah gedung pascasarjana UNISMA. Terdapat 7 macam kemungkinan rekayasa dalam kombinasi yang dapat diperoleh, yaitu: DSF, Rasio, Material, Rasio dan Material, Rasio dan DSF, Material dan DSF, serta kombinasi dari ketiga variabel rekayasa yakni DSF, Rasio, dan Material. Masing – masing dari rekayasa akan disimulasikan dengan *spatial comfort* pada *Ecotect Analisys* yang diatur pada tanggal 29 April selama 24 jam penuh untuk dapat dibandingkan dengan hasil simulasi eksisting yang sudah divalidasi sebelumnya.

4.5.1 Tipe 1 – Jarak *Double Skin Façade* (DSF)

Peneduh eksternal lebih efektif dalam mengurangi perolehan panas matahari dibandingkan dengan peneduh internal karena dapat menghalangi radiasi matahari sebelum mencapai selubung bangunan. Peneduh eksternal perlu dirancang secara hati-hati agar tidak hanya untuk mengurangi beban pendinginan tetapi juga untuk menciptakan arsitektur yang estetis, dengan tetap memperhitungkan kinerja pencahayaan alami, visual, dan kesinambungaan terhadap arsitektur lingkungan.

A. Eksisting

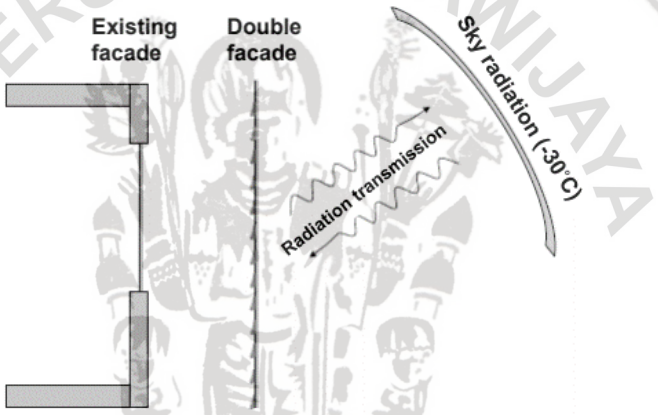
Pada kondisi eksisting gedung pascasarjana UNISMA sudah menggunakan elemen *sun-shading* dengan memanfaatkan kantilever pada lantai sebagai peneduh horizontal, dan perancangan *setback* pada fasad untuk membayangi fasad bangunan. Pemakaian *sun-shading* horizontal sudah sesuai dengan pembayangan bangunan, diketahui dari *sun-shading* horizontal sudah dapat membayangi sebagian besar ruangan (tabel 4.2 hingga 4.4). Namun berdasarkan simulasi pembayangan (*sun-path diagram*) elemen *sun-shading* horizontal tidak dapat mencegah matahari dengan sudut rendah seperti pagi dan sore hari terutama pada ruang kuliah tipe 03 dengan dimensi fasad kaca yang lebar dan menghadap sisi barat laut (gambar 4.29).

B. Analisis

Secara umum, perangkat peneduh horizontal lebih sesuai untuk jendela dengan orientasi selatan dan utara dimana sudut datang sinar matahari relatif tinggi.

Sirip vertical (*vertical fin*) dapat efektif menghalau radiasi matahari dengan sudut datang rendah pada jendela yang berorientasi ke arah timur dan barat. Namun penggunaan sirip vertical (*vertical fin*) pada fasad bangunan gedung pascasarjana UNISMA kurang sesuai terhadap konsep desain arsitektur pada lingkungan UNISMA sebagaimana disebutkan pada poin 4.5.

Mengikuti rencana konsep desain arsitektur UNISMA mendatang, maka dipilih elemen peneduh berupa *double skin façade (DSF)* dengan bentuk *Islamic Geometric Pattern* yaitu bentuk geometri yang digunakan oleh lingkungan UNISMA sebagai pembayang matahari pada sisi gedung (gambar 4.30). *Double skin façade* dinilai dapat mengurangi sinar matahari pada fasad namun tidak menghilangkan visual ruang kuliah ke ruang luar (gambar 4.29).

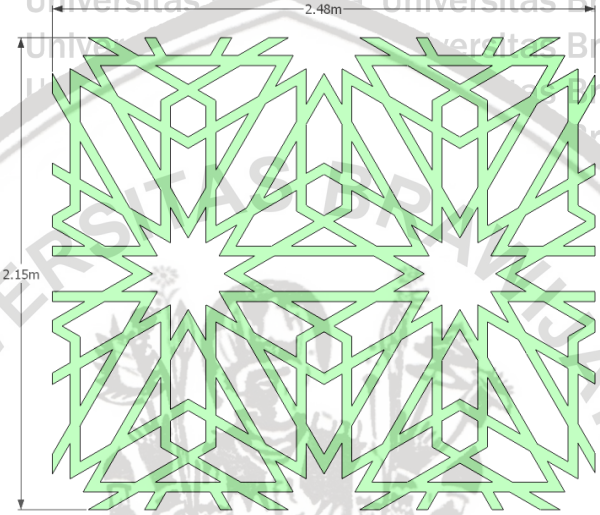


Gambar 4. 53 Double skin facade sebagai penahan radiasi

Gambar 4. 54 Penggunaan islamic geometric pattern pada sebagian gedung UNISMA

C. Simulasi

Berdasarkan analisis eksisting, pola *Islamic geometric* yang digunakan yaitu sebagai berikut (gambar 4.31). Selain sesuai dengan rencana konsep desain mendatang pola juga disesuaikan dengan kebutuhan gedung, dengan pola yang sempit maka dapat membayangi ruang kuliah namun mengurangi visual ke ruang luar dan angin yang dibutuhkan oleh ruang kuliah. Oleh karena itu dimensi pola disesuaikan sehingga rongga pada pola geometri tidak terlalu kecil.



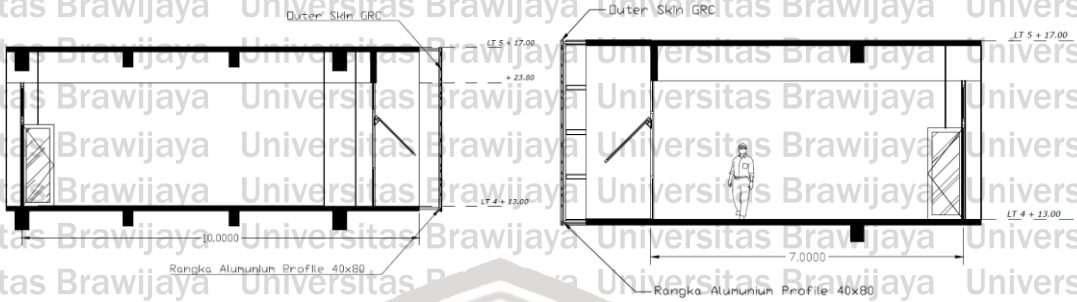
Gambar 4. 55 Pola islamic geometric pattern pada double skin façade (DSF)

Double skin façade (DSF) menggunakan rangka *alumunium profile* 40x80 dengan tipe GFS (*high rigidity type*) sehingga kuat menopang beban *outer skin* dengan material GRC (*glass-fibre reinforced cement*) dengan ketebalan 30mm. *Outer skin* dapat dilapisi dengan *coating* khusus sehingga lebih tahan terhadap cuaca dan dapat dilapisi cat eksterior, pada kasus ini *outer skin* dibuat sesuai warna tema lingkungan yaitu hijau muda. Struktur menggunakan rangka gantung yang dipasangkan pada kantilever fasad yang juga berfungsi sebagai horizontal shading. Penambahan *double skin façade* (DSF) dapat mempengaruhi temperature dan pergerakan angin. Oleh karena itu terdapat dua alternatif pada rekomendasi *double skin façade* dengan jarak yang berbeda.

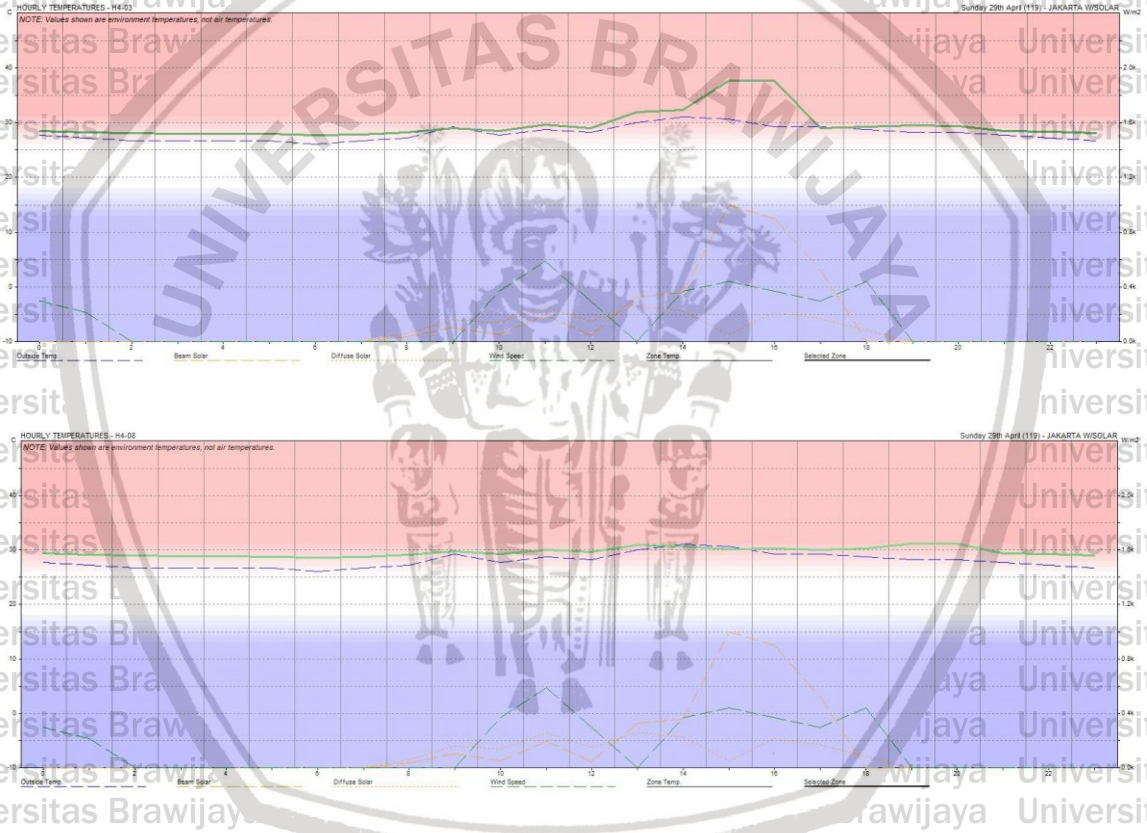
1. Outer Skin dengan jarak 1.5m

Alternatif satu yaitu penggunaan rangka gantung yang dipasangkan pada kantilever fasad yang juga berfungsi sebagai *horizontal shading*. Pemberian jarak

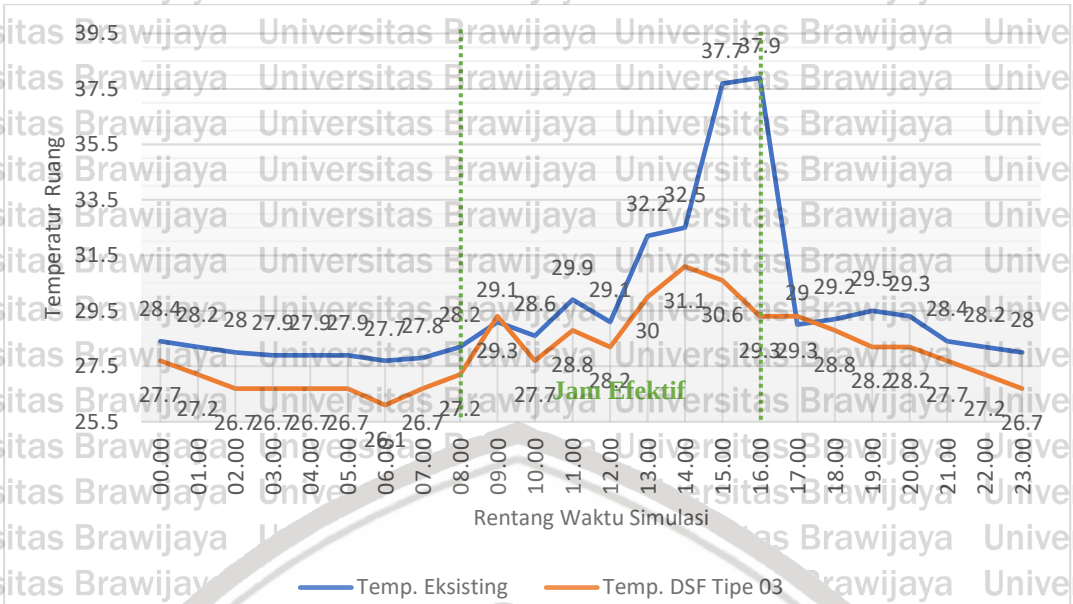
1.5m dari fasad dinilai baik untuk memberi ruang sebagai pergerakan angin agar dapat masuk pada bagian setback bangunan.



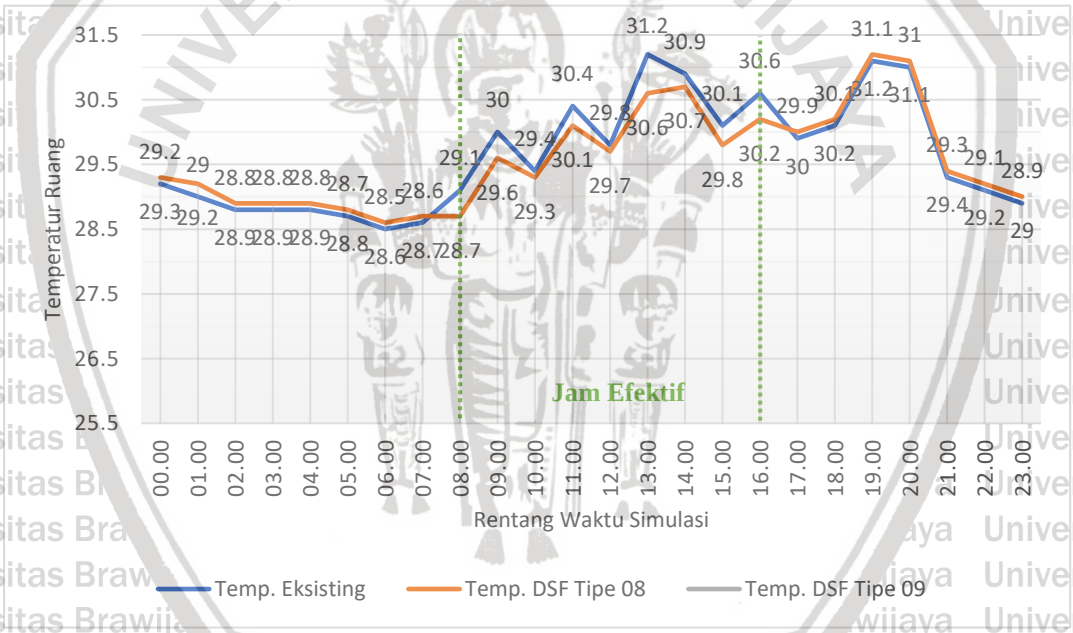
Gambar 4. 56 Potongan ruang kuliah dengan DSF rangka gantung



Gambar 4. 57 Simulasi hourly temperature DSF jarak 1.5m (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 58 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF ruang kuliah tipe 03



Gambar 4. 59 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF ruang kuliah tipe 08

Berikut merupakan hasil simulasi rekayasa fasad ruang kuliah dengan jarak DSF 1.5m dari jendela. Diketahui bahwa pada ruang tipe 03 rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature)* berkurang ± 1.6 ^{o}C, hal ini membuktikan bahwa temperatur ruangan sangat dipengaruhi oleh intensitas matahari yang masuk kedalam ruangan. Penurunan suhu paling signifikan pada ruangan tipe 03 yang berorientasi kearah barat laut yaitu pada jam 15.00 dan 16.00, terjadi penurunan suhu ± 7^{o}C – 8^{o}C dikarenakan DSF sangat efektif sebagai peneduh sinar matahari dengan sudut

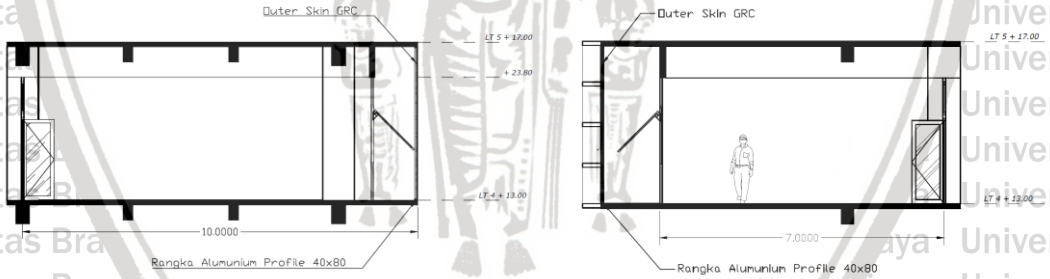
kemiringan rendah. Sedangkan pada ruang tipe 08 tidak menunjukan adanya perbedaan rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature.* Pada jam 17.00 hingga jam 07.00 temperatur ruangan cenderung naik. Akan tetapi terjadi penuruan nilai temperatur ruang tipe 08 pada saat jam efektif belajar mengajar yaitu padaa jam 08.00 hingga 16.00 hingga 1.2 ^{o}C.

Tabel 4. 28 Keuungulan dan kelemahan rekayasa DSF dengan outer skin jarak 1.5m

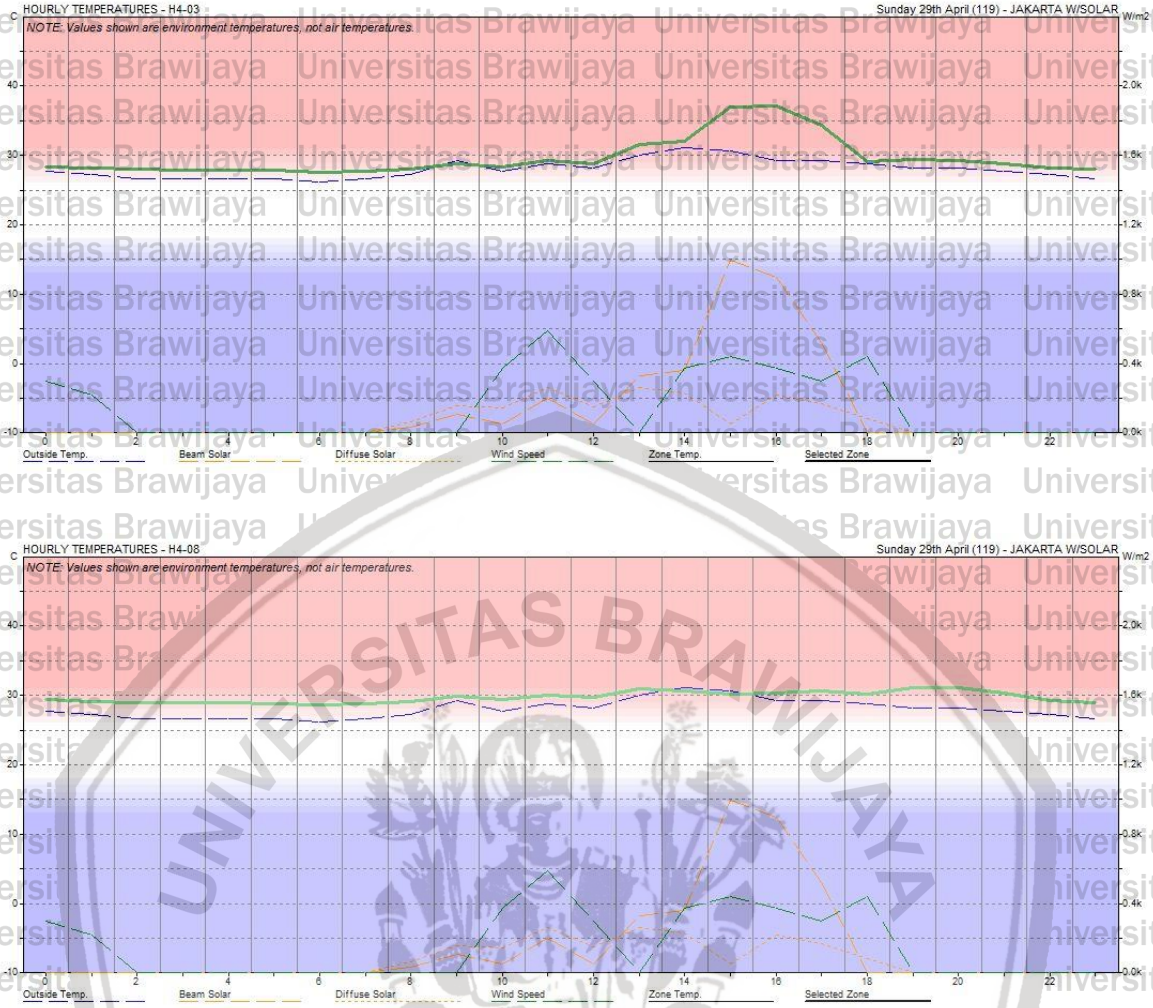
Keunggulan	**Kelemahan**
Terjadi penurunan nilai temperatur yang signifikan baik pada tipe 03	Menaikan nilai temperatur pada petang hingga pagi hari.
Nilai temperatur pada saat jam efektif menurun pada ruang kuliah tipe 08	Membutuhkan maintenance khusus karena skin susah dijangkau

2. Flat Façade 1m

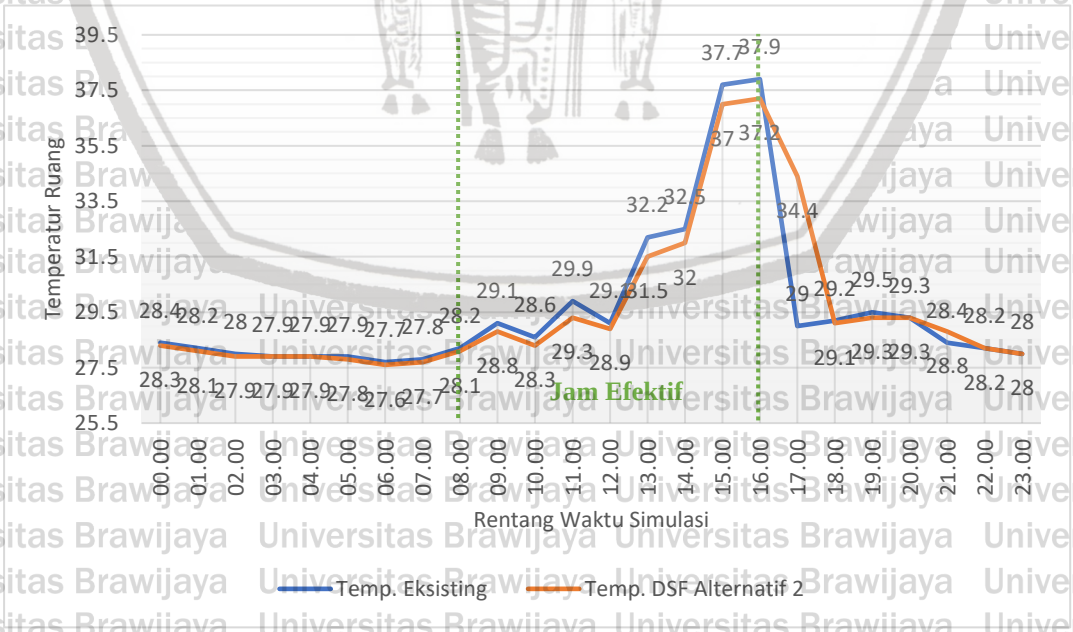
Alternatif dua yaitu penggunaan rangka *alumunium profile* 40x80 yang dipasangkan pada kantilever fasad yang juga berfungsi sebagai horizontal shading. Pemberian jarak 1m dari fasad berdasarkan pada struktur kantilever yang sudah ada. Jarak yang dekat membuat cahaya matahari dari sudut tinggi tetap akan terhalangi oleh skin.



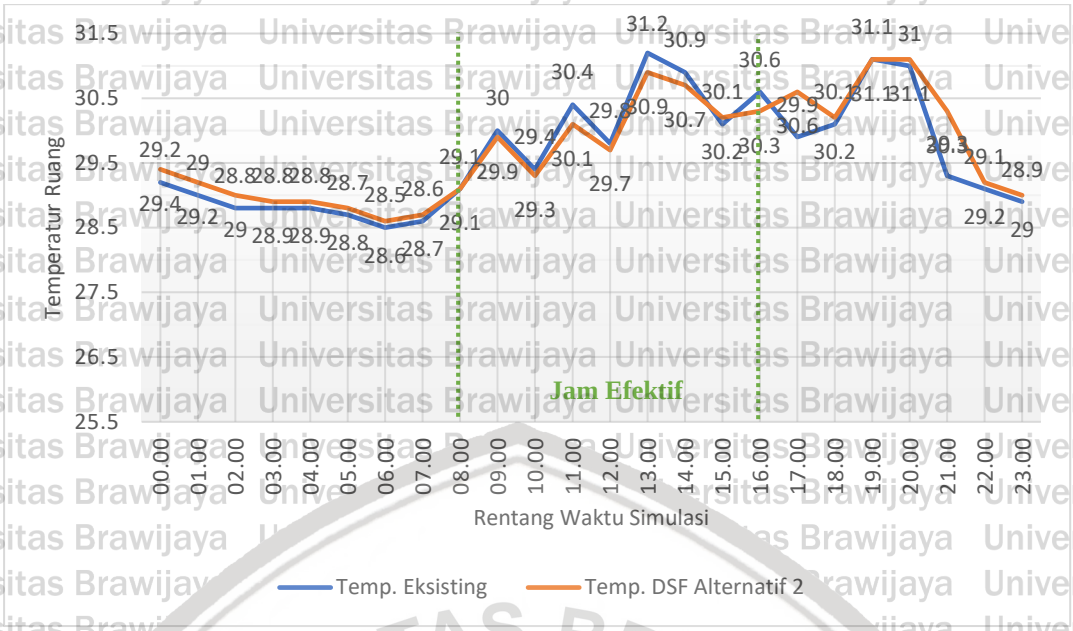
Gambar 4. 60 Potongan ruang kuliah dengan DSF rangka gantung



Gambar 4. 61 Simulasi hourly temperature DSF Alternatif 2 (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 62 Perbandingan temp. eksisting dan hasil DSF alternatif 2 tipe 03



Gambar 4. 63 Perbandingan temp. eksisting dan hasil DSF alternatif 2 tipe 08

Berikut merupakan hasil simulasi rekayasa fasad ruang kuliah dengan jarak DSF 1m dari jendela. Diketahui bahwa pada ruang tipe 08 rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature)* cenderung tetap meski nilai temperatur pada jam efektif terlihat menurun (diagram 4.29). Penurunan suhu dengan yang terlihat pada ruangan tipe 03 yang berorientasi kearah barat laut yaitu pada jam 17.00, terjadi penurunan suhu ± 5 ºC.

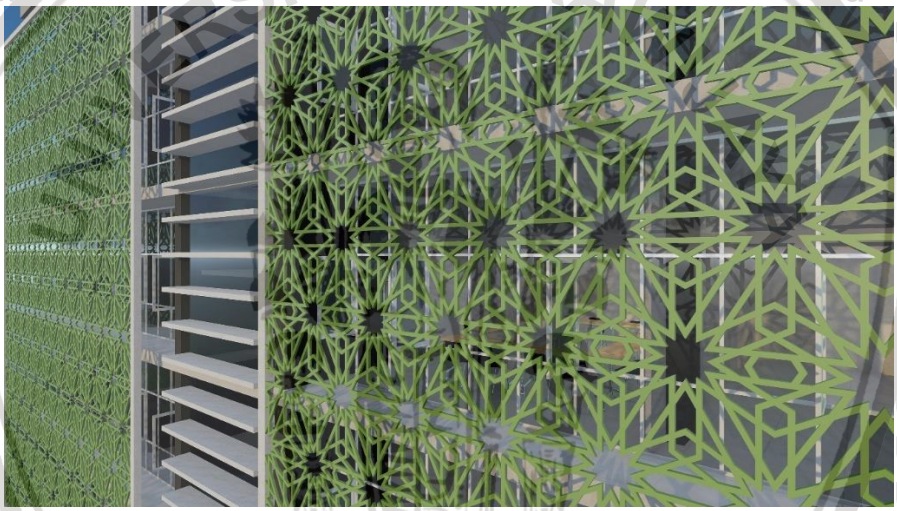
Sedangkan pada ruang tipe 08 cenderung sama seperti alternatif 1, pada ruang tipe 08 tidak menunjukan adanya perbedaan rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature.* Pada jam 17.00 hingga jam 07.00 temperatur ruangan cenderung naik. Akan tetapi terjadi penuruan nilai temperatur ruang tipe 08 pada saat jam efektif belajar mengajar yaitu padaa jam 08.00 hingga 16.00 hingga 1.2 ºC.

Tabel 4. 29 Keuungulan dan kelemahan rekayasa DSF dengan outer skin jarak 1m

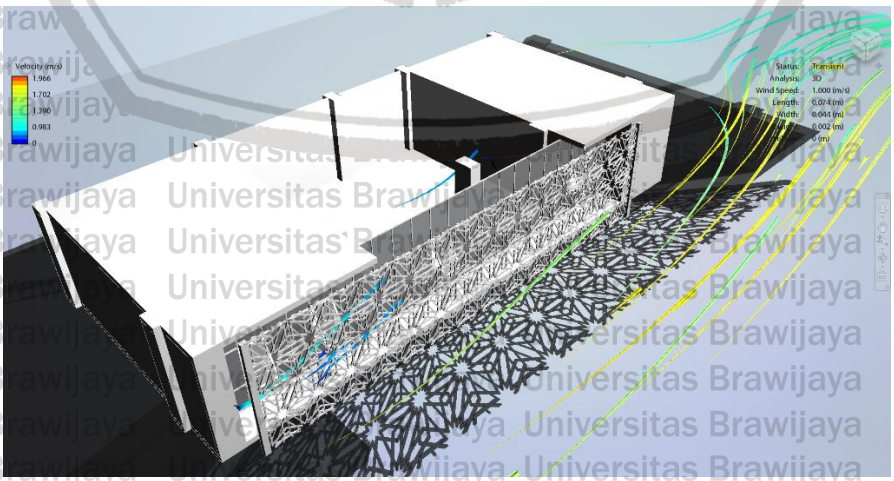
Keunggulan	**Kelemahan**
Terjadi penurunan nilai temperatur baik pada tipe 03	Menaikan nilai temperatur pada petang hingga pagi hari pada tipe 08
Nilai temperatur pada saat jam efektif menurun pada ruang kuliah tipe 08	Tidak terdapat ruang sebagai area pergerakan angin menuju ke dalam setback fasad bangunan
Tidak memerlukan rangka tambahan, dapat dipasang pada kantilever	

D. Alternatif DSF terpilih

Berdasarkan hasil simulasi rekayasa dengan *double skin façade* (DSF) pada fasad ruang kuliah tipe 03 dan 08, dapat disimpulkan bahwaa kedua alternatif dapat menurunkan temperatur ruang kuliah. Namun dipilih alternatif 1 yaitu DSF rangka gantung dengan jarak 1.5 m dari fasad bangunan karena memiliki pengaruh yang signifikan yaitu dapat menurunkan temperatur hingga 8 ^{o}C. Penurunan terjadi karena DSF dapat secara efektif menaungi ruang kuliah dari sinar matahari dengan sudut datang rendah yaitu pada pagi dan sore hari. DSF dengan jarak mencukupi dari dinding fasad dan dimensi rongga pada kisi kisi DSF yang cukup tentunya juga akan memberikan ruang pergerakan angin yang dibutuhkan untuk sistem pendinginan alami ruang kuliah (gambar 4.35).



Gambar 4. 64 Rekomendasi double skin facade alternatif terpilih



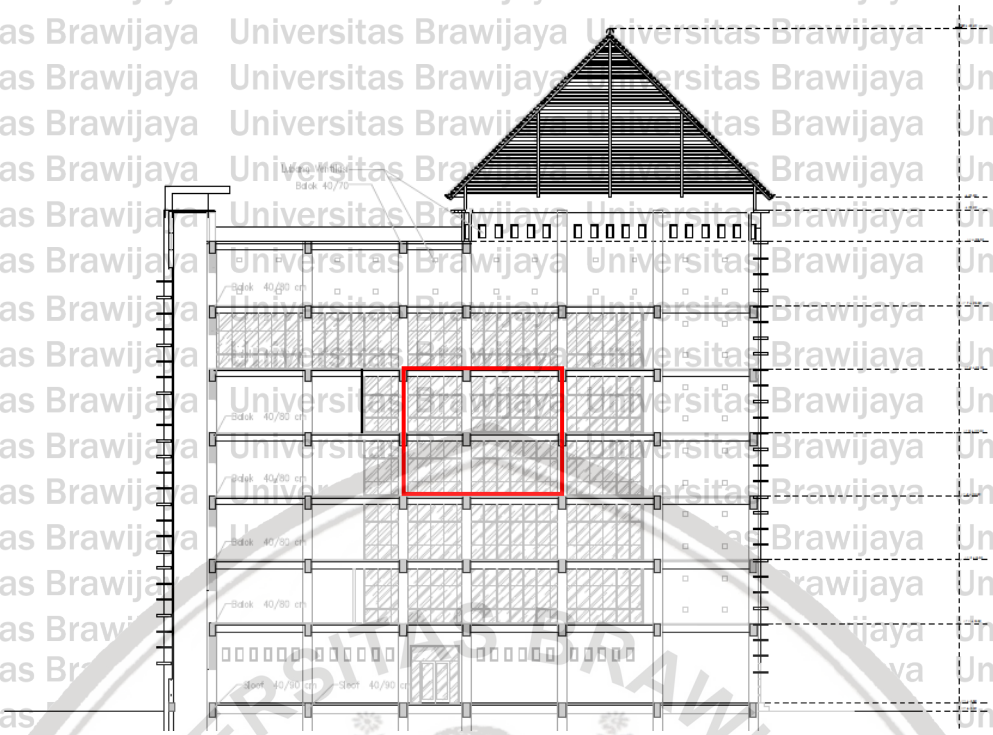
Gambar 4. 65 Pengaruh rongga pada DSF alternatif 1

4.5.2 Tipe 2 - Rasio Dinding dan Jendela

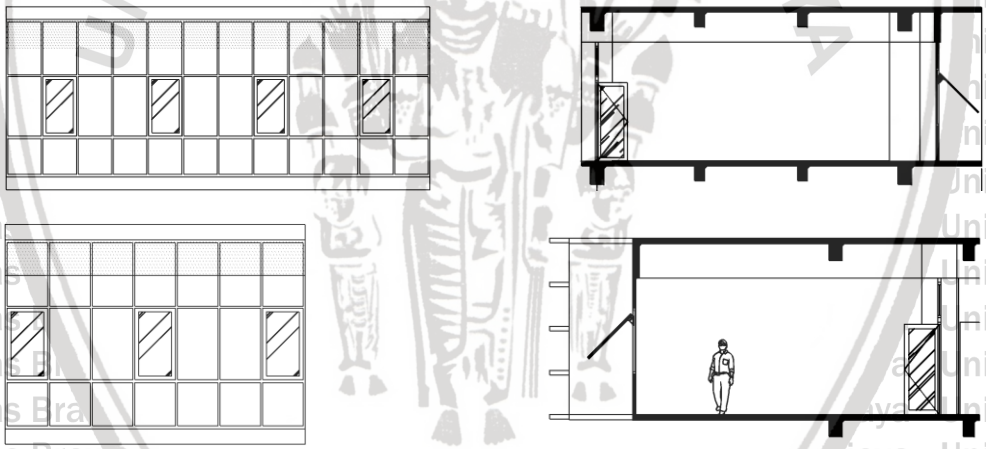
Dimensi rasio dinding dan jendela pada ruang dapat mengubah nilai suhu udara di dalam ruangan, sedangkan posisi dan jenis ventilasi pada ruangan mempengaruhi aliran udara di dalam ruangan (Lippsmeier, 1980). Rasio dinding dan jendela memiliki pengaruh terhadap beban pendinginan karena menentukan total perolehan panas yang masuk kedalam bangunan. Hal ini dikarenakan jendela kaca dapat memasukkan panas kedalam bangunan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan dinding masif. Namun dilain hal, kaca juga memberikan pencahayaan pada ruang yang juga berpengaruh terhadap fungsi ruang kuliah. Mengurangi luas jendela adalah salah satu solusi efektif untuk mengurangi beban pendinginan dan konsumsi energi bangunan secara keseluruhan tanpa menghilangkan fungsi kaca sebagai pencahayaan, kebutuhan pencahayaan menurut SNI 03-6197-2000 yaitu 20% dari keseluruhan dinding.

A. Eksisting

Material fasad gedung pascasarjana Universitas Islam Malang menggunakan batu bata, dinding pembatas antar ruang *gypsum board*, dan *curtain wall* berupa kaca. Pada ruang kuliah baik tipe 03 maupun 08 memiliki dinding kaca dengan rasio 100% terhadap dinding. Dari sisi karakteristik termalnya, dinding tirai sangat rentan terhadap perpindahan panas dan oleh karena itu penambahan lapisan insulasi sangat penting untuk meningkatkan kinerja termal selubung bangunan tersebut.



Gambar 4. 66 Penggunaan rasio kaca 100% pada ruang tipe 03 dan 08



Gambar 4. 67 Tampak fasad dan potongan ruang kuliah (dari atas) tipe 03 dan 08

B. Analisis

Terdapat dua faktor yang menghubungkan penghawaan dan pencahayaan dalam penggunaan kaca, yaitu rasio dinding dan jendela dan *Visible Transmittance* (VT) yaitu tranmisi cahaya yang dapat masuk ke dalam ruang dalam. Pada penelitian terdahulu dengan objek studi yang sama, diketahui bahwa penggunaan rasio kaca pada Gedung Pascasarjana Unisma sangat besar sehingga intensitas pencahayaan pada sebagian besar ruangan sangat tinggi sehingga menyebabkan silau pada

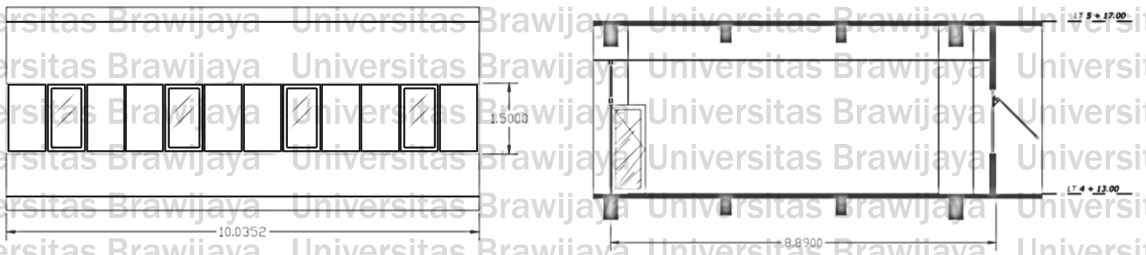
ruangan (Azizah, 2017). Oleh karena itu Rasio pada bangunan dinilai akan lebih efektif apabila berada di rentang sedang. Selain itu selubung masif pengganti *curtain wall* akan mengurangi transmisi panas sehingga temperatur akan berkurang.

Gambar 4. 68 Mereduksi RASIO fasad mengurangi radiasi panas melalui jendela

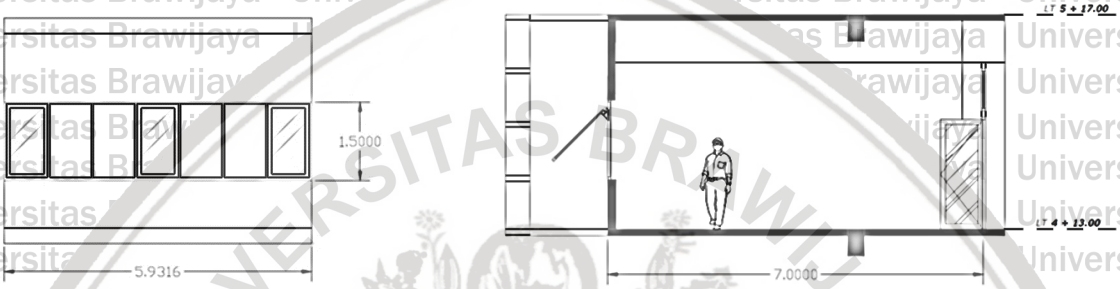
C. Simulasi

Mengacu pada analisis yaitu rasioo dinding dan jendela pada bangunan akan lebih efektif apabila berada di rentang sedang maka dipilih dua alternatif rasio jendela terhadap dinding yaitu 50% dan 30%. Rasio 30% dipilih untuk mengetahui apakah kinerja temperatur ruang dalam akan meningkat apabila rasio diatas *range* sedang. Simulasi dilakukan sesuai dengan material dinding dan jendela eksisting. Tujuan dari simulasi alternatif ini yaitu mengetahui perbedaan kondisi eksisting dan hasil rekayasa rasio jendela terhadap dinding dengan rasio 50% dan 30%.

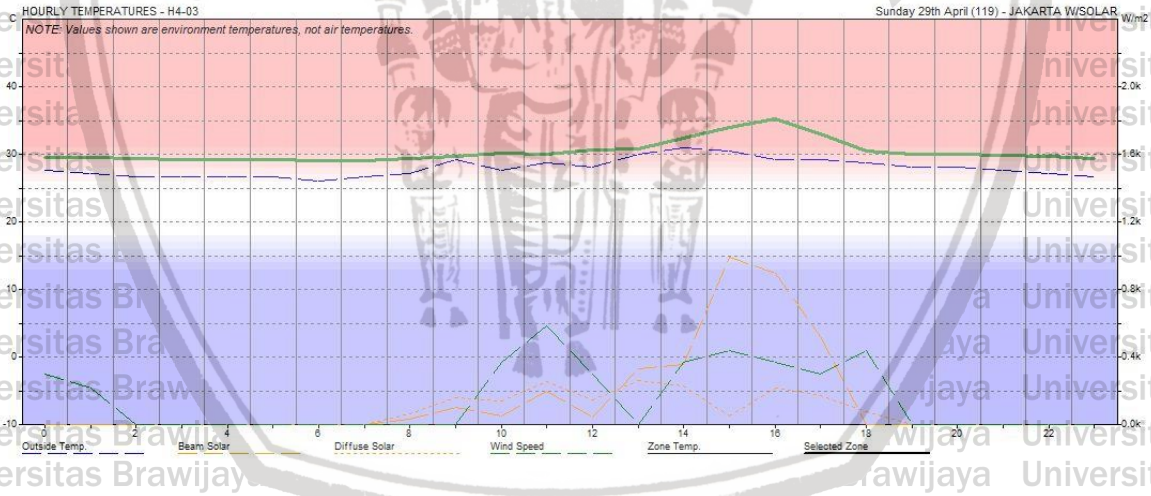
1. Rasio Dinding dan jendela 50%

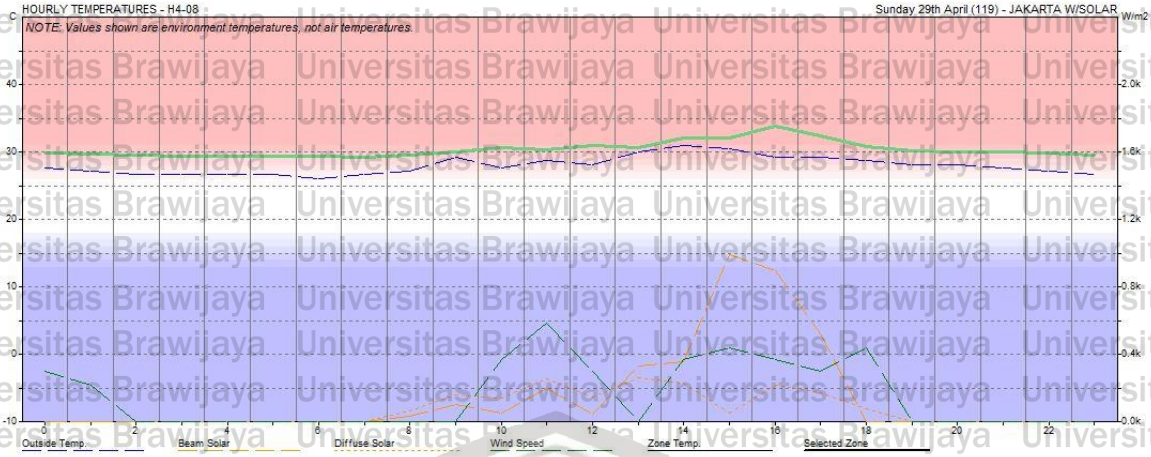


Gambar 4. 69 Tampak dan potongan Rasio alternatif 1 ruang tipe 03

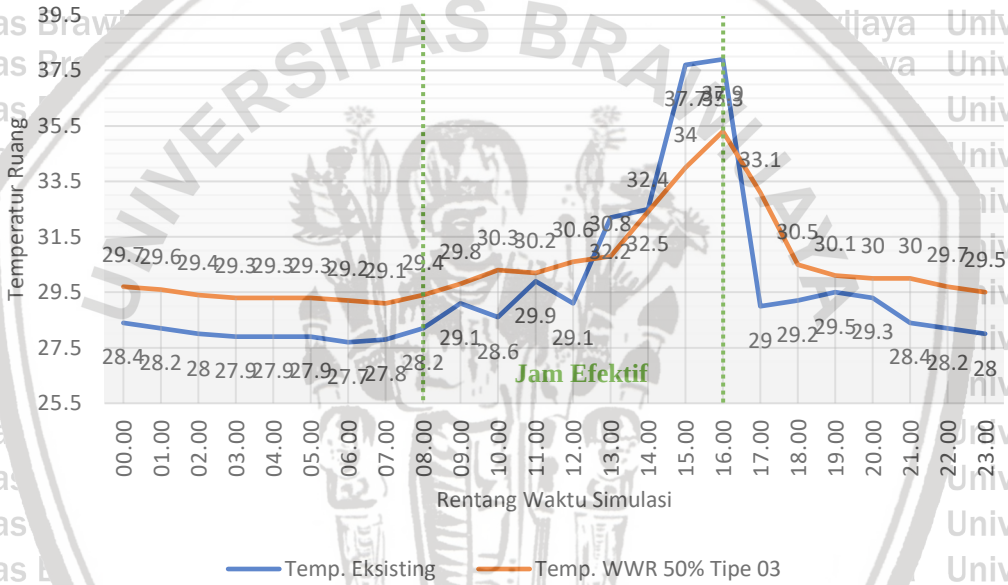


Gambar 4. 70 Tampak dan potongan Rasio alternatif 1 ruang tipe 08

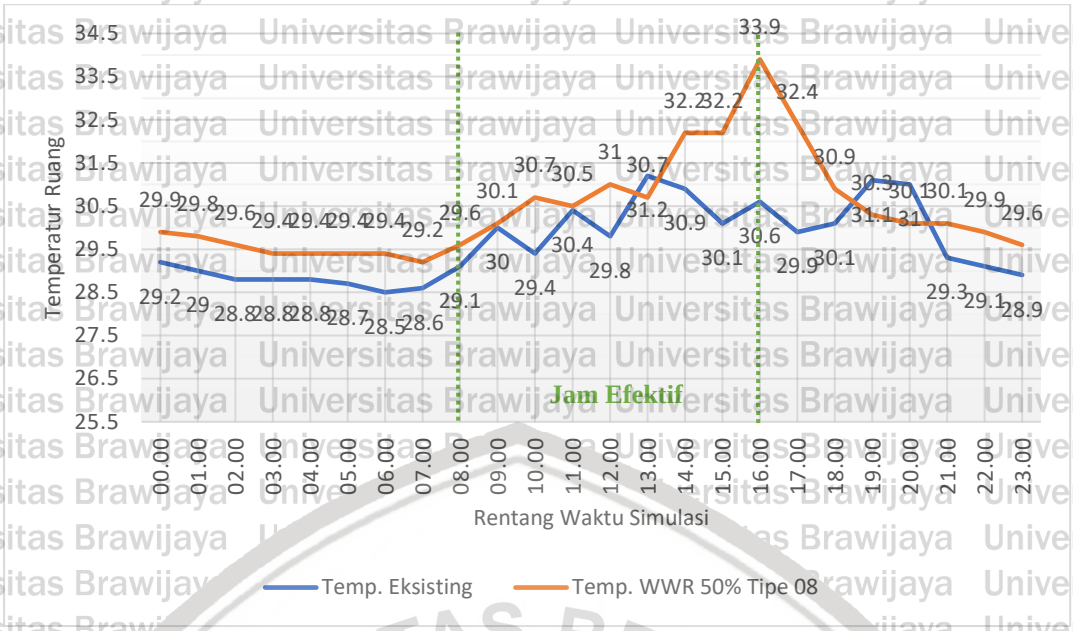




Gambar 4. 71 Simulasi rasio alt. 1 pada ruang kuliah (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 72 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa rasio 50% tipe 03



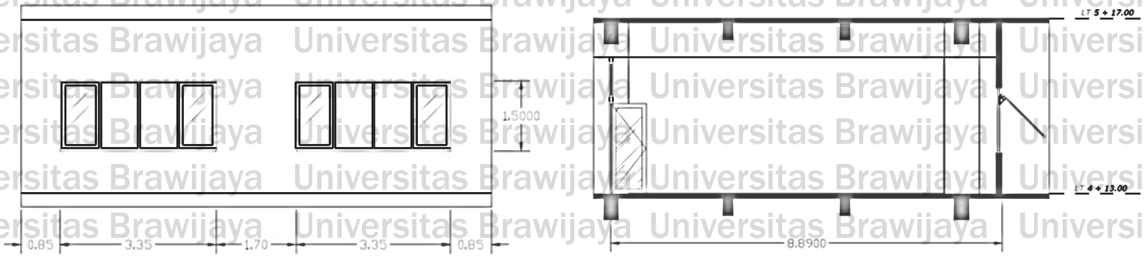
Gambar 4. 73 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rasio 50% tipe 08

Berikut merupakan hasil simulasi rekayasa fasad ruang kuliah dengan rasio jendela 50% dari dinding ruang yaitu 8.8m^2 pada tipe 08 dan 18.42m^2 pada tipe 03. Diketahui bahwa pada ruang tipe 03 rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature)* meningkat sejumlah 0.8 ºC, hal ini dapat dipengaruhi oleh radiasi dinding pengganti kaca. Sedangkan pada ruang tipe 08, simulasi juga menunjukan hasil yang sama. Pada perhitungan rata – rata temperature ruang dalam harian *(daily temperature)* suhu menunjukan kenaikan sekitar 0.8ºC. Dengan penggunaan rasio jendela 50% dinilai masih sangat sesuai dengan kebutuhan pencahayaan ruang kuliah, namun dinding turut memberikan faktor radiasi terhadap ruang meskipun tidak sebesar jendela kaca.

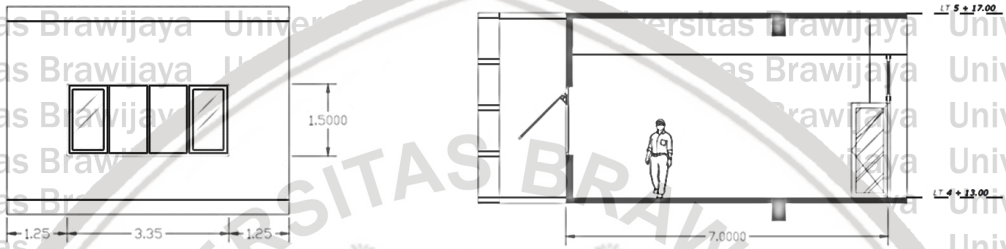
Tabel 4. 30 Keuungulan dan kelemahan rekayasa rasio 50%

Keunggulan	Kelemahan
Rasio jendela 50% masih sangat sesuai dengan kebutuhan pencahayaan ruang.	Temperatur ruang kuliah tipe 03 dan 08 meningkat 0.8ºC
Mengurangi intensitas cahaya yang berlebihan pada ruang kuliah.	Dinding turut memberikan faktor radiasi terhadap ruang meskipun tidak sebesar bidang kaca

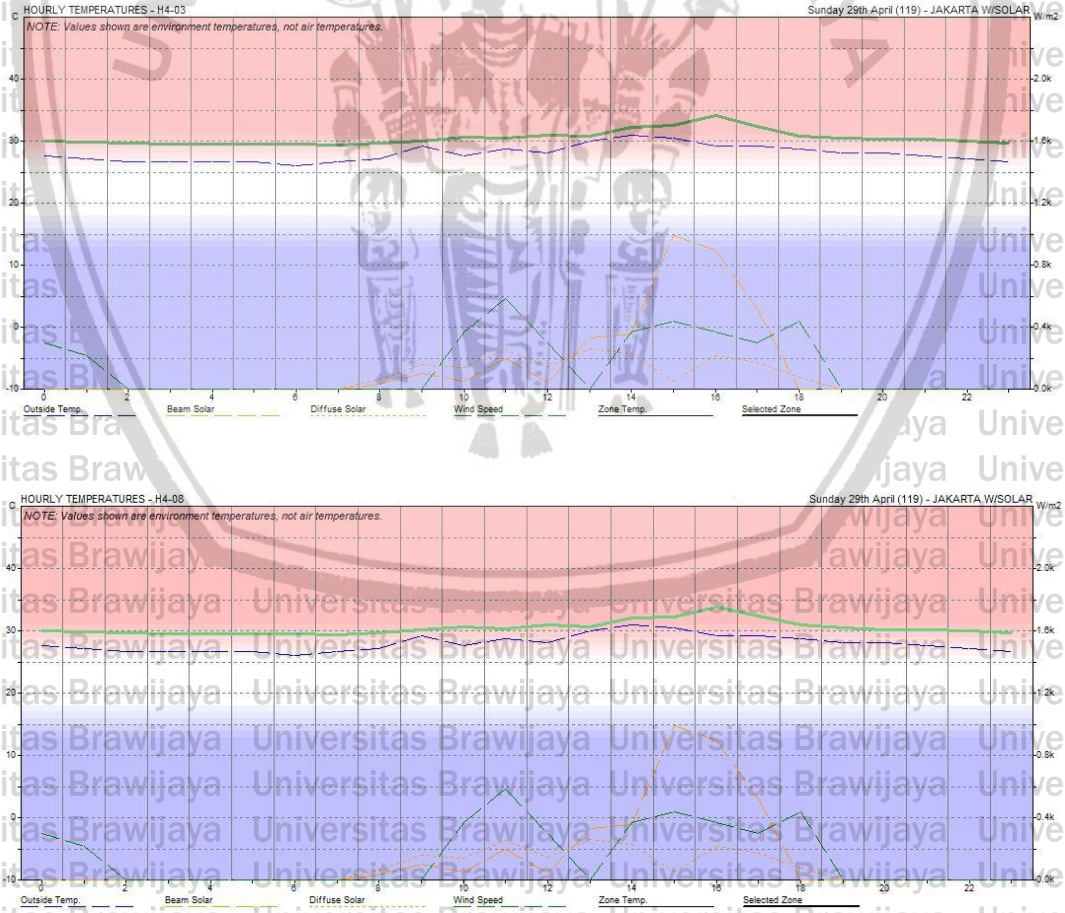
2. Rasio Dinding dan Jendela 30%



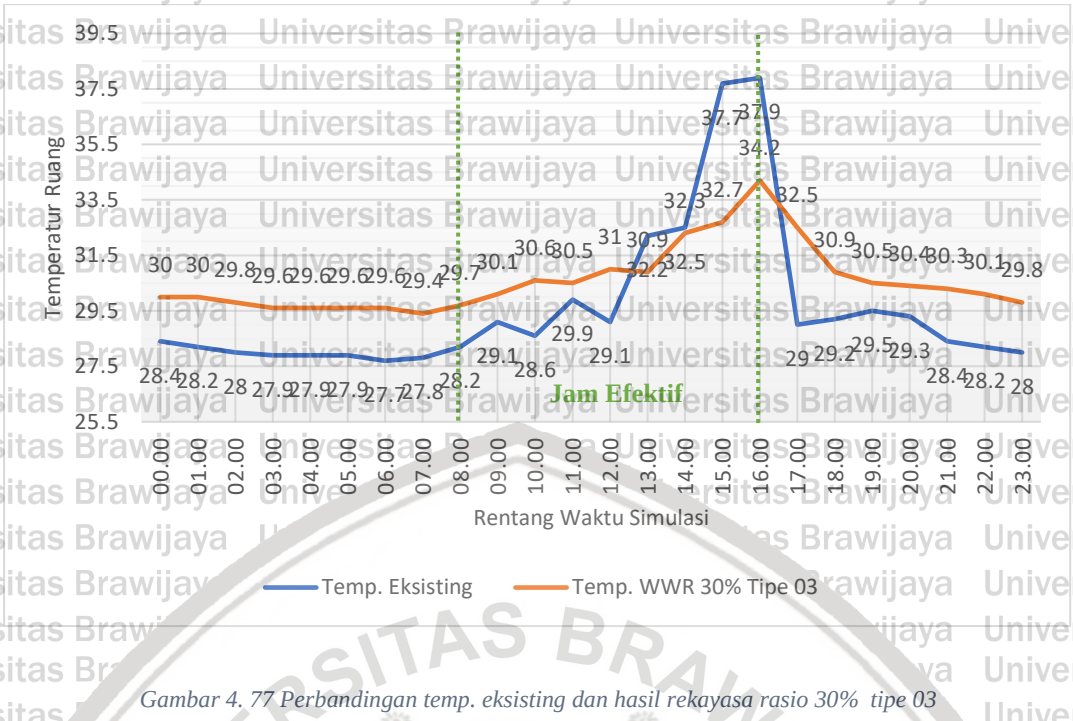
Gambar 4. 74 Tampak dan potongan rasio alternatif 2 ruang tipe 03



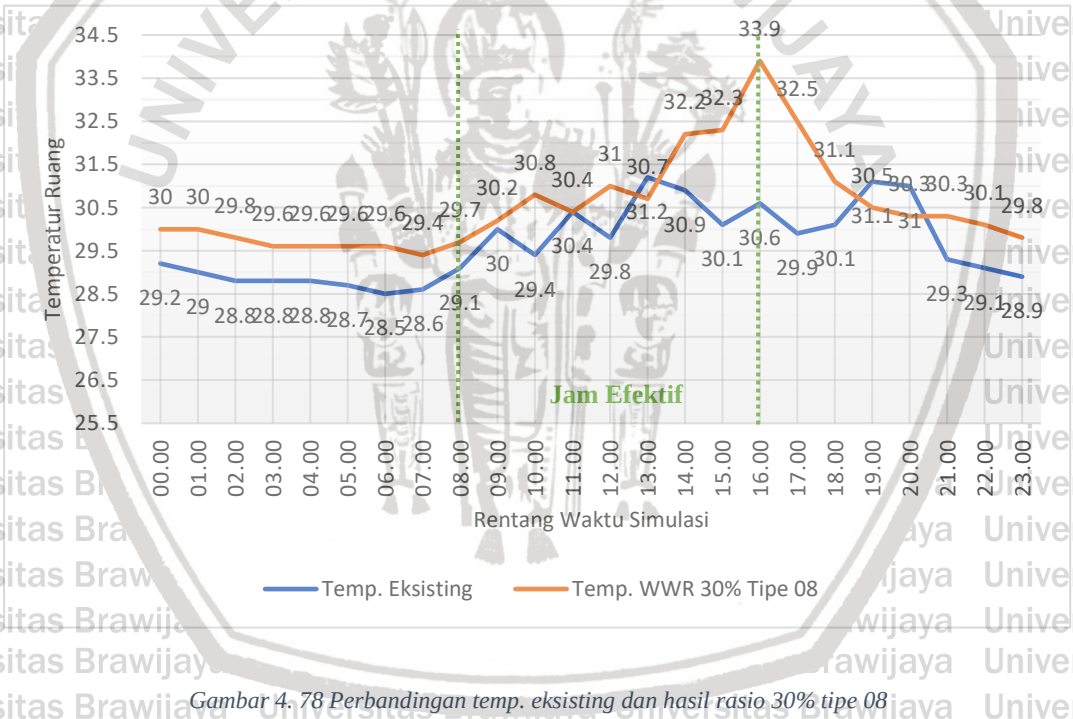
Gambar 4. 75 Tampak dan potongan rasio alternatif 2 ruang tipe 08



Gambar 4. 76 Simulasi hourly temperature rasio Alternatif 2 pada ruang kuliah (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 77 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa rasio 30% tipe 03



Gambar 4. 78 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rasio 30% tipe 08

Hasil simulasi rekayasa fasad dengan rasio jendela 30% pada dinding yaitu 10.6m^2 pada ruang tipe 03 dan 5.3m^2 pada ruang tipe 08, menunjukan bahwa temperatur tidak mengalami perubahan yang berarti pada ruang tipe 03, terjadi peningkatan sebanyak 1^{o}C dari temperatur ruang dalam eksisting. Sedangkan hasil perhitungan nilai temperatur ruang dalam di ruang tipe 08 menunjukan hal yang sama. Perhitungan nilai temperatur ruang mengalami kenaikan 1^{o}C dari nilai awal yakni dari 29.6^{o}C menjaadi 30.5^{o}C.

Tabel 4. 31 Keuungulan dan kelemahan rekayasa rasio 30%

Keunggulan	**Kelemahan**
Menutup akses direct sunlight pada ruang kelas	Meningkatkan rata – rata temperatur ruang dalam harian *(daily temperatur)* sekitar 1ºC.
	Selubung massif pada ruang berdimensi kecil (tipe 08) menghasilkan radiasi yang cukup berpengaruh temperatur ruang
	Rasio 30% mengurangi pencahayaan dan visual ruang kuliah

D. Alternatif Rasio Terpilih

Berdasarkan hasil simulasi rekayasa rasio jendela (material tembus cahaya) terhadap luas dinding ruang, dapat disimpulkan bahwa besarnya rasio bidang kaca tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap nilai temperatur ruang harian. Namun rekayasa rasio memiliki pengaruh terhadap penurunan suhu ruang kuliah tipe 03 pada jam operasional pada siang hari yaitu pukul 13.00 - 16.00. Kondisi temperatur rata rata meningkat namun tidak secara signifikan dapat terjadi karena material kaca yang bersifat meneruskan panas (*solar gain*) digantikan dengan dinding. Dinding memiliki karakteristik termal yang menahan panas dan melepaskannya pada rentang waktu tertentu (*time lag*), oleh karena itu proses radiasi tetap terjadi karena selubung tetap terpapar sinar matahari. Oleh karena itu penggunaan rasio sebesar 50% dipilih sebagai rekomendasi desain rasio pada fasad gedung pasacasarjana UNISMA dengaan kinerja termal lebih baik sehingga radiasi pada ruang dapat terreduksi pada jam operasional namun tidak menghilangkan fungsi pencahayaan sesuai fungsi ruang kuliah. Diperlukan penyesuaian terhadap jenis material pelingkup dengan kinerja penahan radiasi lebih baik pada selubung bangunan.

Gambar 4. 79 Perspektif rekomendasi desain rasio ruang kuliah tipe 03 dan 08

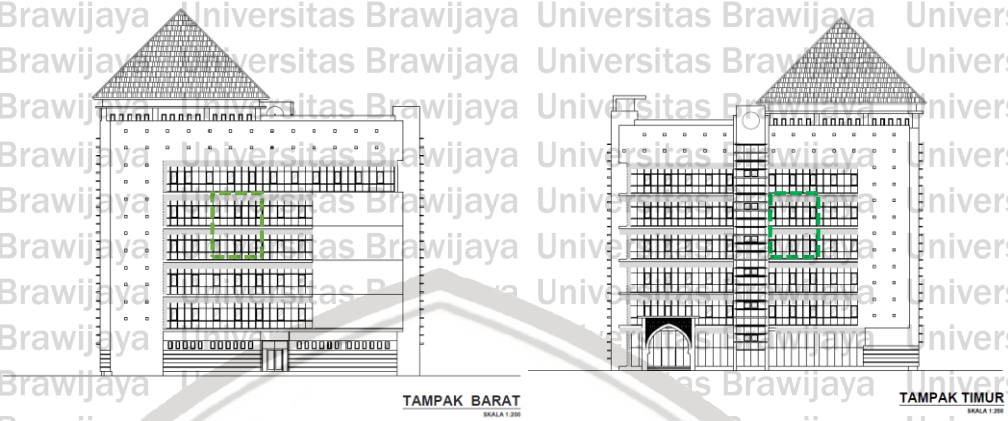
4.5.3 Tipe 3 - Material Dinding dan Jendela

Akibat paparan sinar matahari dan kegiatan di dalamnya, bangunan menerima dan melepas panas yang akan berpengaruh terhadap kondisi ruang tersebut. Dalam kaitannya dengan kenyamanan termal bangunan kondisi ini akan mempengaruhi secara langsung temperatur ruang dalam bangunan. Secara timbal balik bangunan menerima panas lingkungan serta aktivitas didalamnya serta melepas panas yang tersimpan pada material dinding dan jendela. Pada siang hari terjadi proses pemanasan dan pada malam hari terjadi pelepasan panas selubung bangunan (pendinginan), proses pendinginan secara berantai pada bangunan satu lantai tetap efektif tetapi tidak untuk bangunan berlantai banyak. Massa udara menghambat radiasi dan konduksi digantikan dengan konveksi, kondisi ini disebut dengan efek termos (Surjamanto,2000).

A. Eksisting

Material dinding dan jendela gedung pascasarjana Universitas Islam Malang menggunakan batu bata, dinding pembatas antar ruang papan kayu, dan *curtain wall* berupa kaca berjenis *clear glass 4mm* dengan *alumunium frame*. Pada ruang kuliah baik tipe 03 maupun 08 memiliki dinding kaca dengan rasio 100% terhadap dinding. Penggunaan fasad bangunan berupa kaca dinilai kurang efektif terhadap fungsi ruang kuliah. Dari sisi karakteristik termalnya, material kaca memang memiliki sifat paling cepat menerima maupun melepas panas karena tidak memiliki *time lag*, namun material kaca bersifat memantulkan dan meneruskan panas langsung kedalam ruang

(solar gain factor). Oleh karena itu penambahan lapisan insulasi sangat penting untuk meningkatkan kinerja termal selubung bangunan tersebut.



Gambar 4. 80 Fasad ruang kuliah (dari kiri) tipe 03 dan tipe 08

Gambar 4. 81 Material kaca meneruskan panas

Tabel 4. 32 Spesifikasi kaca eksisting

Kaca Tunggal (4mm)	U-value	Tranmisi Visual (VT)	Shading Coefficient	SGHC
Bening	4.94	89	0.95	0.82

B. Analisis

Dalam bukunya *Design With Climate*, Victor Olgyay merekomendasikan kombinasi *resistance-insulation dan capacity-insulation* pada bangunan untuk setiap tipe iklim (tabel 2.1, hal-14). Berdasarkan rekomendasi tersebut, material dinding dan jendela yang harus dipilih pada pelingkup bangunan Tropis ataupun *Hot Humid* adalah material dengan *u-value* rendah agar rambatan panas yang masuk ke dalam bangunan menjadi rendah. Penerapan selubung masif dengan *u-value* yang lebih rendah adalah lebih baik.

Gambar 4. 82 Sebagian panas direduksi oleh material tidak tembus cahaya

Pada ruang kuliah baik tipe 03 maupun 08 memiliki *curtain wall* dengan rasio 100% terhadap dinding, radiasi dapat direduksi dengan mengganti jenis material kaca pada fasad bangunan. Karateristik transmisi termal material kaca diukur dari *u-value*, untuk konduksi, dan koefisien perolehan panas matahari (*solar heat gain coeefficient - SHGC*) atau Koefisien Peneduh (*shading coefficient - SC*) untuk radiasi. Dalam hal ini, nilai SHGC = 0,86 SC. Representasi *u-value*, transmisi cahaya VT dan SHGC untuk berbagai tipikal material kaca yang diproduksi secara lokal (tabel 2.6 hal-26). Berdasarkan tabel tersebut maka material kaca yang cocok dengan fungsi ruang kuliah gedung pascasarjana Universitas Islam Malang yaitu kaca reflektif.

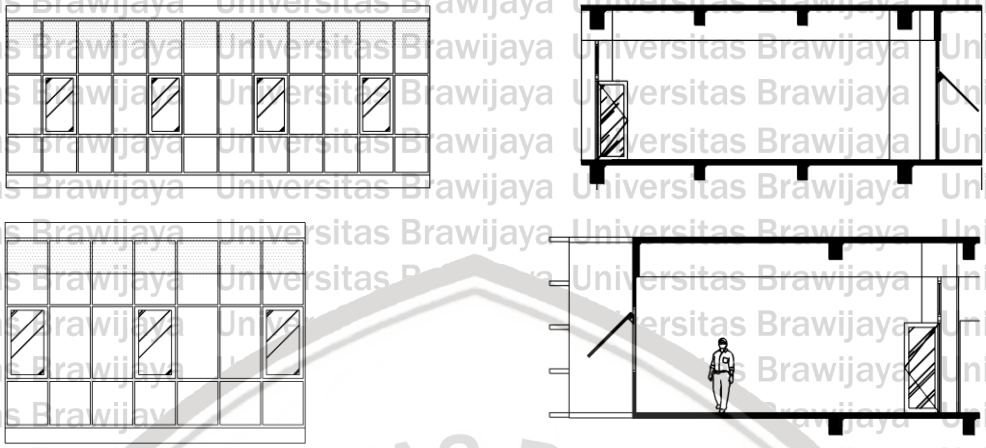
Tabel 4. 33 U-value, transmisi visual, dan nilai SGHC dari alternatif

Kaca Tunggal (4mm)	U-value	Tranmisi Visual (VT)	Shading Coefficient	SGHC
Reflektif	5.18	42-48	0.42-0.53	0.36-0.46

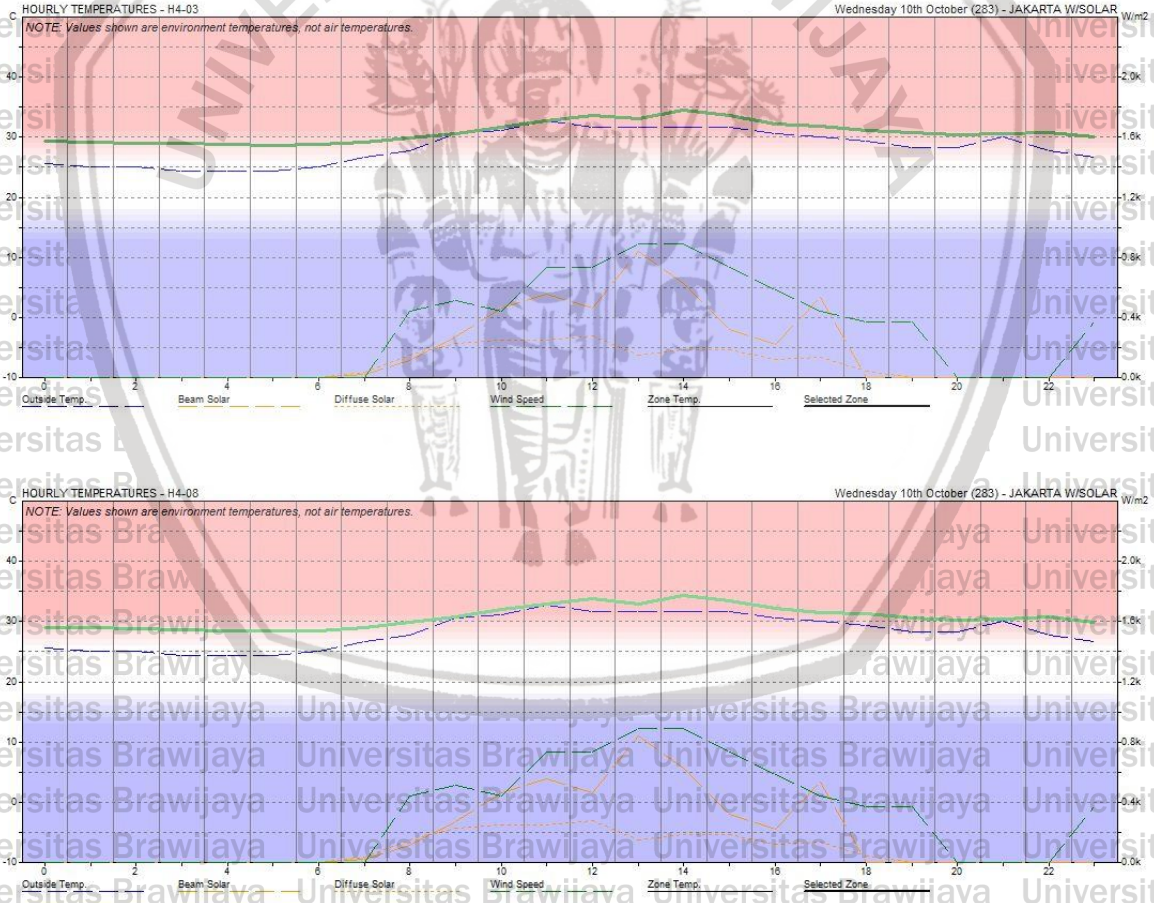
C. Simulasi

Mengacu pada analisis yaitu material kaca memang memiliki sifat paling cepat menerima maupun melepas panas karena tidak memiliki *time lag*, namun material kaca bersifat memantulkan dan meneruskan panas langsung kedalam ruang *(solar gain factor)*. Oleh karena itu kaca reflektif dipilih dikarenakan kaca reflektif ini bersifat memantulkan cahaya dan panas, serta mampu memberikan penampilan yang mewah, sekaligus menurunkan beban energi pengkodisian udara. Kaca reflektif jenis stopsol memberikan perlindungan yang baik dari panas matahari dengan cara memantulkan kembali panas sehingga dapat mengurangi beban pendingin ruangan.

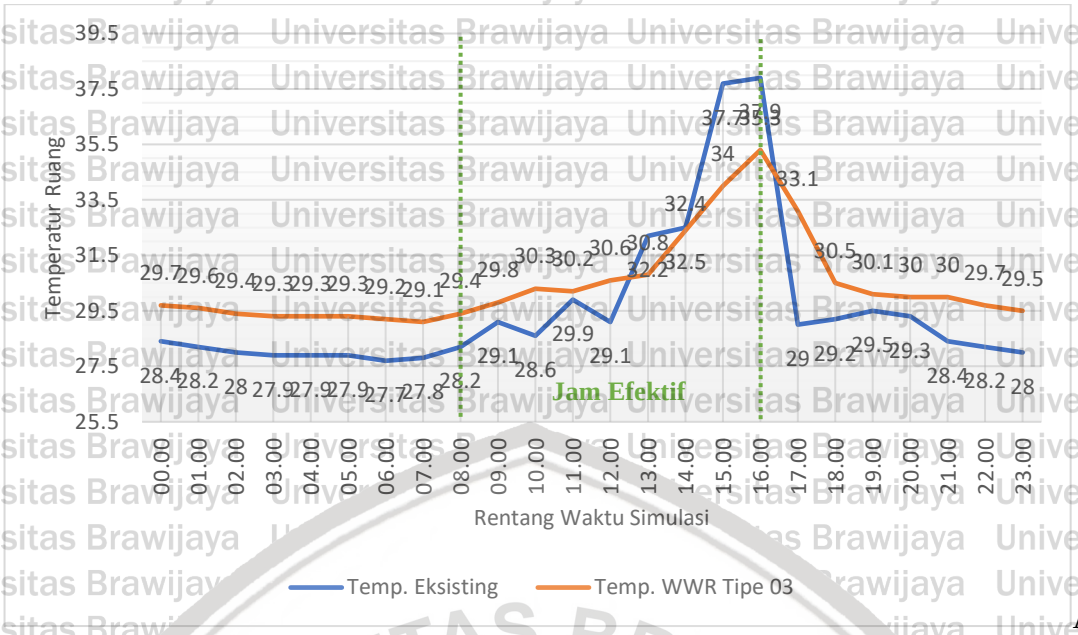
Kaca stopsol mempunyai ketahanan yang kuat terhadap polusi karena lapisan reflektif yang digunakan pada saat pembuatan kaca.



Gambar 4. 83 Tampak fasad dan potongan ruang kuliah (dari atas) tipe 03 dan 08

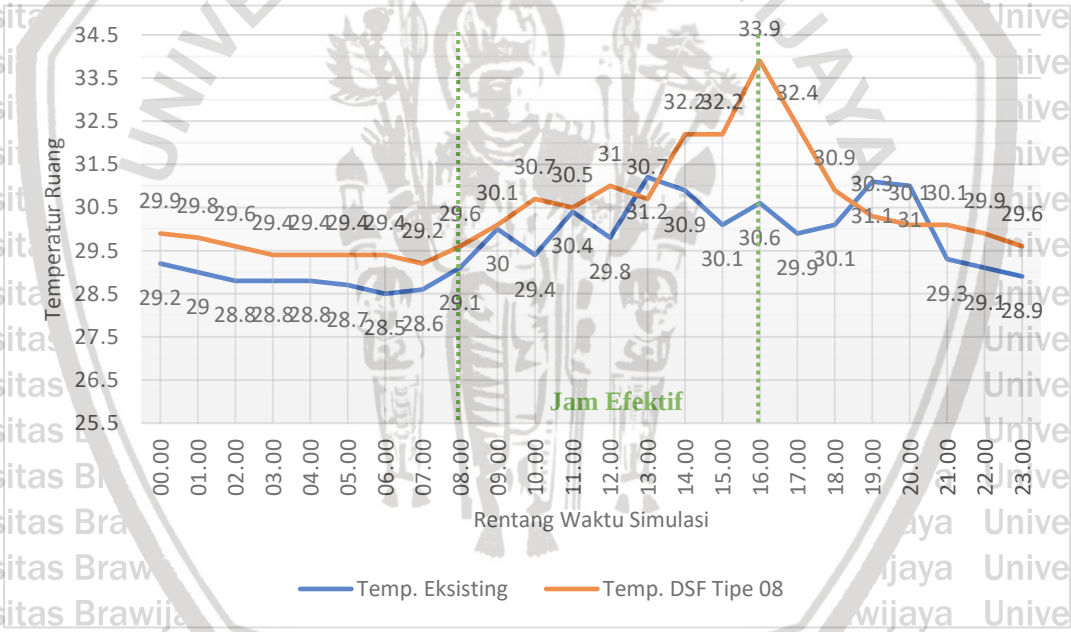


Gambar 4. 84 Simulasi hourly temperature Material kaca reflektif (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



A

Gambar 4. 85 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material tipe 03



Gambar 4. 86 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material tipe 08

Hasil simulasi rekayasa material kaca reflektif menunjukan bahwa terjadi penurunan temperatur ruang dalam tipe 03 sebesar 0.4ºC dari material standart yaitu 31.1ºC menjadi 30.7ºC, saat jam operasional selisih temperatur berkisar antara 0.4ºC hingga 0.8ºC. Sedangkan pada ruang kuliah tipe 08 menunjukan rata-rata temperatur ruang dalam harian mengalami penurunan 0.5ºC.

Dilihat dari hasil simulasi rekayasa material kaca, diketahui bahwa material memiliki pengaruh terhadap rata-rata temperatur ruang dalam harian ruang kuliah. Faktor *time lag* material mempengaruhi penundaan masuknya panas kedalam ruang, sedangkan *u-value* berpengaruh terhadap besarnya rambatan panas yang dapat diserap oleh material. Penggantian kaca dengan jenis kaca reflektif menyebabkan kinerja termal ruangan akan meningkat dan kinerja pengguna ruangan akan lebih baik. Namun faktanya rekayasa material serta rasio belum dapat memenuhi standart zona kenyamanan. Diperlukan rekayasa *sun-shading* bangunan dari sinar matahari dan peningkatan kecepatan angin dalam ruang agar temperatur ruangan menjadi lebih baik.

Gambar 4. 87 Rekomendasi desain material dinding dan jendela ruang kuliah

4.5.4 Tipe 4 - Rasio Dinding & Jendela dan Material Selubung

Dalam bukunya *Design with Climate*, Victor Olgyay merekomendasikan kombinasi *resistance-insulation dan capacity-insulation* pada bangunan untuk setiap tipe iklim (tabel 2.1, hal-14). Berdasarkan rekomendasi tersebut, material yang harus dipilih pada dinding dan jendela bangunan Tropis ataupun *Hot Humid* adalah material dengan *u-value* rendah agar rambatan panas yang masuk ke dalam bangunan menjadi rendah. Penerapan dinding dengan *u-value* yang lebih rendah adalah lebih baik dibandingkan dengan dinding *curtain wall*.

A. Analisis

Material fasad gedung pascasarjana Universitas Islam Malang menggunakan batu bata, dinding pembatas antar ruang papan kayu, dan *curtain wall* berupa kaca berjenis *clear glass 4mm* dengan *alumunium frame*. Pada ruang kuliah baik tipe 03 maupun 08 memiliki dinding kaca dengan rasio 100% terhadap dinding. Dari sisi karakteristik termalnya, material kaca memang memiliki sifat paling cepat menerima maupun melepas panas karena tidak memiliki *time lag*, namun material kaca bersifat memantulkan dan meneruskan panas langsung kedalam ruang *(solar gain factor).* Oleh karena itu penambahan lapisan insulasi sangat penting untuk meningkatkan kinerja termal selubung bangunan tersebut.

Dengan rekayasa rasio terpilih sebesar 50% dari luas dinding dan rekayasa material dinding dan jendela maka akan mempengaruhi temperatur ruang kuliah, rasio material tembus cahaya dikurangi sehingga radiasi matahari berkurang dan dinding yang dapat menahan panas radiasi matahari. Sedangkan kaca sebagai material tembus cahaya tidak mungkin dihilangkan sebagai pencahayaan alami, digunakan material kaca reflektif untuk mengurangi radiasi mataahari dengan *u-value* dan *Solar Heat Gain Coefficient* lebih rendah.

Gambar 4. 88 Sebagian panas direduksi oleh dinding

Tabel 4. 34 Material pelingkup

Material	Ketebalan	Nilai U-value	Nilai Timelag
Batako	15cm	2.25	2.2 jam
Bata Ringan	15cm	0.226	4 jam

Tabel 4. 35 Spesifikasi kaca

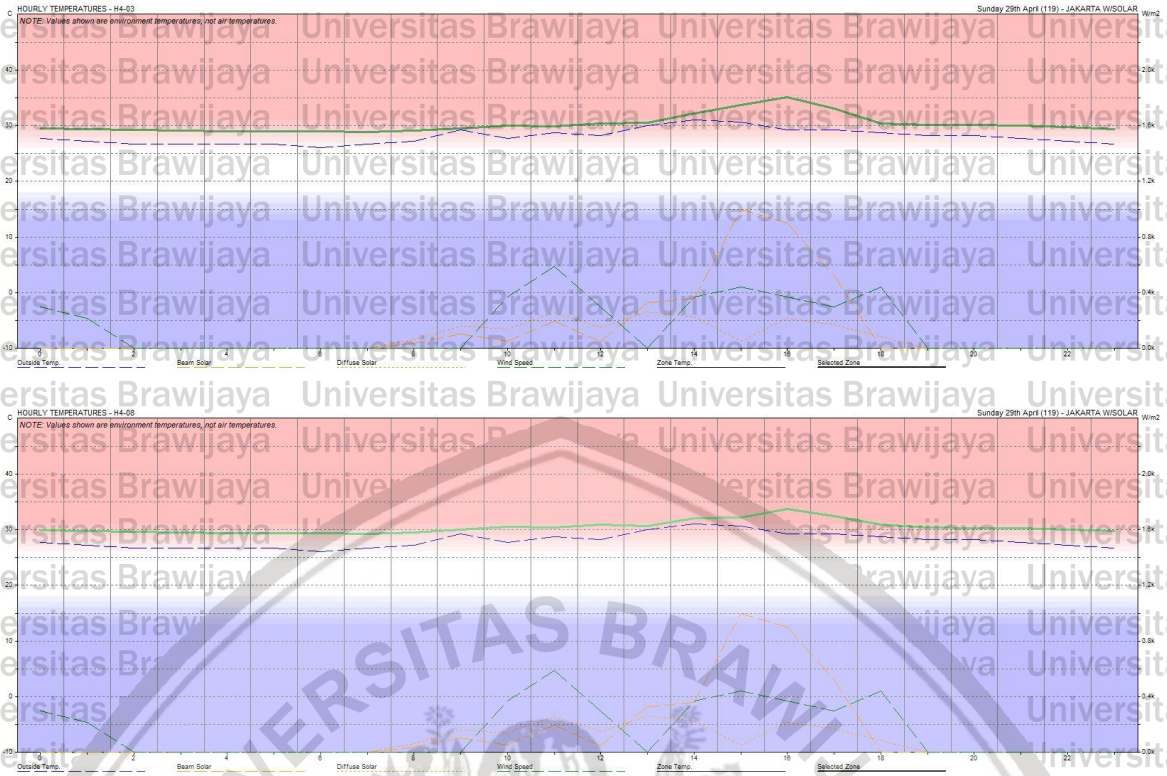
Kaca Tunggal (4mm)	U-value	Tranmisi Visual (VT)	Shading Coefficient	SGHC
Bening	4.94	89	0.95	0.82
Refelktif	5.18	46	0.48	0.40

B. Simulasi

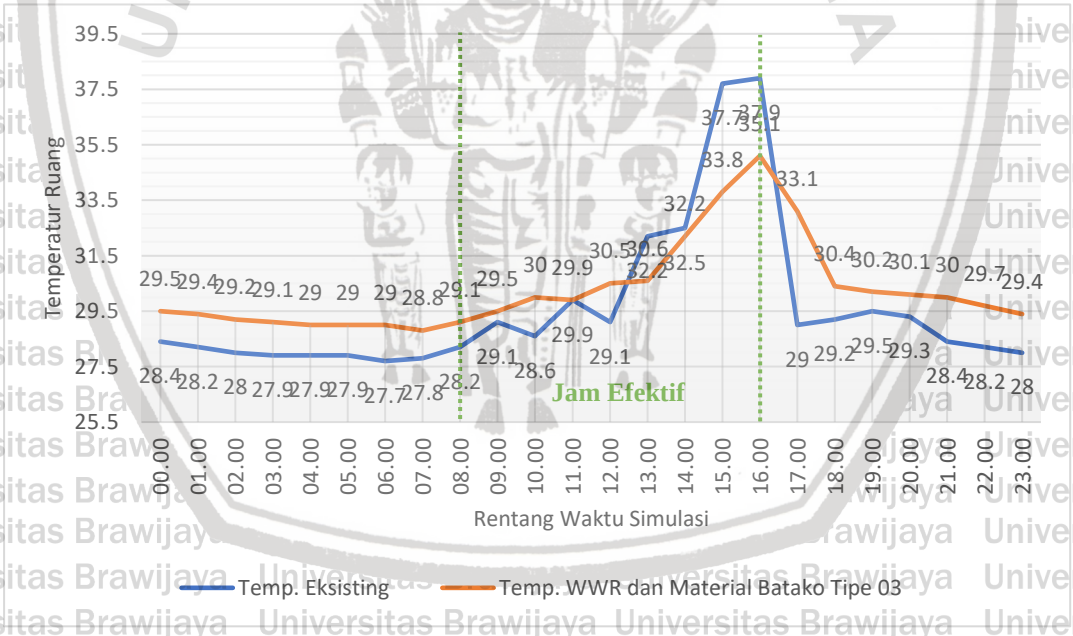
Dinding memiliki karakteristik termal yang menahan panas dan melepaskannya pada rentang waktu tertentu *(time lag)*, oleh karena itu proses radiasi tetap terjadi pada ruangan namun tidak setinggi radiasi langsung oleh kaca. Diperlukan penyesuaian terhadap jenis material dinding dan jendela dengan kinerja penahan radiasi lebih baik pada selubung bangunan. Kaca sebagai faktor pencahayaan yang tidak mungkin dihilangkan direkayasa menggunakan kaca reflektif dengan jenis stopsol, sedangkan dinding terdapat 2 alternatif yaitu dinding batako dan bata ringan. Tujuan simulasi ini yaitu mencari pengaruh material dengan *u-value* dan *timelag* lebih baik terhadap temperatur ruang kuliah.

1. Dinding Batako dan Kaca Reflektif

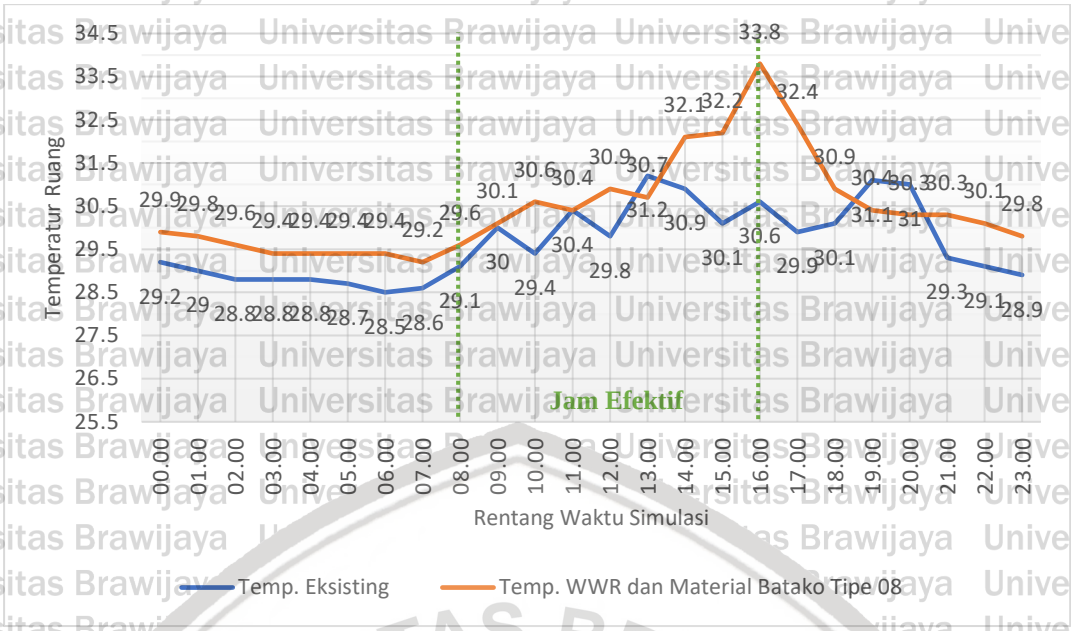
Dinding Batako dipilih karena merupakan material yang umum digunakan pada bangunan tropis dengan mempertimbangkan perawatan dan kekuatan material. Dengan penggunaan material tersebut maka radiasi matahari tidak akan langsung masuk ke dalam ruang. Batako memiliki ketebalan 15cm dengan *time lag* sekitar 2.2 jam dan *u-value* sebesar 2.55. Dengan penggunaan material lokal, maka biaya yang dibutuhkan untuk rekayasa tidak terlalu besar.



Gambar 4. 89 Simulasi hourly temperature rekayasa Rasio dan Material Batako (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 90 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan Material Batako tipe 03



Gambar 4. 91 Perbandingan temp.eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan material Batako tipe 08

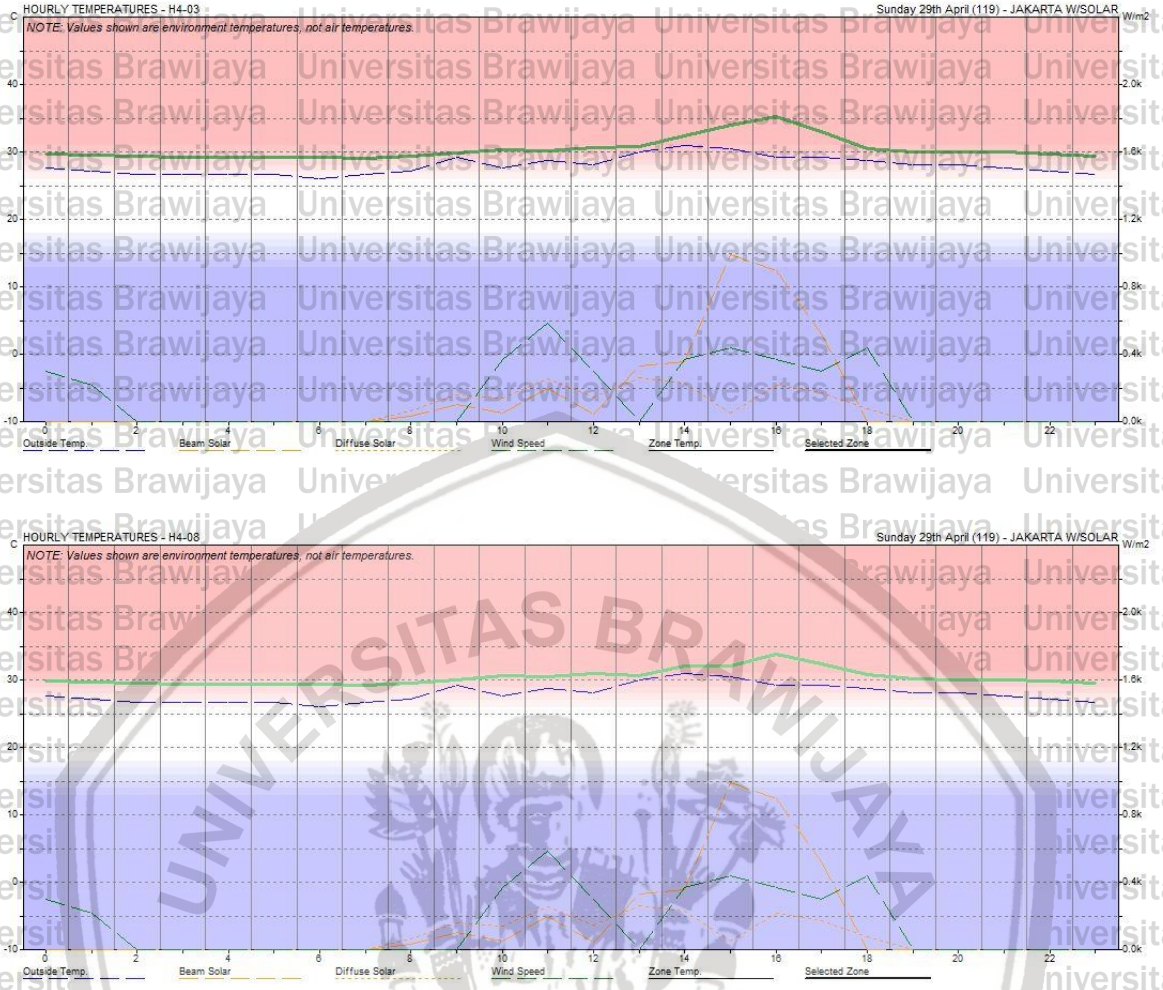
Hasil simulasi rekayasa material berupa dinding batako dan kaca reflektif menunjukan bahwa terjadi penurunan temperatur ruang dalam tipe 03 sebesar 0.7ºC dari material eksisting yaitu 29.6ºC menjadi 30.2ºC, saat jam operasional selisih temperatur berkisar antara 0.3ºC hingga 3.9ºC. Sedangkan pada ruang kuliah tipe 08 menunjukan rata-rata temperatur ruang dalam harian mengalami kenaikan 0.8ºC.

Tabel 4. 36 Keunggulan dan kelemahan batako sebagai dinding

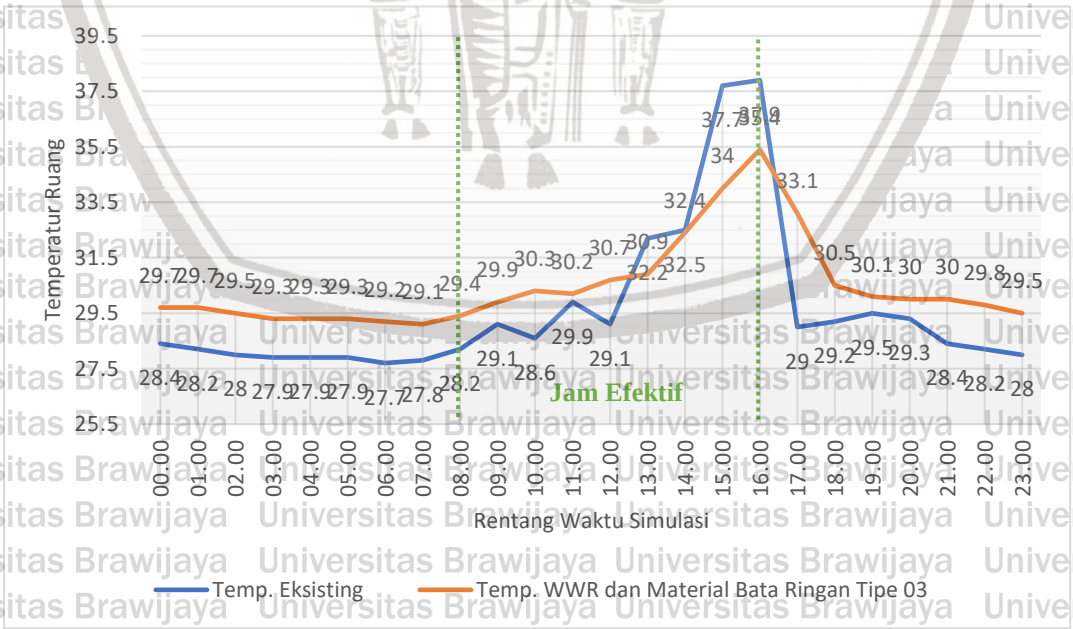
Keunggulan	**Kelemahan**
Material bangunan mudah didapat Cenderung lebih murah daripada bata ringan	Nilai *u-value* masih cukup besar yaitu 2.55 Dimensi batako yang kecil membutuhkan lebih banyak unit untuk pengaplikasian pada gedung.

2. Dinding Bata Ringan dan Kaca Reflektif

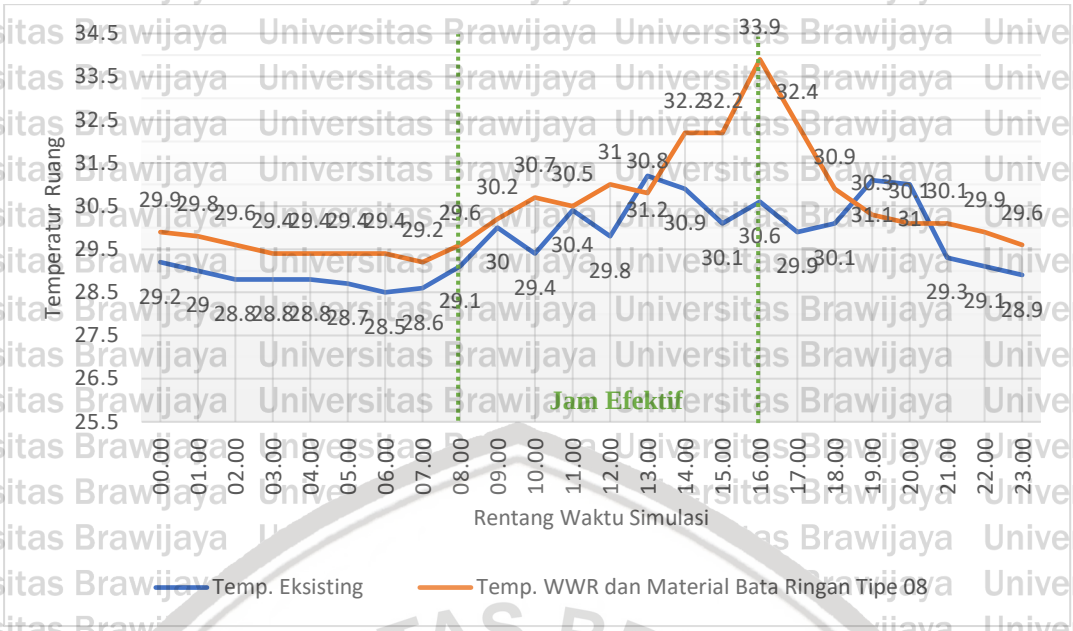
Dinding bata ringan dipilih sebagai alternatif karena merupakan material yang umum digunakan pada bangunan gedung dengan mempertimbangkan perawatan dan kekuatan material. Dengan *u-value* yang lebih rendah dari batako maka dinding memiliki kinerja termal lebih baik. Kaca reflektif jenis stopsol memberikan perlindungan yang baik dari panas matahari dengan cara memantulkan kembali panas sehingga dapat mengurangi beban pendingin ruangan.



Gambar 4. 92 Simulasi hourly temperature rekayasa Rasio dan Material Bata Ringan (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 93 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan Material Bata Ringan tipe 03



Gambar 4. 94 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan Material Bata Ringan tipe 08

Hasil simulasi rekayasa material berupa dinding bata ringan dan kaca reflektif menunjukan bahwa terjadi kenaikan temperatur ruang dalam tipe 03 sebesar 0.6ºC dari material eksisting yaitu 29.6ºC menjadi 30.4ºC, saat jam operasional selisih temperatur berkisar antara 0.6ºC hingga 3.7ºC. Sedangkan pada ruang kuliah tipe 08 menunjukan rata-rata temperatur ruang dalam harian mengalami penurunan 0.8ºC.

Tabel 4. 37 Keunggulan dan kelemahanbata ringan sebagai selubung masif

Keunggulan	**Kelemahan**
Nilai *u-value* cukup rendah yaitu 0.226	Biaya bata ringan lebih mahal dari batako
Kinerja termal lebih baik daripada penggunaan selubung masif batako	

C. Alternatif Material Rasio Terpilih

Penggunaan kombinasi ini berpengaruh terhadap penurunan temperatur ruang tipe 03 pada siang hari, namun dapat disimpulkan bahwa rasio dan material kurang membawa pengaruh terhadap penurunan temperatur. Dilihat dari hasil simulasi rekayasa material dinding dan jendela, diketahui bahwa material memiliki pengaruh yang besar terhadap rata-rata temperatur ruang dalam namun tidak signifikan terhadap temperatur ruang. Besarnya penurunan tergantung dari nilai *u-value* yang mempengaruhi rambatan radiasi pada dinding dan *time lag* material yang

menghambat radiasi yang akan dilepaskan. Namun dari hasil simulasi menunjukan bahwa *time lag* material memiliki pengaruh yang lebih baik pada kinerja ruangan. Oleh karena itu bata ringan yang memiliki *time lag* lebih besar dari batako yaitu 4 jam dipilih sebagai alternatif material dinding pada kombinasi selanjutnya.

Gambar 4. 95 Rekayasa Rasio dan Material pelingkup pada ruang kuliah

4.5.5 Tipe 5 - Rasio Dinding & Jendela dan *Double Skin Facade*

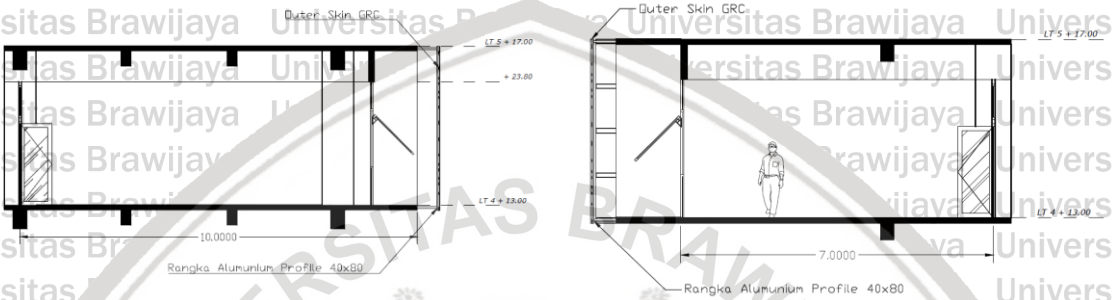
Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, mengurangi rasio dinding tembus cahaya belum tentu efektif. Walaupun sinar matahari dapat dikurangi namun selubung masif hanya akan menghambat radiasi sinar matahari, namun temperatur tidak menunjukan banyak perbedaan. Oleh karena itu DSF dipakai sebagai alternatif kombinasi untuk menaungi fasad dari panas matahari.

A. Analisa

Material fasad gedung pascasarjana Universitas Islam Malang menggunakan batu bata, dinding pembatas antar ruang papan kayu, dan *curtain wall* berupa kaca berjenis *clear glass 4mm* dengan *alumunium frame*. Pada ruang kuliah baik tipe 03 maupun 08 memiliki dinding kaca dengan rasio 100% terhadap dinding. Dari sisi karakteristik termalnya, material kaca memang memiliki sifat paling cepat menerima maupun melepas panas karena tidak memiliki *time lag*, namun material kaca bersifat memantulkan dan meneruskan panas langsung kedalam ruang *(solar gain factor).*

Oleh karena itu penambahan lapisan insulasi sangat penting untuk meningkatkan kinerja termal selubung bangunan tersebut.

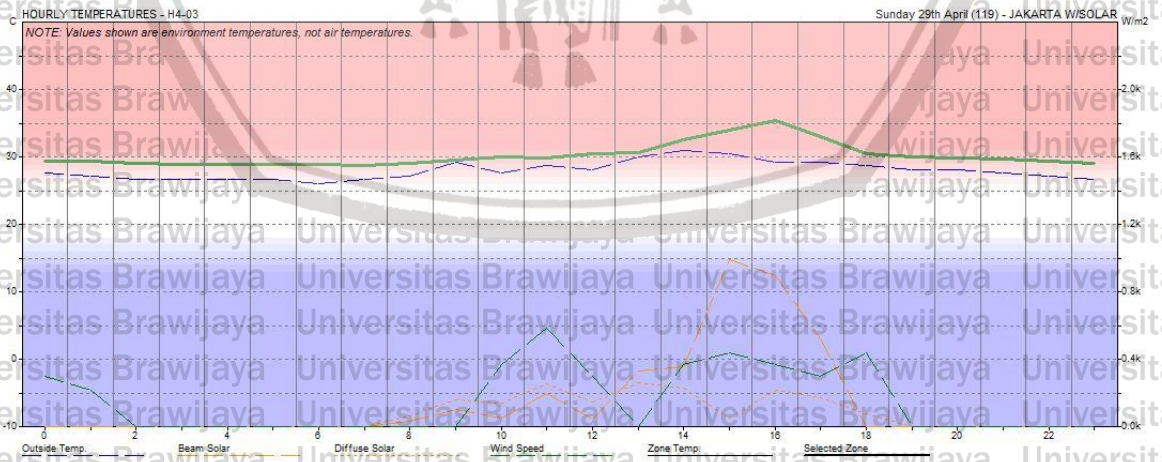
Dengan rekayasa rasio jendela sebesar 50% dari luas dinding dan DSF sebagai elemen peneduh mungkin dapat mempengaruhi temperatur ruang kuliah, rasio jendela dikurangi sehingga radiasi matahari berkurang dan dinding dapat menahan panas radiasi matahari.

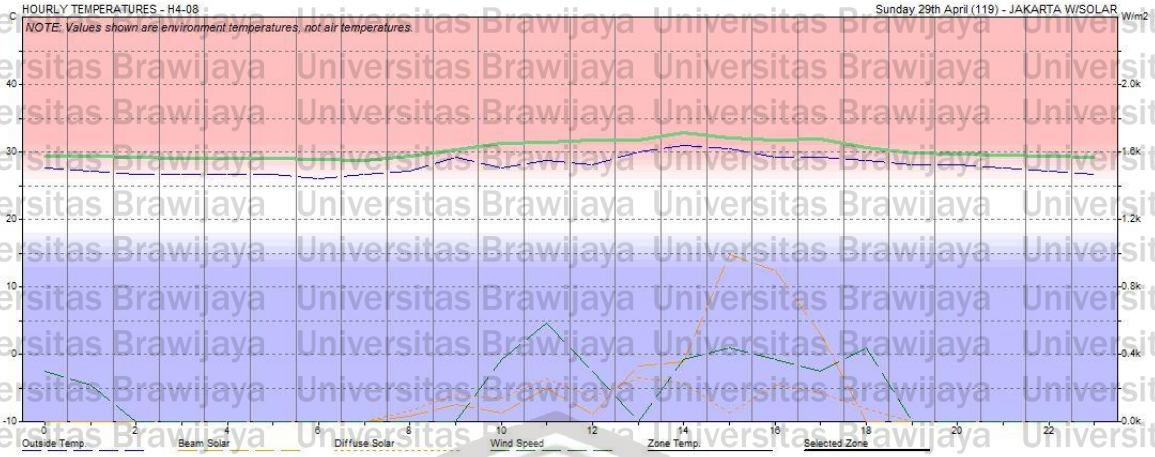


Gambar 4. 96 Potongan ruang kuliah dengan DSF

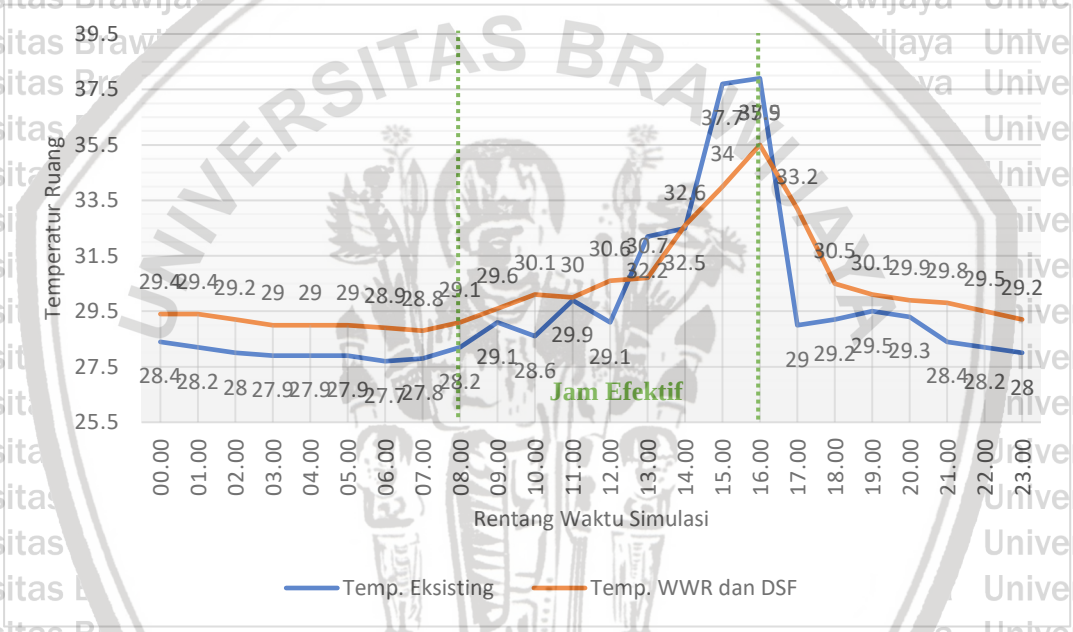
B. Simulasi

Rasio jendela (material tembus cahaya) terhadap dinding sebesar 50% dinilai sebagai paling baik karena mengurangi radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan namun tetap mempertahankan fungsi pencahayaan yang baik untuk fungsi ruang kuliah. Sedangkan DSF berfungsi sebagai peneduh dari sinar matahari langsung.

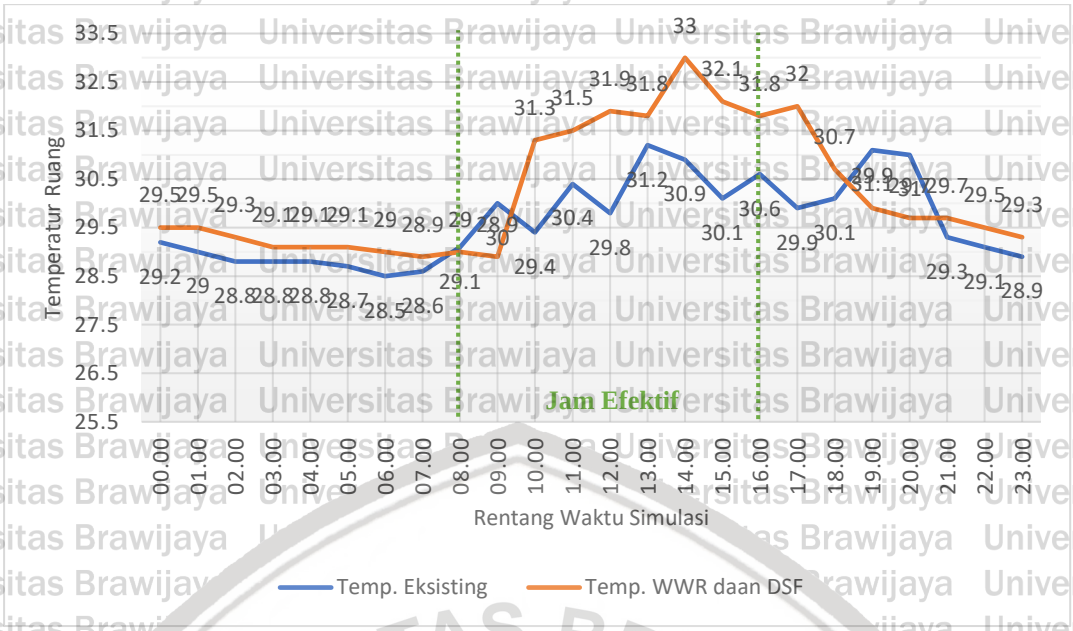




Gambar 4. 97 Simulasi hourly temperature rekayasa Rasio dan DSF (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 98 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan DSF tipe 03



Gambar 4. 99 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Rasio dan DSF tipe 08

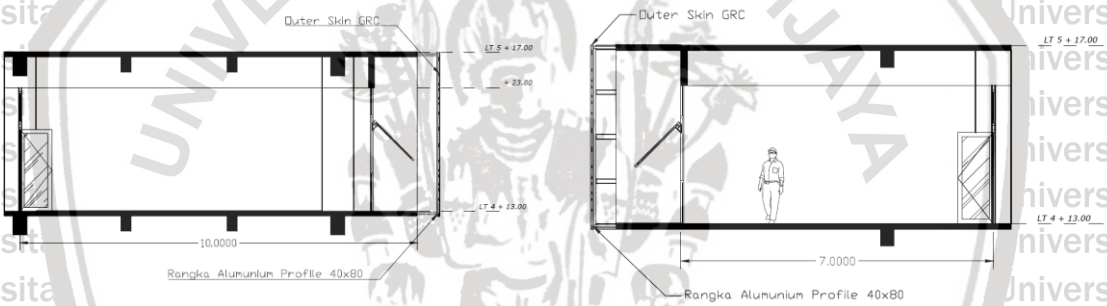
Hasil simulasi rekayasa rasio 50% dan penggunaan DSF menunjukan bahwa terjadi kenaikan temperatur ruang dalam tipe 03 seperti pada kombinasi yang lain sebesar 0.6ºC dari material eksisting yaitu 29.6ºC menjadi 30.2ºC, saat jam efektif perkuliahan selisih temperatur berkisar antara -0.1ºC hingga 3.7ºC. Sedangkan pada ruang kuliah tipe 08 menunjukan rata-rata temperatur ruang dalam harian mengalami kenaikan 0.6ºC. Penggunaan kombinasi ini berpengaruh terhadap penurunan temperatur ruang tipe 03 pada siang hari, namun seperti yang daapat dilihat pada grafik bahwa Rasio dan DSF kurang efektif untuk menurunkan temperatur ruang kuliah. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kombinasi Rasio dan DSF tidak efektif dalam penerapan rekayasa pada gedung pascasarjana UNISMA.

4.5.6 Tipe 6 - Material Dinding & Jendela dan *Double Skin Facade*

Dari alternatif sebelumnya didapatkan bahwa *double skin façade* sangat berpengaruh terhadap temperatur ruang dan dapat menurunkan temperature ruangan dengan signifikan. Pada kombinasi kali ini akan mengetahui bagaimana pengaruh material dinding dan jendela terhadap kinerja DSF.

A. Analisa

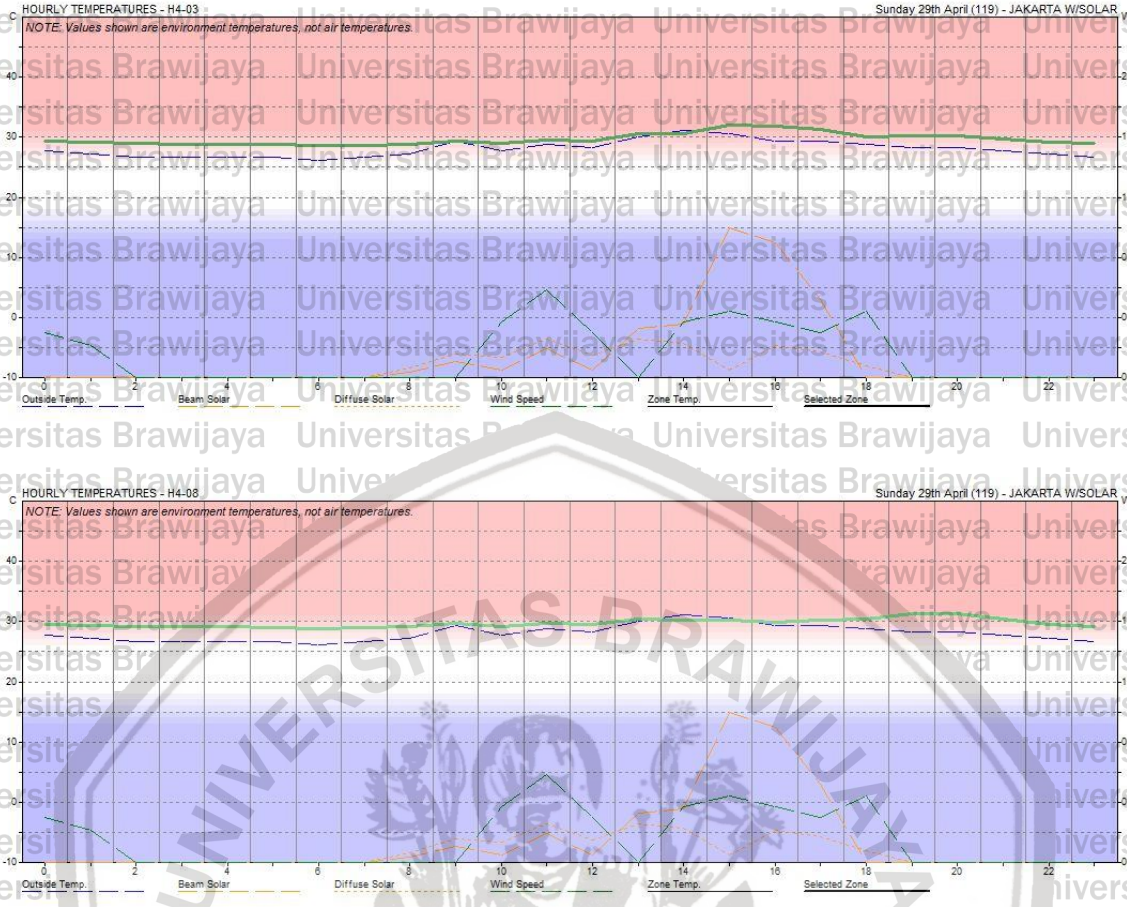
Mengurangi rasio jendela belum tentu efektif, walaupun sinar matahari dapat dikurangi namun dinding hanya akan menghambat radiasi sinar matahari, namun temperatur tidak menunjukan banyak perbedaan. Oleh karena itu DSF dipakai sebagai alternatif kombinasi untuk menaungi fasad dari panas matahari. Mengikuti rencana konsep desain arsitektur UNISMA mendatang, maka dipilih elemen peneduh berupa *double skin façade* dengan bentuk *Islamic Geometric Pattern* yaitu bentuk geometri yang digunakan oleh lingkungan UNISMA sebagai pembayang matahari pada sisi gedung. *Double skin façade* dinilai dapat mengurangi sinar matahari pada fasad namun tidak menghilangkan visual ruang kuliah ke ruang luar (gambar 4.49). Dengan mengganti material kaca eksisting dengan kaca reflektif seharusnya dapat membuat kinerja termal ruangan lebih baik.



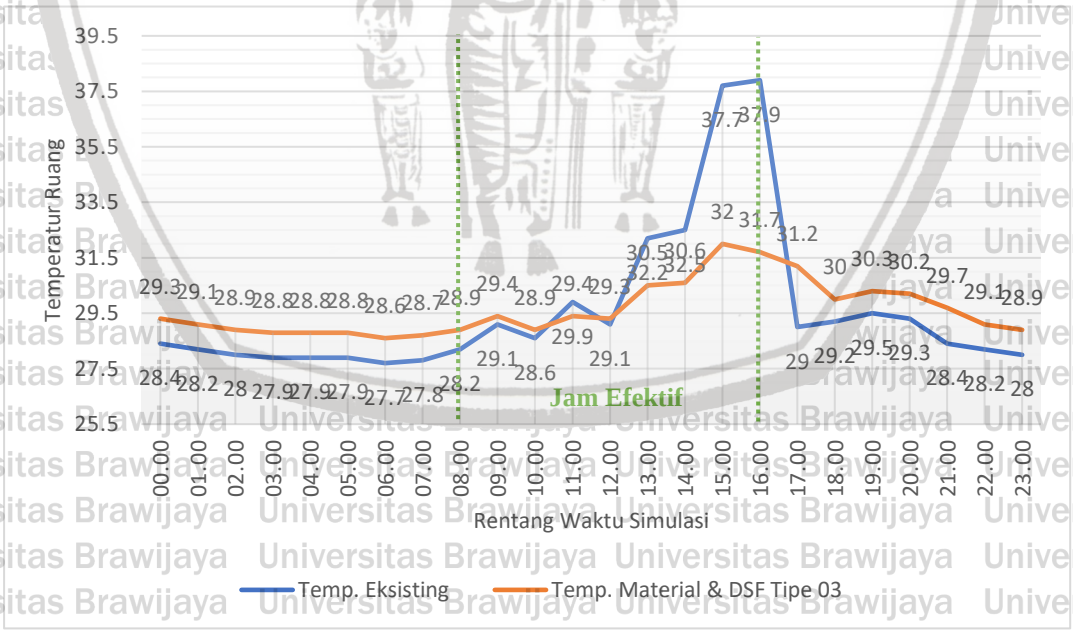
Gambar 4. 100 Potongan ruang kuliah dengan DSF

B. Simulasi

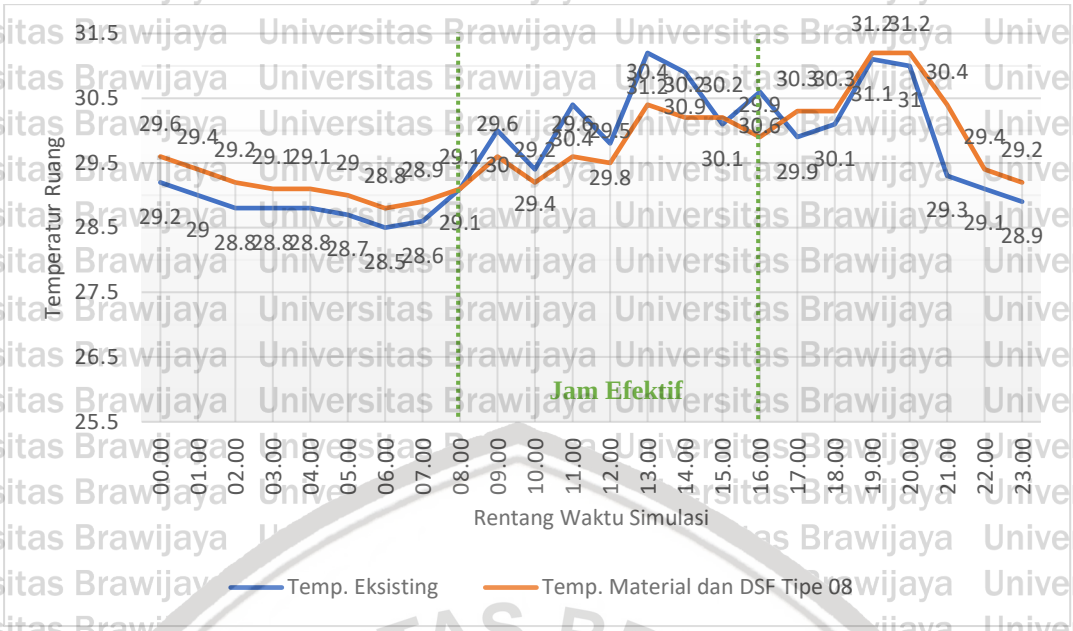
DSF menggunakaan rangka gantung yang dipasangkan pada kantilever fasad yang juga berfungsi sebagai *horizontal shading*. Pemberian jarak 1.5m dari fasad dinilai baik untuk memberi ruang sebagai pergerakan angin agar dapat masuk pada bagian *setback* bangunan. Dan material kaca pada eksisting diganti dengan kaca reflektif yang memberikan perlindungan yang baik dari panas matahari dengan cara memantulkan kembali panas sehingga dapat mengurangi beban pendingin ruangan.



Gambar 4. 101 Simulasi hourly temp. rekayasa Material kaca dan DSF (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 102 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material kaca dan DSF ruang kuliah tipe 03



Gambar 4. 103 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa Material kaca dan DSF ruang kuliah tipe 08

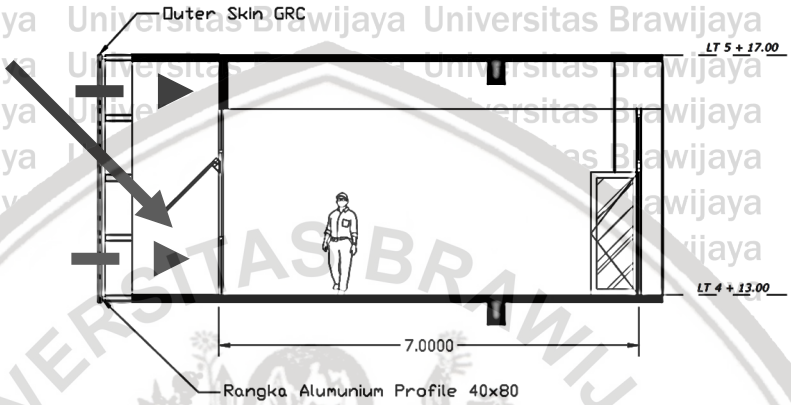
Berikut merupakan hasil simulasi rekayasa fasad ruang kuliah dengan jarak DSF 1.5m dari jendela dan material kaca reflektif. Diketahui bahwa pada ruang tipe 03 rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature)* tidak bertambah, hal ini menunjukan bahwa temperatur ruangan sangat dipengaruhi oleh intensitas matahari yang masuk kedalam ruangan. Penurunan suhu paling signifikan pada ruangan tipe 03 yang berorientasi kearah barat laut yaitu pada jam 15.00 dan 16.00, terjadi penurunan suhu ± 6.7 ºC – 6.3 ºC dikarenakan DSF sangat efektif sebagai peneduh sinar matahari dengan sudut kemiringan rendah. Sedangkan pada ruang tipe 08 juga terdapat perbedaan, pada ruang tipe 08 menunjukan adanya perbedaan rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature)* yaitu sedikit kenaikan ± 0.1 ºC. Pada jam 17.00 hingga jam 07.00 temperatur ruangan cenderung naik. Akan tetapi terjadi penuruan nilai temperatur ruang tipe 08 pada saat jam efektif perkuliahan yaitu pada jam 08.00 hingga 16.00 hingga 0.9 ºC. Dapat disimpulkan bahwa kombinasi material serta DSF cukup efektif dalam menurunkan temperatur ruang kuliah.

4.5.7 Tipe 7 - DSF, Rasio Dinding & Jendela, dan Material Dinding & Jendela

Dari alternatif sebelumnya didapatkan bahwa beberapa kombinasi dapat memberikan pengaruh signifikan bagi naiknya temperature ruangan. Pada kombinasi terakhir, dilakukan simulasi terhadap ruang kuliah tipe 03 dan 08 dengan mengaplikasikan semua variabel pada rekayasa yaitu DSF, Rasio, dan Material.

A. Analisa

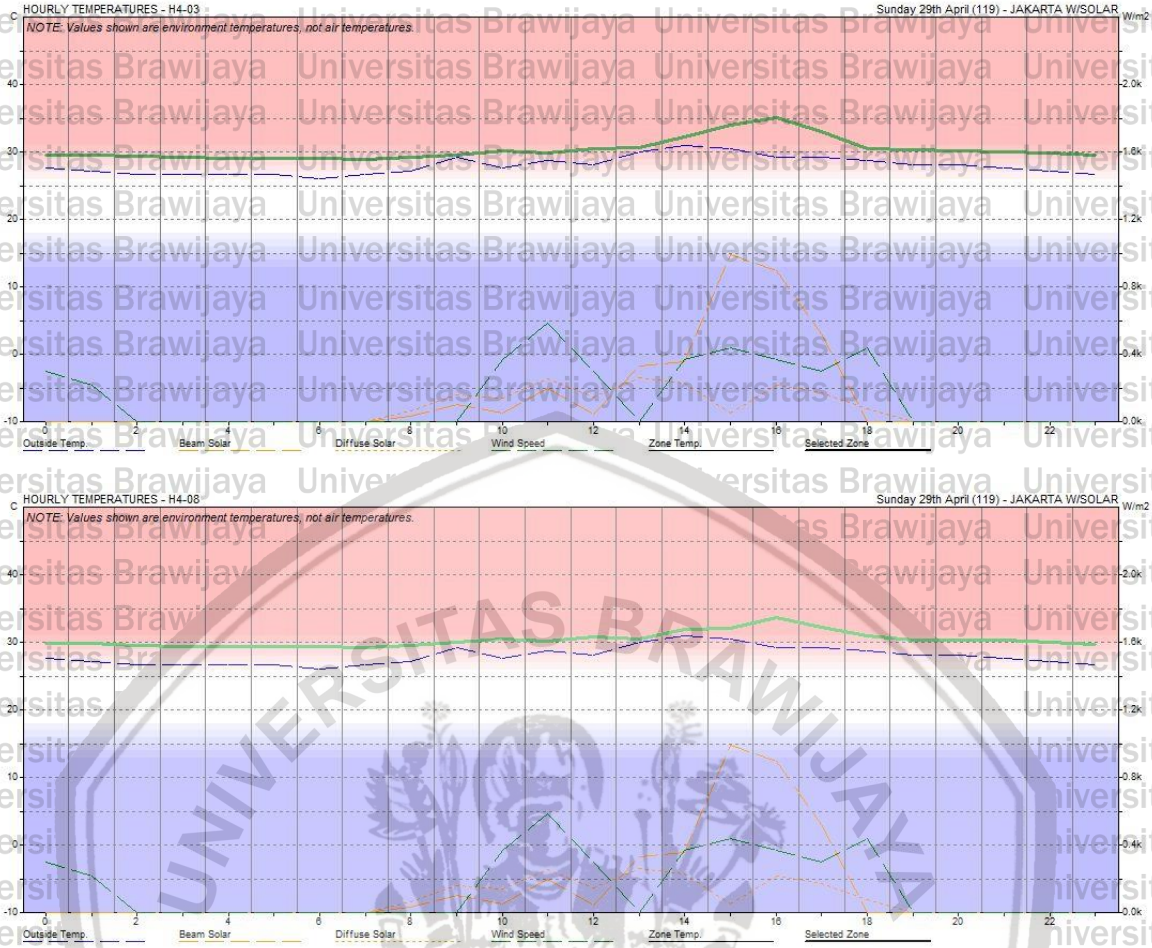
Pengaplikasian DSF dan perubahan rasio memberikan pengaruh pada pembayangan sinar matahari pada fasad dan mereduksi radiasi langsung pada fasad, sedangkan penggantian material memiliki pengaruh berdasarkan *u-value* dan nilai *time lag* pada material dinding dan jendela. Simulasi dengan tiga variabel ditujukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh ketiganya saat diaplikasikan bersamaan.



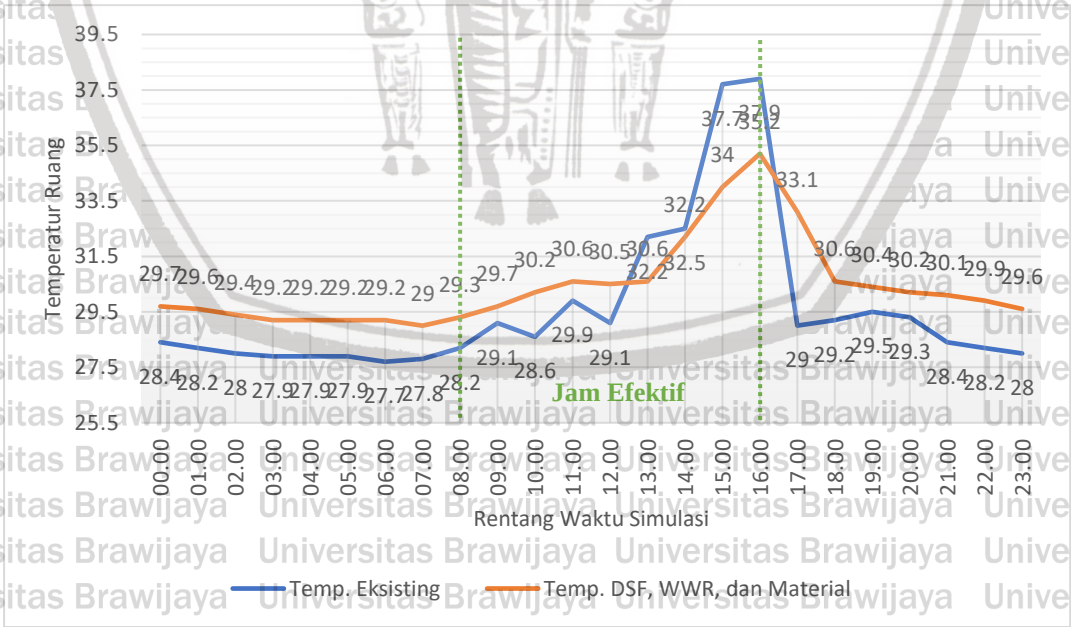
Gambar 4. 104 Sebagian panas direduksi oleh DSF dan dinding

B. Simulasi

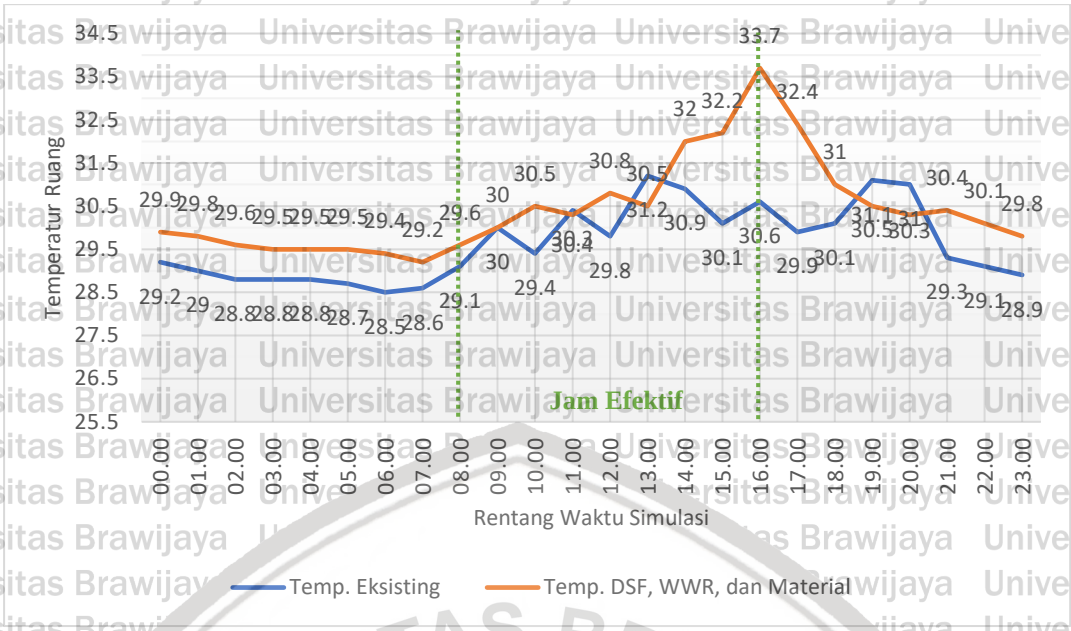
Simulasi merupakan gabungan antara penerapan DSF dengan jarak 1.5m dari fasad, penerapan Rasio 50%, dan material dinding bata ringan dan kaca reflektif. Dari simulasi sebelumnya diketahui bahwa DSF dapat menurunkan temperatur ruangan dengan baik, sedangkan penerepan material dan rasio menunjukan adanya kenaikan temperatur. Kinerja termal seharusnya dapat menjadi lebih baik dikarenakan dinding tidak terkena radiasi matahari secara langsung.



Gambar 4. 105 Simulasi hourly temperature rekayasa DSF, Rasio, serta Material (dari atas) tipe 03 dan tipe 08



Gambar 4. 106 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF, Rasio, dan Material tipe 03



Gambar 4. 107 Perbandingan temp. eksisting dan hasil rekayasa DSF, Rasio, dan Material tipe 08

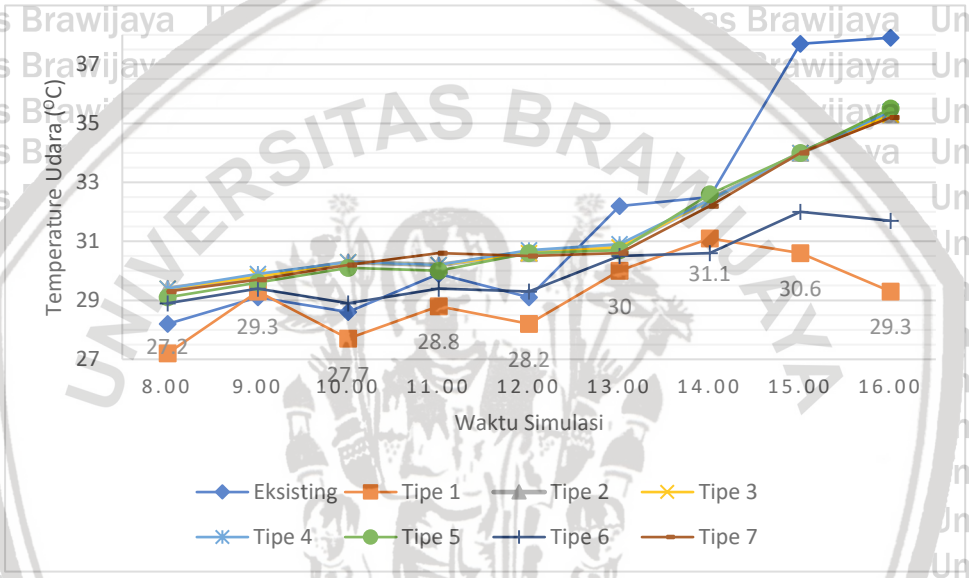
Berikut merupakan hasil simulasi rekayasa DSF, Rasio, dan Material. Diketahui bahwa pada ruang tipe 03 rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature)* meningkat ± 0.8 ºC, hal ini dapat dipengaruhi oleh radiasi yang disimpan oleh dinding bata ringan kedalam ruangan. Penurunan suhu paling signifikan pada ruangan tipe 03 yang berorientasi kearah barat laut yaitu pada jam 15.00, terjadi penurunan suhu ± 5.7 ºC dikarenakan DSF cukup efektif sebagai peneduh sinar matahari dengan sudut kemiringan rendah pada ruang tipe 03. Sedangkan pada ruang tipe 08 tidak menunjukan adanya perbedaan rata-rata temperatur ruang harian *(daily temperature)*. Pada jam 21.00 hingga jam 07.00 temperatur ruangan cenderung naik. Akan tetapi terjadi penuruan nilai temperatur ruang tipe 08 pada saat jam 14.00 hingga 18.00 hingga 3.1 ºC.

Berdasarkan hasil simulasi rekayasa dengan *double skin façade (DSF)*, Rasio dan Material pada fasad ruang kuliah tipe 03 dan 08, dapat disimpulkan bahwa penggunaan ketiga variable rekayasa secara bersama justru meningkatkan temperatur ruang. Jika pun ada penurunan, hal itu terjadi karena DSF dapat secara efektif menaungi ruang kuliah dari sinar matahari. DSF dengan jarak mencukupi dari dinding fasad dan dimensi rongga pada kisi kisi DSF yang cukup tentunya juga akan memberikan ruang pergerakan angin yang dibutuhkan untuk sistem pendinginan alami ruang kuliah.

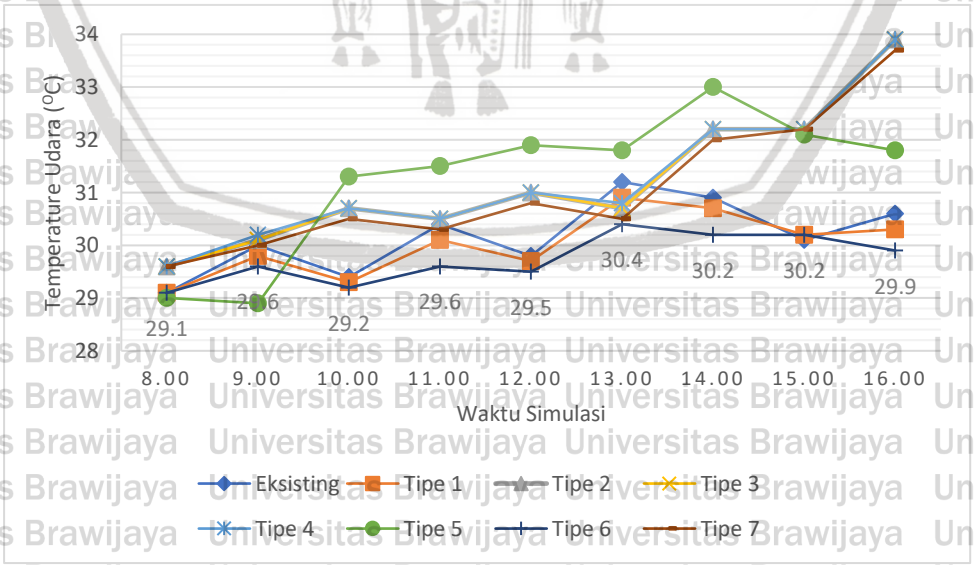
4.6 Rekomendasi Desain

4.6.1 Rekomendasi Terpilih

Berdasarkan hasil simulasi hasil rekayasa menunjukan bahwa tidak semua rekomendasi dapat menurunkan temperatur ruang dalam sesuai sintesa awal. Untuk mengetahui kombinasi rekayasa fasad yang efektif, masing masing kombinasi dikomparasikan berdasarkan simulasi eksisting pada jam efektif perkuliahan yaitu jam 08.00 – 16.00 untuk mengetahui efektifitas rekayasa terhadap penurunan temperatur ruang kuliah pada saat jam perkuliahan.



Gambar 4. 108 Perbandingan temperatur hasil simulasi tipe 03 terhadap eksisting



Gambar 4. 109 Perbandingan temperatur hasil simulasi tipe 08 terhadap eksisting

Beberapa hasil simulasi menunjukan bahwa penurunan temperatur ruang kuliah gedung pascasarjana UNISMA dapat dicapai melalui penerapan *double skin façade* sebagai elemen *sun-shading* fasad yaitu pada tipe 1: Rekayasa DSF, dan tipe 6: Rekayasa DSF dan Material. Pada ruang kuliah tipe 03, rekayasa DSF merupakan rekomendasi terbaik untuk mengurangi rata rata temperatur harian sebanyak 1.6ºC, dari temperature eksisting yakni 31.7ºC ke angka 29.1ºC. Sedangkan pada ruang kuliah tipe 08, rekayasa DSF dan material merupakan rekomendasi terbaik untuk mengurangi rata rata temperatur harian sebanyak 0.5ºC, dari temperature eksisting yakni 30.2ºC ke angka 29.7ºC.

Temperatur udara pada masing – masing tipe kombinasi berada diatas 29ºC. Berdasarkan perbandingan diagram 4.45 dan 4.46, rekayasa fasad tipe 1 yaitu rekayasa DSF menjadi rekomendasi dengan efektivitas yang baik terhadap ruang kuliah tipe 03 dan 08. Oleh karena itu rekayasa tipe 1 dipilih menjadi rekomendasi terpilih pada objek penelitian. Diketahui bahwa penerapan DSF memberikan pengaruh yang sangat signifikan bagi bangunan dengaan orientasi menghadap arah matahari. Sedangkan rekayasa rasio hanya menghambat radiasi dikarenakan adanya efek *timelag* pada selubung bangunan.

4.6.2 Evaluasi Hasil Rekayasa Fasad Bangunan

A. Simulasi Rekomendasi Terpilih pada bulan april

Evaluasi hasil rekomendasi desain dibutuhkan untuk mengetahui perbedaan kinerja temperatur ruang kuliah H4-03, H4-08, H5-03, dan H5-08 pada awal dan setelah dilakukan rekayasa pada fasad. Berdasarkan data simulasi eksisting akan disajikan data ruang kuliah dan dibandingkan dengan temperatur udara hasil rekomendasi terpilih pada tanggal 29 April pada jam efektif perkuliahan yaitu jam 08.00 – 16.00 guna mendapatkan peningkatan kinerja termal dengan perbandingan hasil validasi. Langkah selanjutnya yaitu dilakukan evaluasi terhadap standar temperatur optimal menurut SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara.

1. Ruang Kuliah H4-03

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H4-03.

Tabel 4. 38 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	28.2	27.2
09.00	29.1	29.3
10.00	28.6	27.7
11.00	29.9	28.8
12.00	29.1	28.2
13.00	32.2	30
14.00	32.5	31.1
15.00	37.7	30.6
16.00	37.9	29.3
Avg.	**31.7**	**29.1**

Tabel 4. 39 Data ruang kuliah H4-03 berdasarkan simulasi

Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**29.1** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**85.5 %**
Kecepatan Angin	**0.1 m/s**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* dapat menurunkan rata rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 2.2ºC dari 31.3ºC menjadi 29.1ºC dan kelembaban 85.5% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.1 m/s belum dapat mengkompensasi tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H4-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

2. Ruang Kuliah H4-08

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H4-08.

Tabel 4. 40 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	29.1	28.7
09.00	30	29.6
10.00	29.4	29.3
11.00	30.4	30.1
12.00	29.8	29.7
13.00	31.2	30.6
14.00	30.9	30.7
15.00	30.1	29.8
16.00	30.6	30.2
Avg.	**30.2**	**29.8**

Tabel 4. 41 Data ruang kuliah H4-08 berdasarkan simulasi

Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**29.8** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**85.4 %**
Kecepatan Angin	**0.1 m/s**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* dapat menurunkan rata rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 0.4ºC dari 30.2ºC menjadi 29.8ºC dan kelembaban 85.4% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.1 m/s belum dapat mengkompensasi

tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

3. Ruang Kuliah H5-03

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H5-03.

Tabel 4. 42 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	28.3	27.5
09.00	29.1	27.6
10.00	28.7	28
11.00	29.9	28
12.00	29.2	28.5
13.00	32.1	28.7
14.00	32.4	29
15.00	37.4	28.6
16.00	37.5	28.7
Avg.	**31.6**	**28.2**

Tabel 4. 43 Data ruang kuliah H5-03 berdasarkan simulasi

Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**28.2** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**91.2 %**
Kecepatan Angin	**0.2 m/s**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* dapat menurunkan rata rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 3.4 ºC dari 31.6ºC menjadi 28.2ºC dan kelembaban 91.2% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara

gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.2 m/s belum dapat mengkompensasi tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

4. Ruang Kuliah H5-08

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H5-03.

Tabel 4. 44 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	29.1	27.4
09.00	30	28
10.00	29.4	29.4
11.00	30.5	28.9
12.00	29.9	28.8
13.00	31.3	28.5
14.00	31	28.7
15.00	30.2	28.1
16.00	30.6	28
Avg.	**30.2**	**28.4**

Tabel 4. 45 Data ruang kuliah H5-08 berdasarkan simulasi

Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**28.4** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**91.2 %**
Kecepatan Angin	**0.1 m/s**

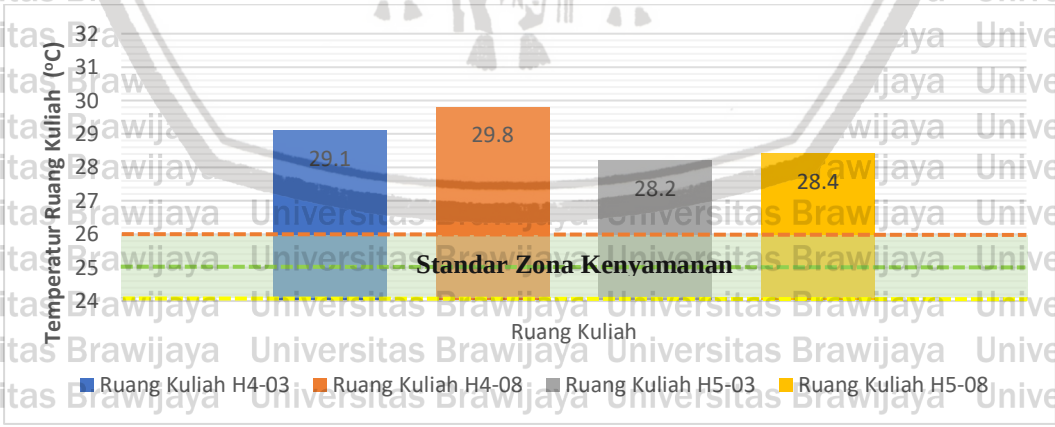
Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* dapat menurunkan rata rata

temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 1.8ºC dari 30.2ºC menjadi 28.4ºC dan kelembaban 91.2% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.1 m/s belum dapat mengkompensasi tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-08 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

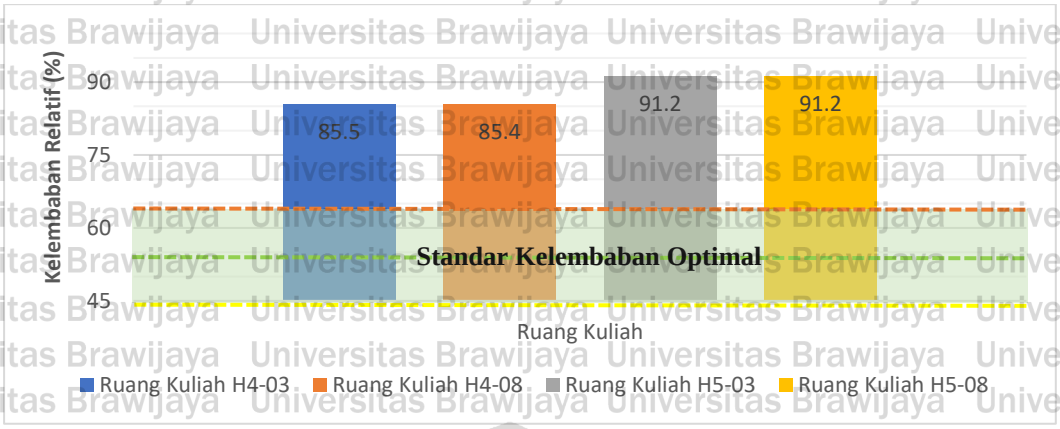
5. Evaluasi Zona Kenyamanan Ruang Kuliah

Keempat ruang kuliah yang diteliti memiliki nilai temperatur udara diatas zona kenyamanan yang ditetapkan dalam SNI 03-6572-2001 tentang sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada gedung yang berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Keempat ruang kuliah memiliki nilai temperatur pada ± 29 ^{0}C dan kelembaban yang tinggi yaitu ± 90%. Ruang kelas tipe 08 memiliki nilai temperatur rata rata lebih tingi dikarenakan dimensi ruang kuliah yang lebih kecil.

Rekomendasi desain belum dapat dikatakan berhasil karena tingginya temperatur dan kelembaban, namun sudah dapat menurunkan temperatur ruang dalam pada saat jam efektif perkuliahan sebesar 0.4^{0}C - 3.4^{0}C pada ruang kuliah. Diperlukan tambahan kecepatan angin untuk mengkompensasi temperatur dan kelembaban tersebut.



Gambar 4. 110 Komparasi nilai temp. hasil rekomendasi akhir terhadap SNI 03-6572-2001



Gambar 4. 111 Komparasi nilai kelembaban hasil rekomendasi akhir terhadap SNI 03-6572-2001

B. Simulasi Rekomendasi Terpilih pada bulan Oktober

Evaluasi hasil rekomendasi desain pada bulan oktober dibutuhkan untuk mengetahui perbedaan kinerja temperatur ruang kuliah H4-03, H4-08, H5-03, dan H5-08 pada bulan april dan bulan terpanas berdasarkan rata rata 10 tahun terakhir yaitu bulan Oktober. Berdasarkan data simulasi eksisting pada bulan oktober akan disajikan dan dibandingkan dengan temperatur udara hasil rekomendasi terpilih pada tanggal 29 Oktober pada jam efektif perkuliahan yaitu jam 08.00 – 16.00 guna mendapatkan kinerja termal rekomendasi terpilih padaa bulan terpanas. Langkah selanjutnya yaitu dilakukan evaluasi terhadap standar temperatur optimal menurut SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara.

1. Ruang Kuliah H4-03

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H4-03.

Tabel 4. 46 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	29.7	29.1
09.00	30.4	31
10.00	30.9	30.4
11.00	31.7	31
12.00	31.8	31.3
13.00	32.4	30.6
14.00	32.9	31.9
15.00	37.7	31
16.00	37.9	29.7
Avg.	**32.8**	**30.6**

0

Tabel 4. 47 Data ruang kuliah H4-03 berdasarkan simulasi

Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**30.6** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**85.5 %**
Kecepatan Angin	**0.1 m/s**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* pada bulan terpanas dapat menurunkan rata rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 2.1ºC dari 32.8ºC menjadi 30.6ºC dan kelembaban 85.5% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.1 m/s belum dapat mengkompensasi tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H4-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

2. Ruang Kuliah H4-08

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H4-08.

Tabel 4. 48 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	30.3	29.2
09.00	31.4	30.3
10.00	31.3	30.5
11.00	32.1	31.1
12.00	31.8	31
13.00	31.9	30.6
14.00	32	31.1
15.00	31.6	30.6
16.00	31	29.9
Avg.	**31.4**	**30.4**

Tabel 4. 49 Data ruang kuliah H4-08 berdasarkan simulasi

Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**30.4** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**85.4 %**
Kecepatan Angin	**0.1 m/s**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* pada bulan terpanas dapat menurunkan rata rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 1ºC dari 31.4ºC menjadi 30.4ºC dan kelembaban 85.4% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.1 m/s belum dapat

mengkompensasi tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

3. Ruang Kuliah H5-03

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H5-03.

Tabel 4. 50 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	30	30.3
09.00	30.3	29.9
10.00	30.6	31
11.00	31.2	30.4
12.00	31.3	31.7
13.00	31.8	29.5
14.00	32.1	29.8
15.00	32.5	29.7
16.00	32.4	29.2
Avg.	**31.4**	**30.2**

Tabel 4. 51 Data ruang kuliah H5-03 berdasarkan simulasi

Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**30.2** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**91.2 %**
Kecepatan Angin	**0.2 m/s**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* pada bulan terpanas dapat menurunkan rata rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 1.2 ºC dari 31.4ºC menjadi 30.2ºC dan kelembaban 91.2% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian

udara gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.2 m/s belum dapat mengkompensasi tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-03 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

4. Ruang Kuliah H5-08

Berdasarkan data hasil pengukuran dan simulasi rekayasa fasad yang didapatkan dan diolah maka didapatkan rata-rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) di ruang kuliah H5-03.

Tabel 4. 52 Perbandingan Eksisting dengan Hasil Rekomendasi

Rentang Jam	Dry ºC Eksisting	Dry ºC Rekomendasi
08.00	30.1	28.4
09.00	30.4	28.4
10.00	30.4	30.4
11.00	31	29.4
12.00	31.1	30
13.00	31.4	28.6
14.00	31.7	29.4
15.00	31.7	29.6
16.00	31.5	28.9
Avg.	**31.03**	**29.2**

Tabel 4. 53 Data ruang kuliah H5-08 berdasarkan simulasi

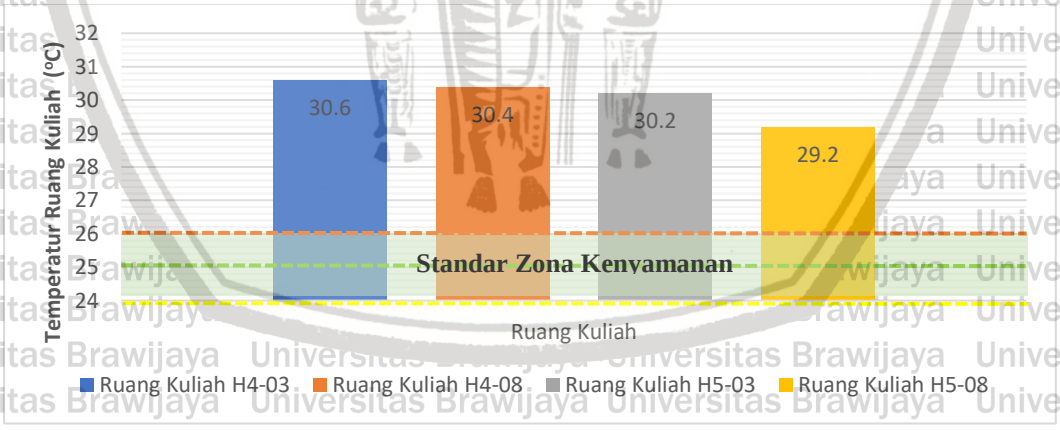
Kategori	Nilai
Temperatur Udara kering (*DBT*)	**29.2** ºC
Kelembaban Udara Relatif *(RH)*	**91.2 %**
Kecepatan Angin	**0.1 m/s**

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa rekayasa dengan penerapan *double skin façade* dengan jarak 1.5m dari *curtain wall* pada bulan terpanas dapat menurunkan rata rata temperatur udara (*dry-bulb temperature*) sebanyak 1.8ºC dari

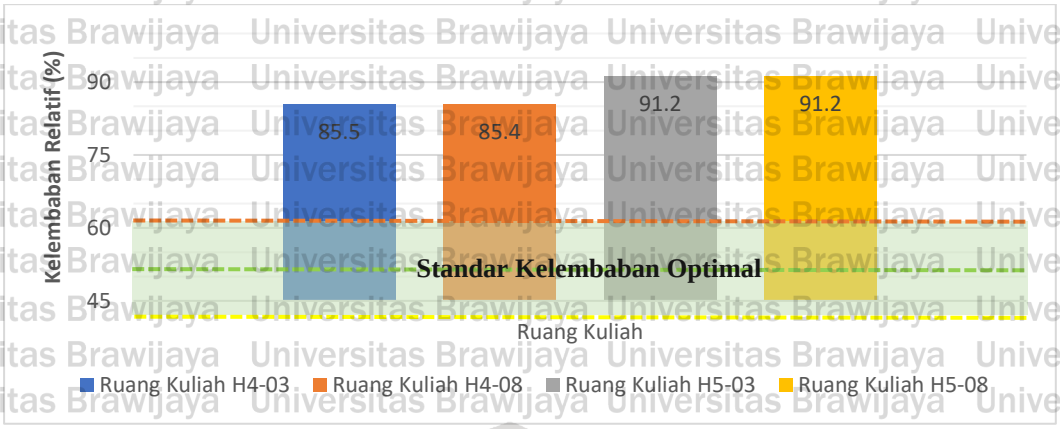
31.03ºC menjadi 29.2ºC dan kelembaban 91.2% namun masih belum dapat memenuhi standar SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara gedung berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Kecepatan udara indoor yang berada pada kecepatan 0.1 m/s belum dapat mengkompensasi tingginya temperatur ruang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang kuliah H5-08 tidak berada pada batas nyaman bagi pengguna ruang.

5. Evaluasi Zona Kenyamanan Ruang Kuliah

Keempat ruang kuliah yang disimulasikan pada bulan terpanas memiliki nilai temperatur udara diatas zona kenyamanan yang ditetapkan dalam SNI 03-6572-2001 tentang sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada gedung yang berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Keempat ruang kuliah memiliki nilai temperatur pada ± 30^{0}C dan kelembaban yang tinggi yaitu ± 90%. Rekomendasi desain belum dapat dikatakan berhasil karena tingginya temperatur dan kelembaban, namun sudah dapat menurunkan temperatur ruang dalam pada saat jam efektif perkuliahan sebesar 1^{0}C hingga 2.1^{0}C pada ruang kuliah tipe 03 dan 08. Diperlukan tambahan kecepatan angin yang lebih baik untuk mengkompensasi temperatur dan kelembaban pada bulan Oktober.



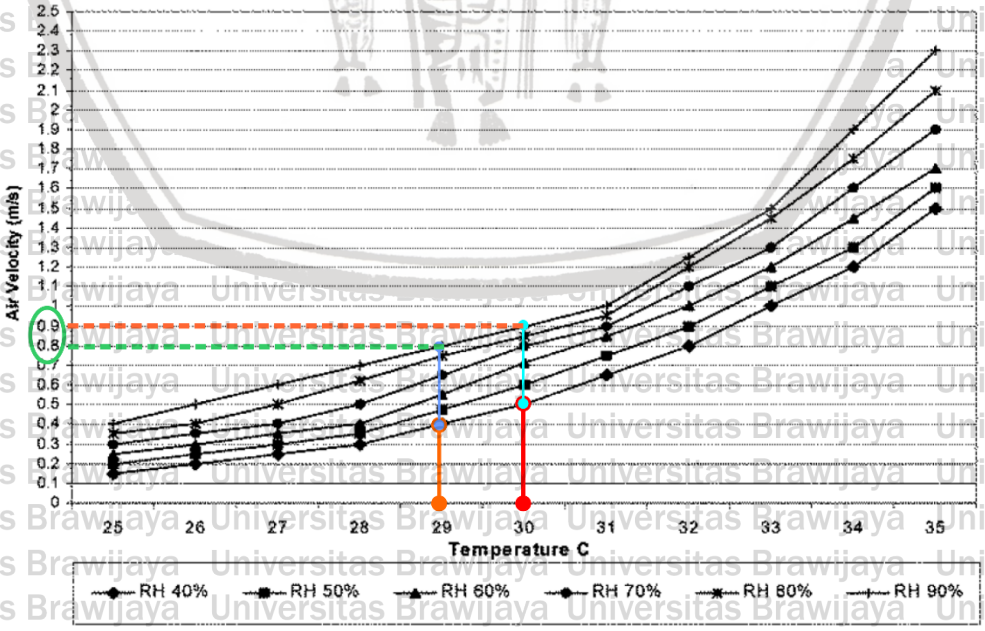
Gambar 4. 112 Komparasi nilai temp. hasil rekomendasi akhir bulan Oktober terhadap SNI 03-6572-2001



Gambar 4. 113 Komparasi nilai kelembaban hasil rekomendasi akhir bulan Oktober terhadap SNI 03-6572-2001

4.6.3 Ventilasi Alami

Dalam hubungannya dengan temperatur udara kering, kecepatan angin juga memberikan pengaruh terhadap kenyamanan melalui penyejukan terhadap permukaan kulit manusia yang disebut sebagai kenyamanan ventilasi. Nugroho, A.M., *et al.* (2007) meneliti mengenai digram untuk menentukan besarnya kebutuhan minimum kecepatan angin dalam mencapai kenyamanan ventilasi melalui *bioclimatic chart* pada suhu tropis dengan level aktivitas yaitu 1.1m diatas level lantai. Kebutuhan kecepatan angin dapat ditentukan dengan mengetahui kondisi suhu dan kelembaban pada ruang tersebut dan ambang batas atas pada kenyamanan termal dapat dilebihkan dengan menyediakan ventilasi alami atau memberi perrgerakan udara.



Gambar 4. 114 Kebutuhan kec. angin untuk kenyamanan ventilasi pada ruang kuliah

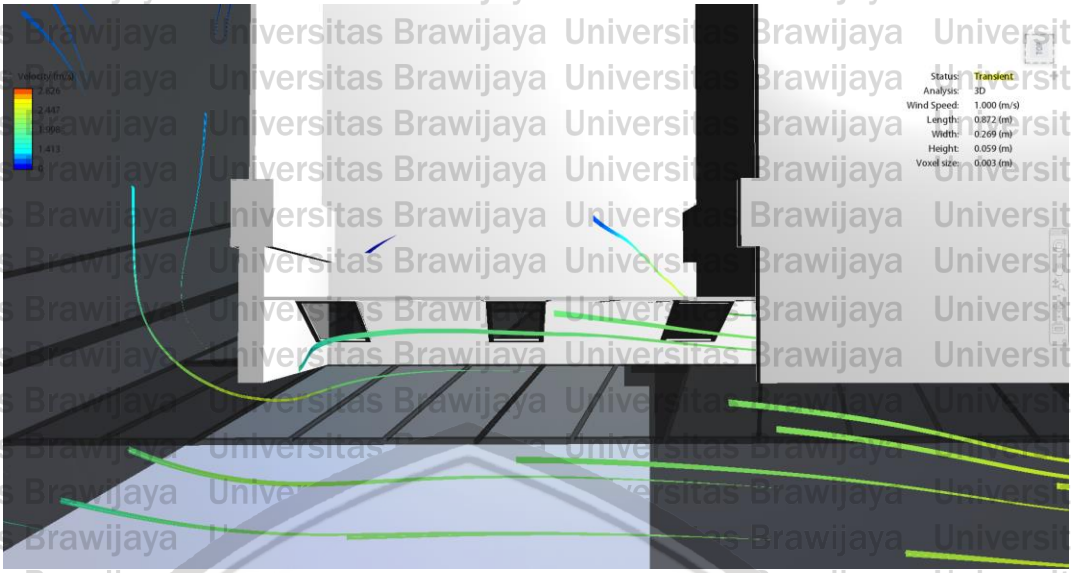
Sumber : Nugroho *et al*., 2007

Berdasarkan tabel kebutuhan kecepatan angin untuk kenyamanan ventilasi (Nugroho, A.M., *et al*. ,2007), ruang kuliah pada gedung pascasarjana UNISMA dengan nilai temperatur bulan April dan Oktober pada ± 29^0C-30^0C dan nilai kelembaban relatif ± 90% maka dibutuhkan angin dengan kecepatan cukup tinggi yaitu 0.8 m/s hingga 0.9 m/s pada bulan terpanas untuk mengkompensasi tingginya temperatur dan kelembaban. Oleh karena itu dibutuhkan pengoptimalan arah angin, jenis bukaan, serta penambahan outlet agar dapat menambah kecepatan angin di dalam ruang.

A. Eksisting

Desain *setback* pada fasad bangunan mempengaruhi kecepatan angin yang akan masuk ke dalam ruangan, keberadaan *setback* dengan kedalaman 90cm mengurangi kecepatan angin yang berbelok ke dalam *setback* (gambar 4.52). Selain itu jumlah ventilasi pada ruang kuliah tipe 03 tidak sebanding dengan dimensi luasan ruang kuliah, dengan hanya satu ventilasi tidak memenuhi standar 5% dari luas lantai dan tidak adanya *outlet* pada ruang mengakibatkan intensitas angin yang masuk tidak dapat mencukupi kebutuhan pendinginan. Ruang tipe 08 dengan dimensi ruang lebih kecil juga tidak mendapatkan kecepatan angin yang cukup. Kecepatan angin *outdoor* diinput sesuai rata rata hasil pengukuran lapangan yaitu 1 m/s, sedangkan kecepatan angin *indoor* menunjukan nilai 0.1 – 0.4 m/s. Selain itu ketiadaan *outlet* pada zona negatif juga mempengaruhi banyaknya angin yang masuk.

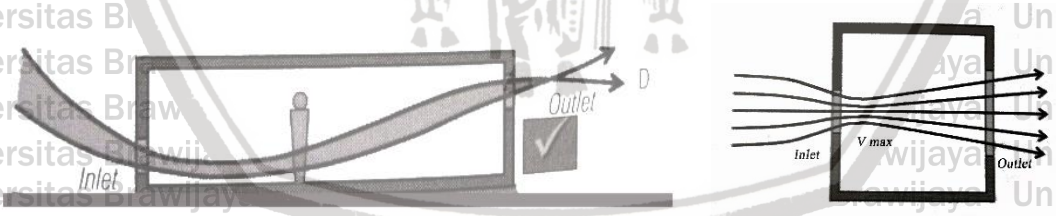
Gambar 4. 115 Laju angin ruang kuliah tipe 03



Gambar 4. 116 Laju angin ruang kuliah tipe 08

B. Analisa

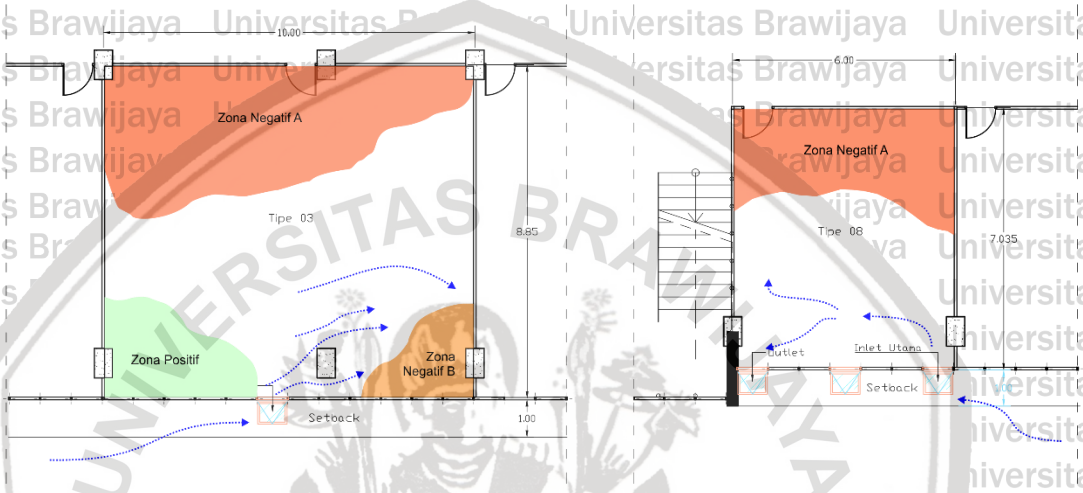
Gambar 4. 117 Penempatan inlet dan outlet



Gambar 4. 118 Pengaruh dimensi outlet terhadap kecepatan angin

Pengurangan kecepatan angin akibat desain *setback* dapat dimaksimalkan dengan cara membuat ruang antara *double skin façade* (DSF) dan dinding sebagai area masuk angin ke dalam area *setback*, dengan adanya DSF diharapkan dapat membatasi antara angin *outdoor* dan angin yang akan diarahkan ke dalam ruang. Diperlukan adanya *outlet* pada beberapa bagian dinding dengan zona negative yaitu zona dimana tidak terjangkau angin (zona negative A) dan laju angin terhenti (zona

negatif B), posisi dan orientasi *inlet* berada pada zona bertekanan positif yaitu zona yang memiliki potensi angin yang baik (gambar 4.60). *Inlet* dapat mempengaruhi kecepatan dan pola aliran udara di dalam ruangan. Gambar 4.59 menunjukan bahwa semakin besar perbandingan luas *outlet* terhadap *inlet*, maka kecepatan angin di dalam ruangan lebih tinggi sehingga ruangan lebih sejuk (Latifah, et al., 2013). Salah satu syarat untuk bukaan yang baik yaitu harus terjadi *cross ventilation* sehingga *outlet* pada bagian koridor ruangan diperlukan.



Gambar 4. 119 Zona angin pada ruang kuliah tipe 03 dan tipe 08

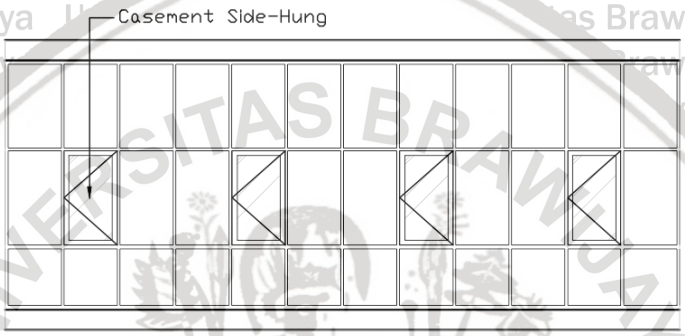
Melalui hasil simulasi eksisting diperlukan tipe jendela yang dapat menangkap angin dengan baik, laju arah angin pada tapak yaitu datang dari satu sisi yaitu timur laut. Jumlah ventilasi dapat dinaikkan dan diposisikan pada *curtain wall* fasad yang berfungsi sebagai tambahan *inlet* dan *outlet*, selain itu ventilasi pada dinding koridor juga diperlukan agar angin dapat bergerak ruang lebih dalam. Berdasarkan analisis eksisting terdapat 2 alternatif penggunaan tipe jendela yaitu *casement side-hung* dan *vertical pivot*. *Casement side-hung* dengan daun jendela yang panjang dapat menangkap angin untuk dibelokkan kedalam ruang kuliah, sedangkan *vertical pivot* memiliki karakteristik yang sama namun dengan dimensi daun jendela lebih pendek. Perbedaannya yaitu *vertical pivot* dapat diarahkan 45^{o} sehingga menangkap angin lebih baik.

C. Simulasi

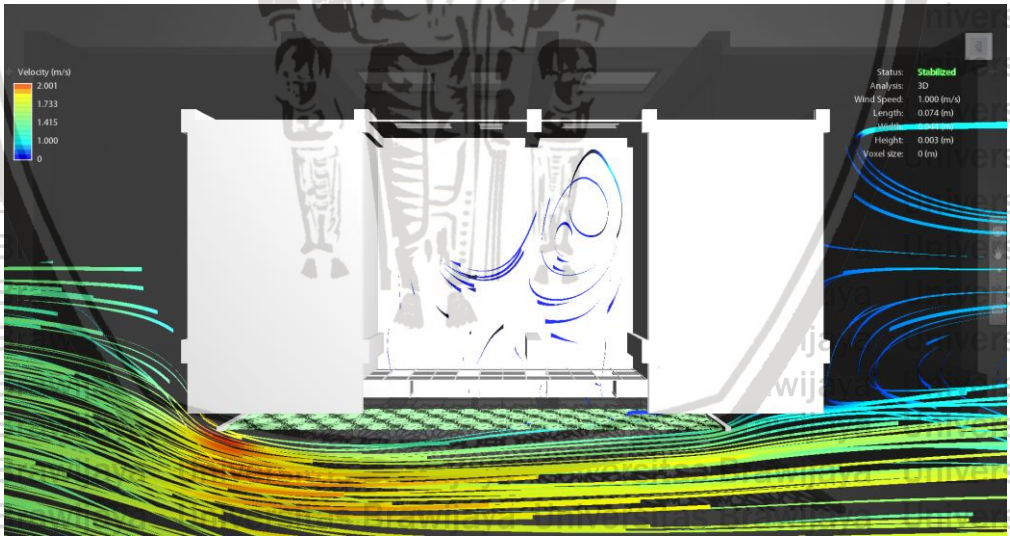
Dengan sintesa tersebut maka penerapan teori dilakukan pada rekayasa ventilasi alami ruang kuliah, jumlah dan posisi ventilasi ditambah sebagai *inlet* dan *outlet* pada sisi dinding terluar dan *outlet* dengan dimensi cukup 80x200cm diterapkan pada dinding dalam atau sisi koridor. Sedangkan tipe jendela disimulasikan dalam 2 alternatif yaitu *casement side-hung* dan *vertical pivot.*

1. Ruang Tipe 03

A. Alternatif 1 (*Casement Side-hung*)



Gambar 4. 120 Rekayasa posisi dan jenis ventilasi tipe 03 alt. 1

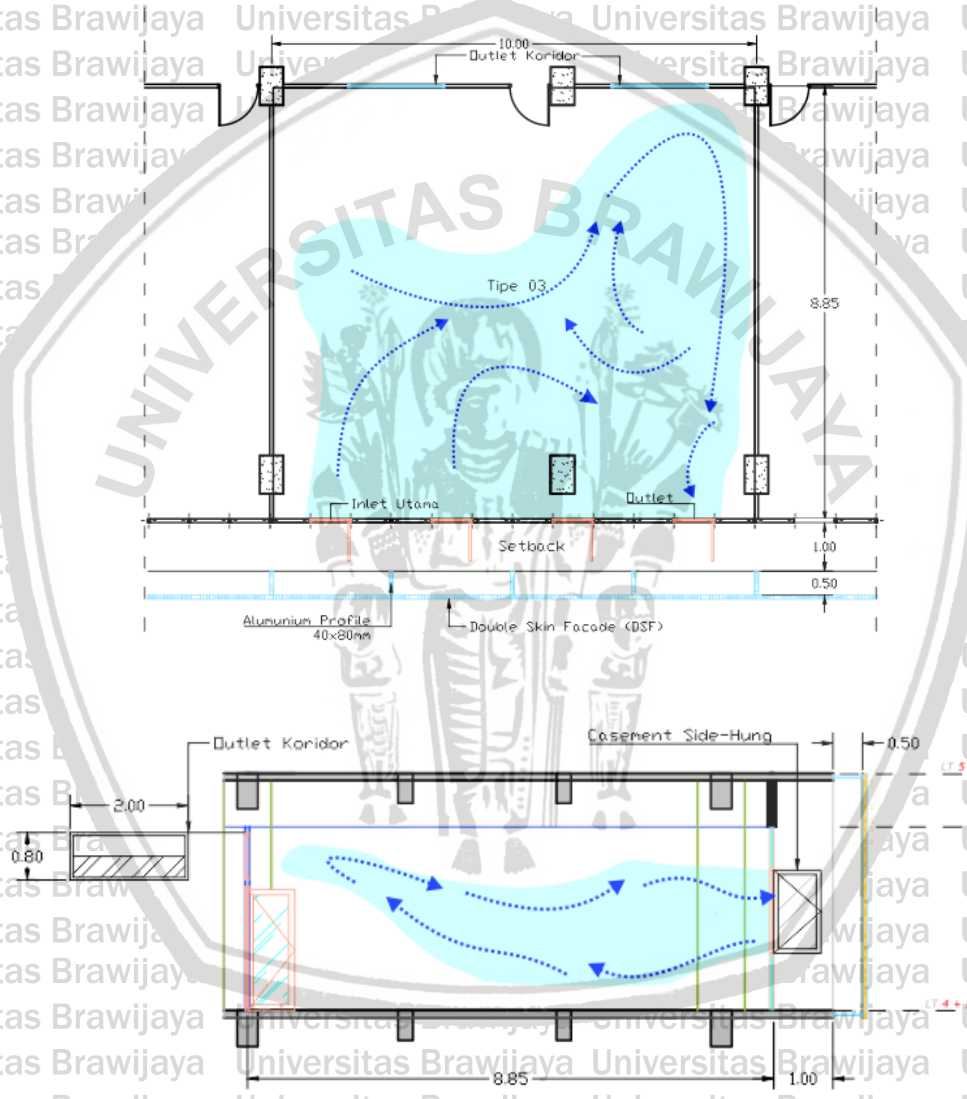


Gambar 4. 121 Arah dan kecepatan angin alternatif 1 pada ruang tipe 03

Pola DSF yang dibuat cukup lebar dan bahan DSF berupa *glass reinforced cement* (GRC) dengan ketebalan 4mm masih dapat membuat angin masuk ke ruang di balik DSF. Dengan penerapan teori ventilasi pada ruang tipe 03 diharapkan kecepatan udara ruang dapat bertambah, penambahan jumlah ventilasi bertipe

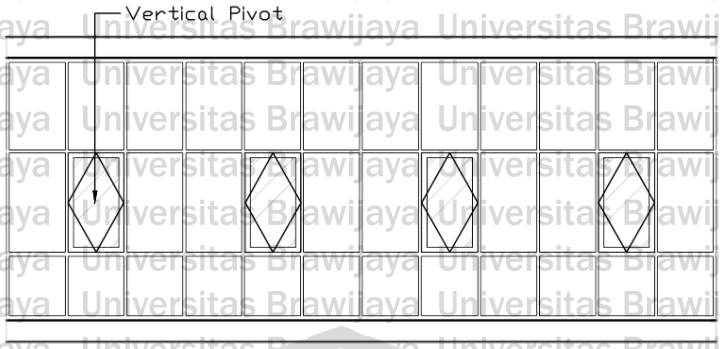
casement side hung dengan presentase menangkap angin 90% dapat menjadi *inlet* dan *outlet* sisi ruang kuliah sedangkan dinding koridor ditambahkan *outlet* sebagai *cross ventilation* dan menambah jangkauan angin dalam ruang menjadi lebih merata.

Pada hasil simulasi ruang kuliah tipe 03 menunjukan intensitas angin cukup meningkat dibandingkan simulasi awal sebelum rekayasa DSF dan penggantian jenis ventilasi, dilihat dari kontur warna pada ruang kuliah terjadi peningkatan mulai dari 0.3m/s hingga 1m/s.

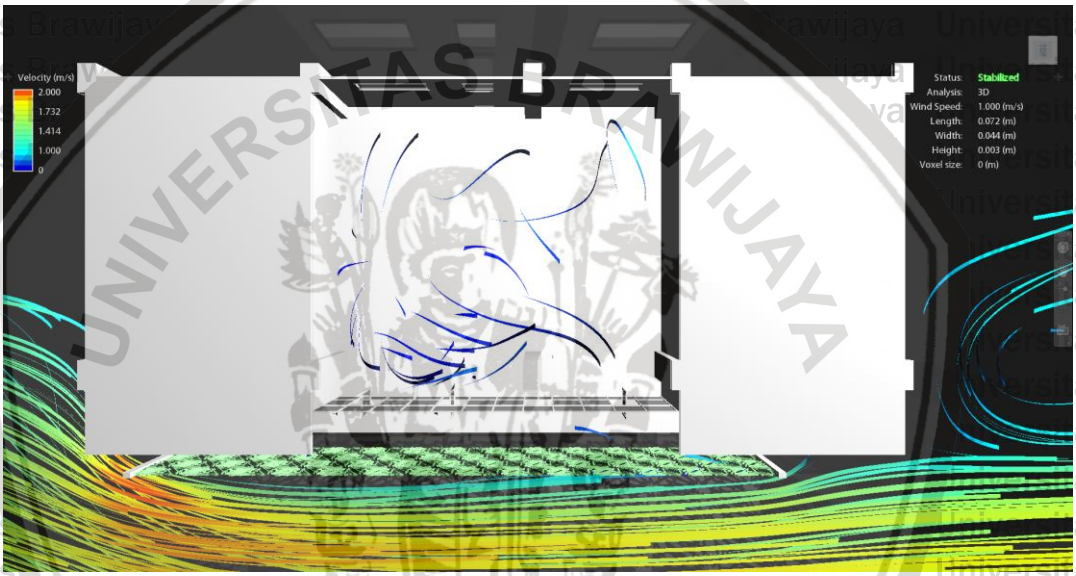


Gambar 4. 122 Hasil simulasi tipe 03 alt. 1

B. Alternatif 2 (*Vertical Pivot*)

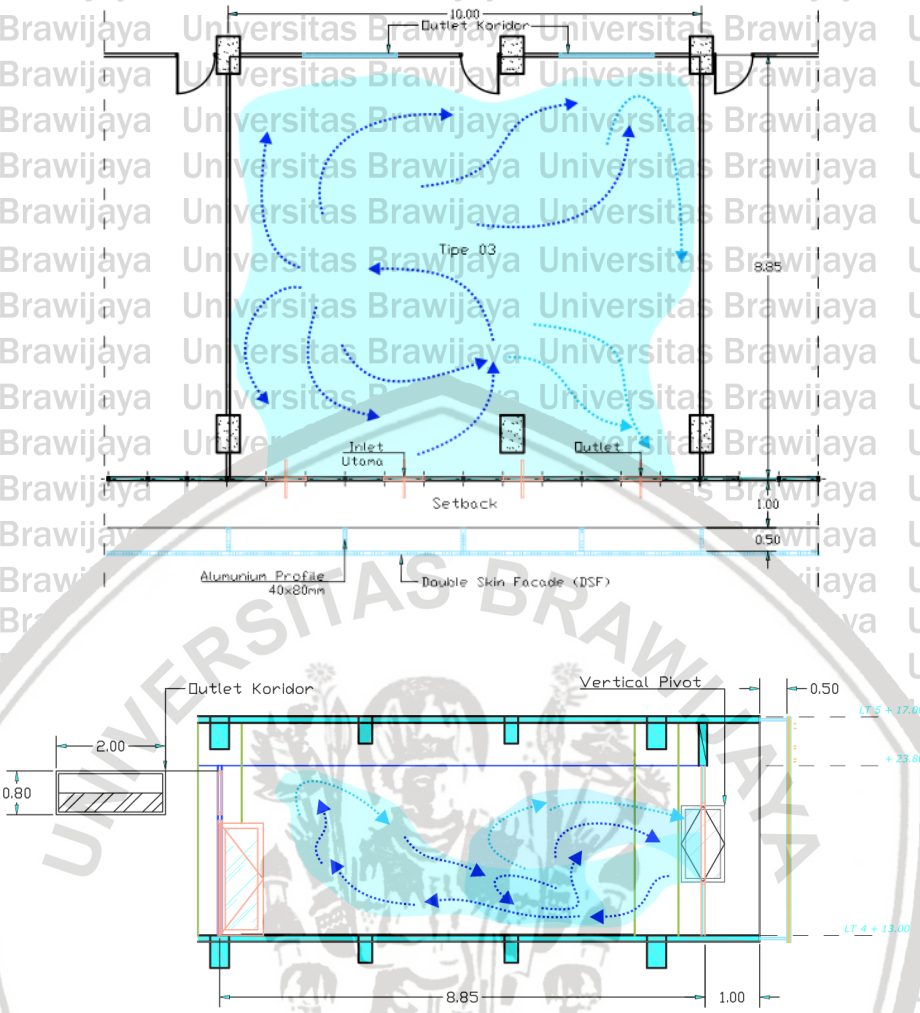


Gambar 4. 123 Rekayasa posisi dan jenis ventilasi tipe 03 alt. 2



Gambar 4. 124 Arah dan kecepatan angin alternatif 2 pada ruang tipe 03

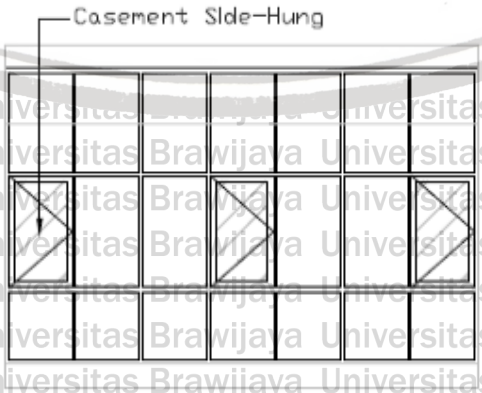
Pola DSF yang dibuat cukup lebar dan bahan DSF berupa *glass reinforced cement* (GRC) dengan ketebalan 4mm masih dapat membuat angin masuk ke ruang di balik DSF. Dengan penerapan teori ventilasi pada ruang tipe 03 diharapkan kecepatan udara ruang dapat bertambah, penambahan jumlah ventilasi bertipe *vertical pivot* dengan presentase menangkap angin 75% dapat menjadi *inlet* dan *outlet* sisi ruang kuliah sedangkan dinding koridor ditambahkan *outlet* sebagai *cross ventilation* dan menambah jangkauan angin dalam ruang menjadi lebih merata. Pada hasil simulasi ruang kuliah tipe 03 menunjukan intensitas angin meningkat namun tidak sebanyak penggunaan *casement side-hung*, sedangkan dilihat dari kontur warna pada ruang kuliah terjadi peningkatan yang tidak berbeda signifikan dari alternatif 1 mulai dari 0.3m/s hingga 1m/s.



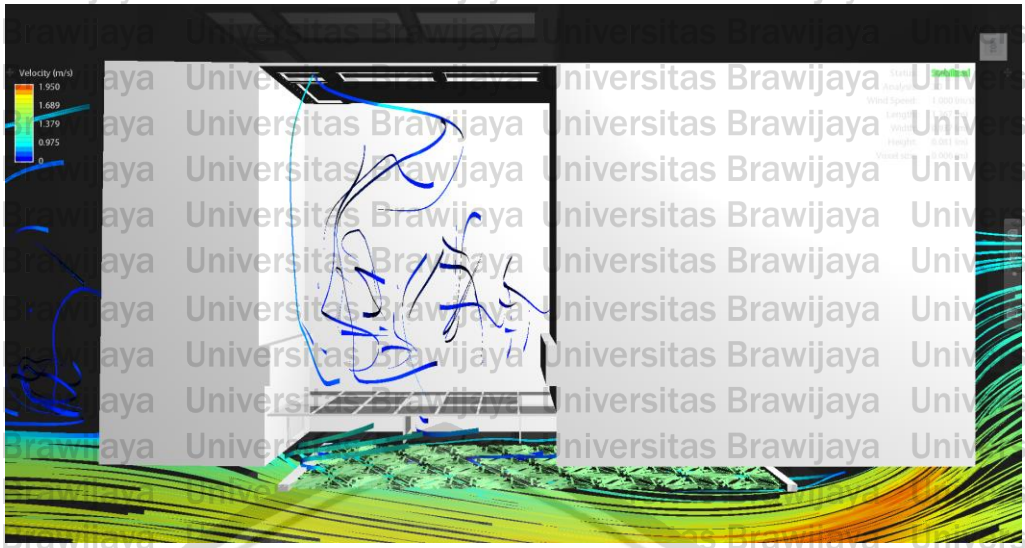
Gambar 4. 125 Hasil simulasi Tipe 03 alt. 2

2. Ruang Tipe 08

A. Alternatif 1 (*Casement Side-hung*)

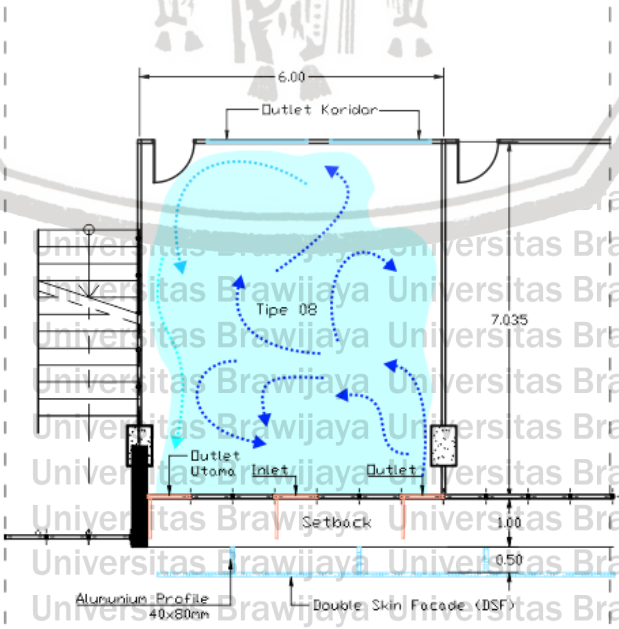


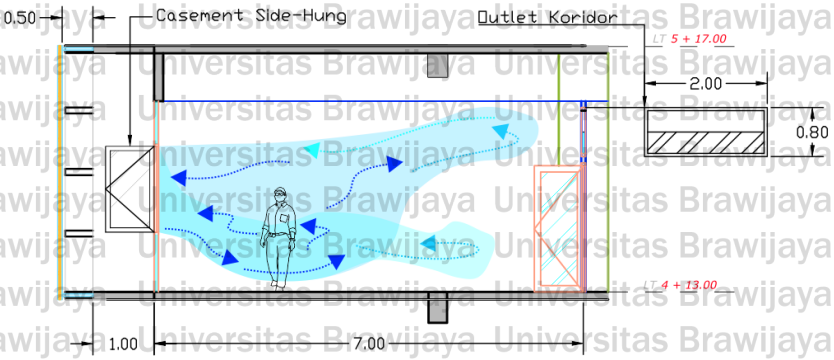
Gambar 4. 126 Rekayasa posisi dan jenis ventilasi tipe 028 alt. 1



Gambar 4. 127 Arah dan kecepatan angin alternatif 1 pada ruang tipe 08

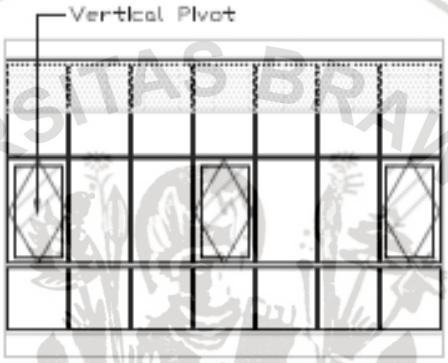
Penambahan jumlah bukaan bertipe *casement side hung* dengan presentase menangkap angin 90% dapat menjadi *inlet* dan *outlet* sisi ruang kuliah sedangkan dinding koridor ditambahkan *outlet* bertujuan sebagai *cross ventilation* dan menambah kecepatan angin maksimal pada ruang. Dari gambar 4.9 dapat diketahui bahwa pola dsf dengan dimensi yang mencukupi untuk dapat dilalui angin hingga angin dapat masuk ke ventilasi ruang kuliah, kecepatan rata rata pada *setback* bangunan berkisar antara 0.9 – 1.3 m/s. Sedangkan dari denah dapat dilihat jika posisi jendela terakhir berfungsi sebagai *outlet*, dan ventilasi pada koridor dapat meningkatkan jangkauan angin kedalam ruang. Kecepatan angin pada interior berkisar antara 0.4 – 9.75 m/s.



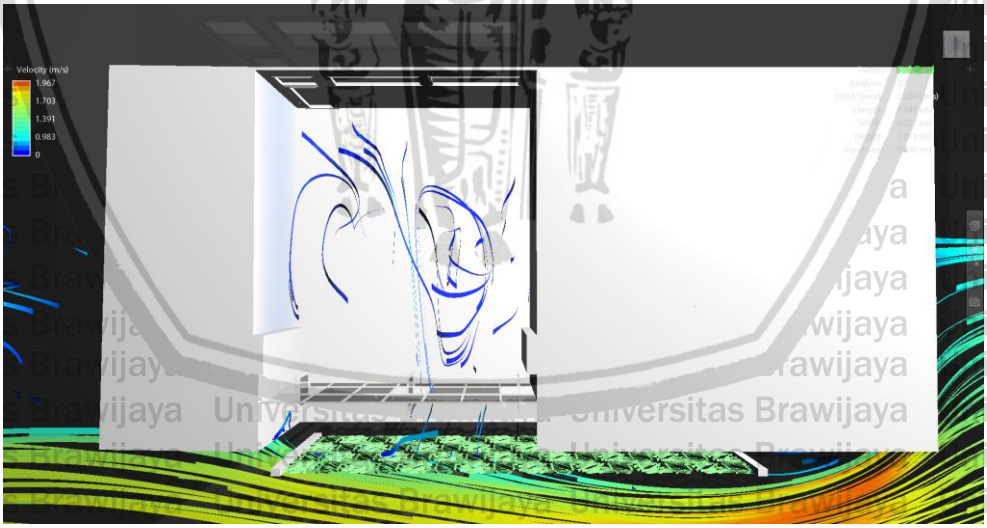


Gambar 4. 128 Hasil simulasi Tipe 08 alt. 1

B. Alternatif 2 *(Vertical pivot)*



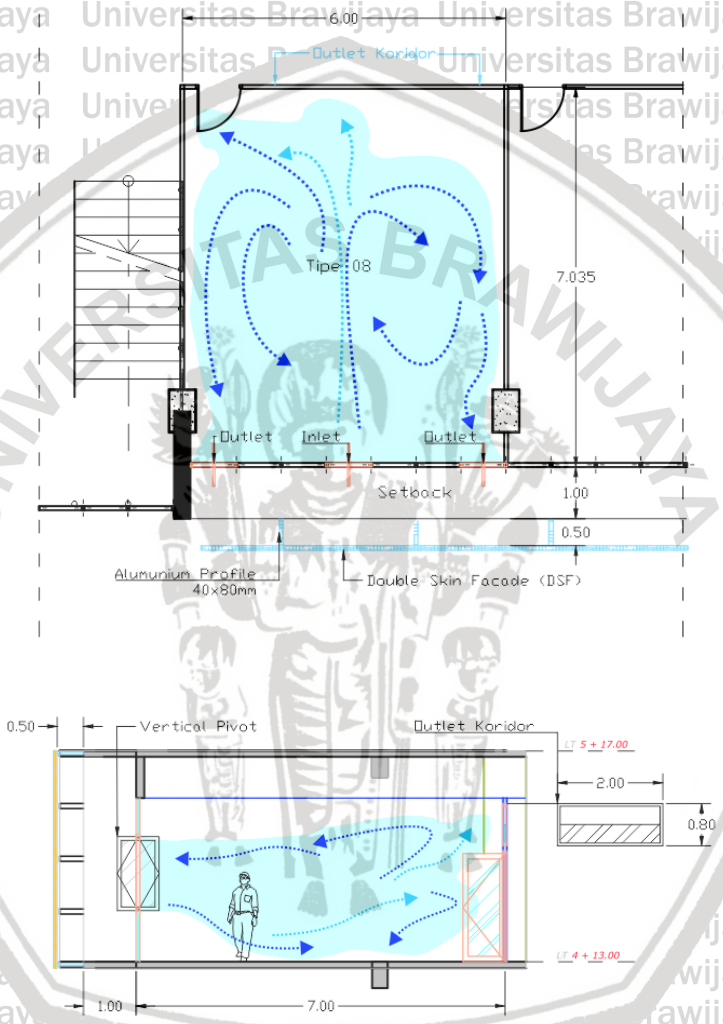
Gambar 4. 129 Rekayasa Ventilasi pada Ruang kuliah tipe 08



Gambar 4. 130 Arah dan kecepatan angin alternatif 2 pada ruang tipe 08

Penambahan jumlah bukaan bertipe *vertical pivot* dengan presentase angin 75% dapat menjadi *inlet* dan *outlet* sisi ruang kuliah sedangkan dinding koridor ditambahkan *outlet* bertujuan sebagai *cross ventilation* dan menambah kecepatan angin maksimal pada ruang. Dari gambar 4.67 dapat diketahui perbedaan dengan

penggunaan jenis jendela casement side-hung pada ruang tipe 08 yaitu pada ruang tipe 08 posisi jendela yang berada di tengah berfungsi sebagai inlet utama pada ruangan dan kedua jendela lain sebagai outlet. Sedangkan dari denah dapat dilihat bahwa ventilasi pada koridor dapat meningkatkan jangkauan angin kedalam ruang. Kecepatan angin pada interior berkisar antara 0.2 – 0.9 m/s.



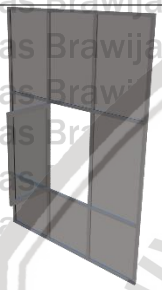
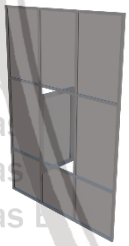
Gambar 4. 131 Hasil simulasi Tipe 08 alt. 2

C. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dengan *Autodesk Flow Design* menunjukan bahwa rekayasa ventilasi berhasil menaikan kecepatan ruang kuliah tipe 03 dari kecepatan eksisting yakni rata rata 0.1 m/s menjadi 0.2 m/s hingga maksimal 1 m/s, terjadi peningkatan sebanyak ±0.9 m/s yang dapat membantu mengkompensasi

tingginya temperaatur dan kelembaban. Sedangkan pada ruang kuliah tipe 08 terjadi peningkatan yang cukup signifikan yakni dari eksisting 0.1 m/s menjadi 0.4 m/s – 0.9 m/s dimana dapat mengkompensasi tingginya temperatur dan kelembaban dibulan April maupun Oktober (temperatur paling tinggi), peningkatan tidak dapat dihitung secara jelas dikarenakan grafik warna yang terus berubah.

Tabel 4. 54 Hasil analisis pemilihan rekayasa tipe jendela

Tipe Jendela	Jumlah		Posisi ketinggian manusia (< 2m)	Intensitas Angin	Zona Jangkauan Angin	Zona Negatif pada Ruang
	Tipe 03	Tipe 08				
 ***Casement Side-Hung 90%***	4	3	Terpenuhi	Meningkat	Belum Merata	Belum Efektif
 ***Vertical Pivot 75%***	4	3	Terpenuhi	Meningkat	Merata	Belum Efektif

Tidak terdapat perbedaan signifikan antara penggunaan *casement side-hung* dan *vertical pivot*, namun *vertical pivot* dipilih sebagai rekomendasi jenis ventilasi karena walaupun dengan persentase angin lebih kecil yaitu 75% (Becket *et al*, 1974), *vertical pivot* dapat meningkatkan intensitas angin dan penyebaran angin lebih merata. Hasil dari rekayasa berada pada kecepatan 0.5 – 1 m/s yaitu berada dalam katagori masih nyaman namun gerakan udara dapat dirasakan oleh pengguna serta memiliki efek penyegaran 1ºC – 1.2ºC (Frick, 2008) dalam tabel pengaruh angin terhadap kenyamanan pengguna (tabel 4.46).

Tabel 4. 55 Pengaruh angin terhadap kenyamanan pengguna

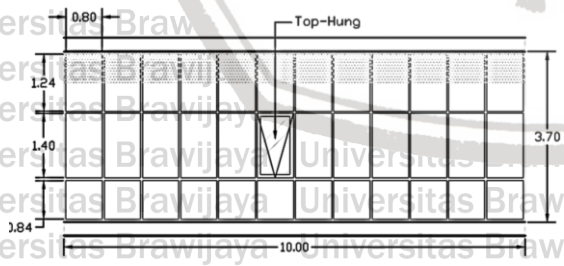
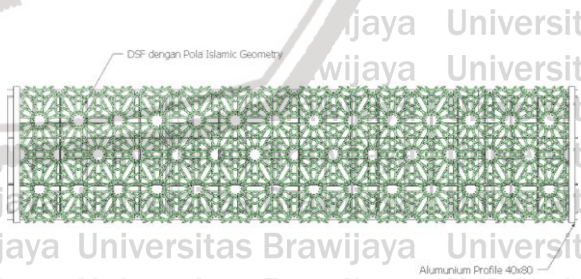
Kecepatan angin bergerak	Pengaruh atas kenyamanan	Efek penyegaran (pada suhu ±30ºC)
< 0.25 m/s	Tidak dapat dirasakan	0 ºC
0.25 – 0.5 m/s	Paling nyaman	0.5 – 0.7 ºC
0.5 – 1 m/s	**Masih nyaman, namun gerakan udara dapat dirasakan**	**1 – 1.2 ºC**
1 – 1.5 m/s	Kecepatan maksimal	1.7 – 2.2 ºC
1.5 – 2 m/s	Kurang nyaman, berangin	2.0 – 3.3 ºC
> 2 m/s	Kesehatan penghuni terpengaruh oleh kec. angin yang tinggi	2.3 – 4.2 ºC

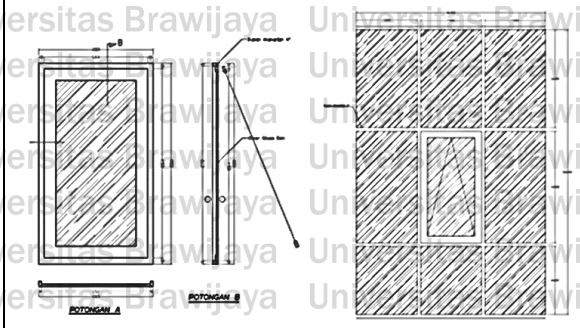
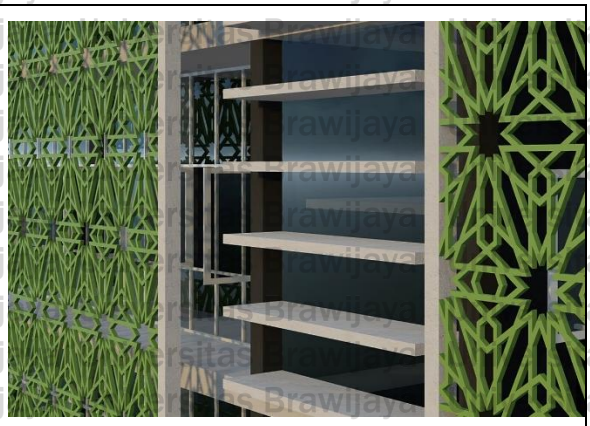
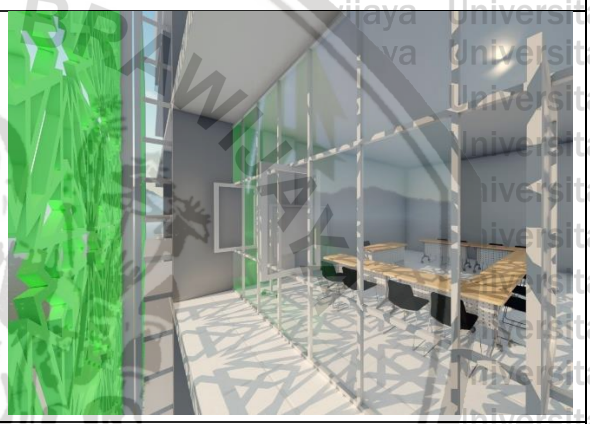
Sumber : Frick, 2008

4.6.4 Rekomendasi Desain

Berdasarkan simulasi rekayasa dari masing masing variabel, didapatkan penurunan nilai temperatur udara ruang kuliah 0.2 ºC > 3.4 ºC. Kombinasi alternatif yang menghasilkan penurunan nilai temperatur udara ruang kuliah paling tinggi yaitu kombinasi Tipe 1 yaitu penerapan sun shading berupa *Double Skin Façade (DSF)* dengan jarak 1.5 dari *curtain wall* dan penggantian jenis bukaan menjadi *casement side hung* dengan persentase bukaan 90% untuk menangkap arah angin, serta penambahan *outlet* pada dinding dalam / koridor ruang kuliah sebagai langkah mempercepat laju angin dalam ruang.

Tabel 4. 56 Desain Eksisting dan Rekomendasi

Eksisting	Rekomendasi
	
Fasad bangunan berupa *curtain wall* dengan rasio 100% dan ventilasi pada tengah dinding.	Penerapan DSF pada fasad sebagai peneduh *curtain wall* ruang kelas.

	
Material eksisting berupa kaca dengan jenis *clear glass* dan *alumunium frame*.	Rekomendasi material tetap menggunakan eksisting dikarenakan kurang berpengaruh terhadap temperatur dan sudah dikompensasi dengan *double skin façade (DSF)*
	
Jenis pembayang matahari eksisting berupa kantilever (dak beton) dengaan tipe bukaan berupa *casement top-hung* atau *awning.*	Jenis pembayang matahari yang direkomendasikan berupa DSF dengan panel GRC dan tipe bukaan *vertical pivot.*

Berikut merupakan perbandingan fasad eksisting dan penerapan hasil rekomendasi desain pada Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang

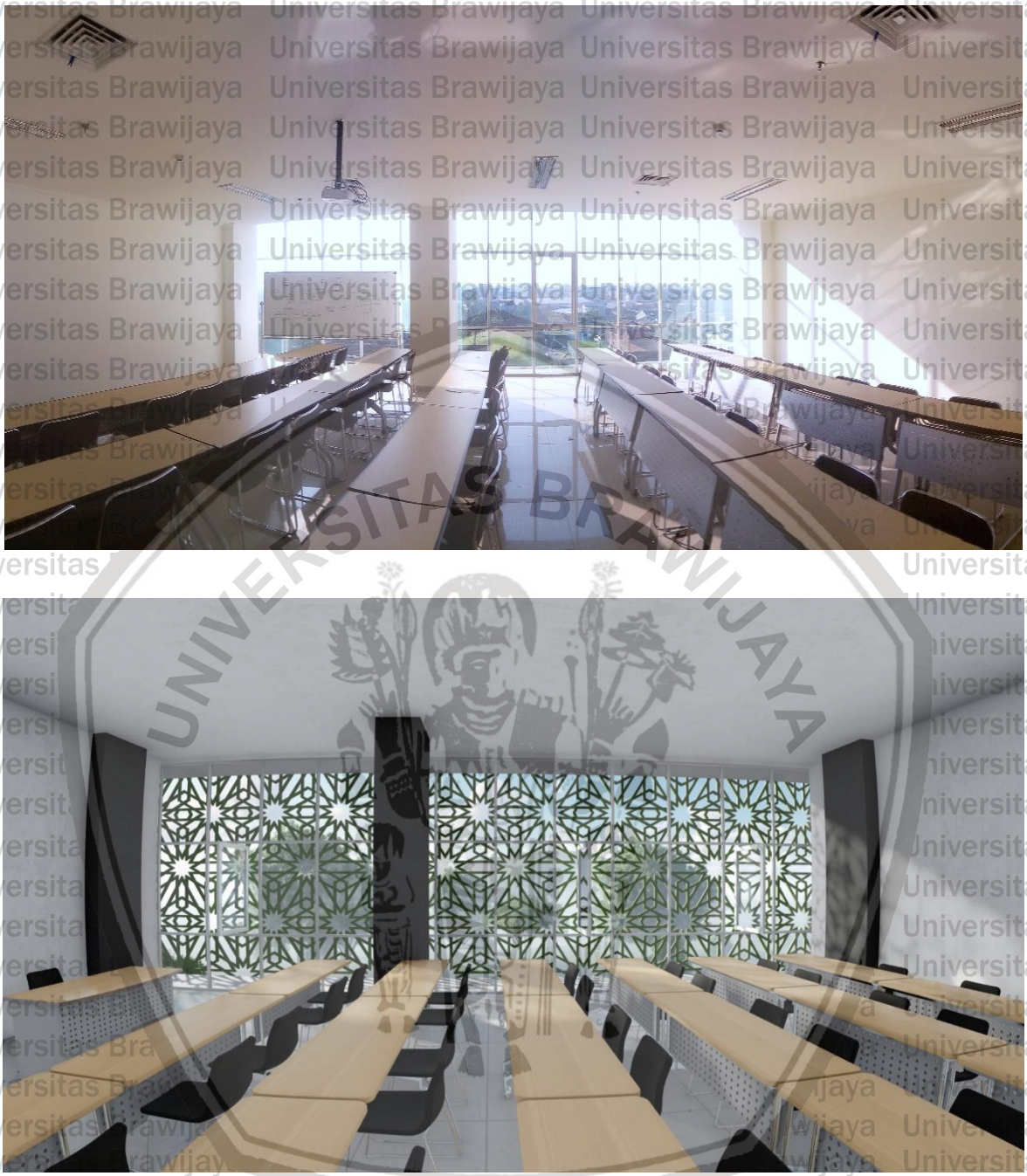
A. Tampak fasad bangunan eksisting

Gambar 4. 132 Fasad bangunan eksisting berupa curtain wall

B. Fasad Bangunan hasil rekomendasi desain

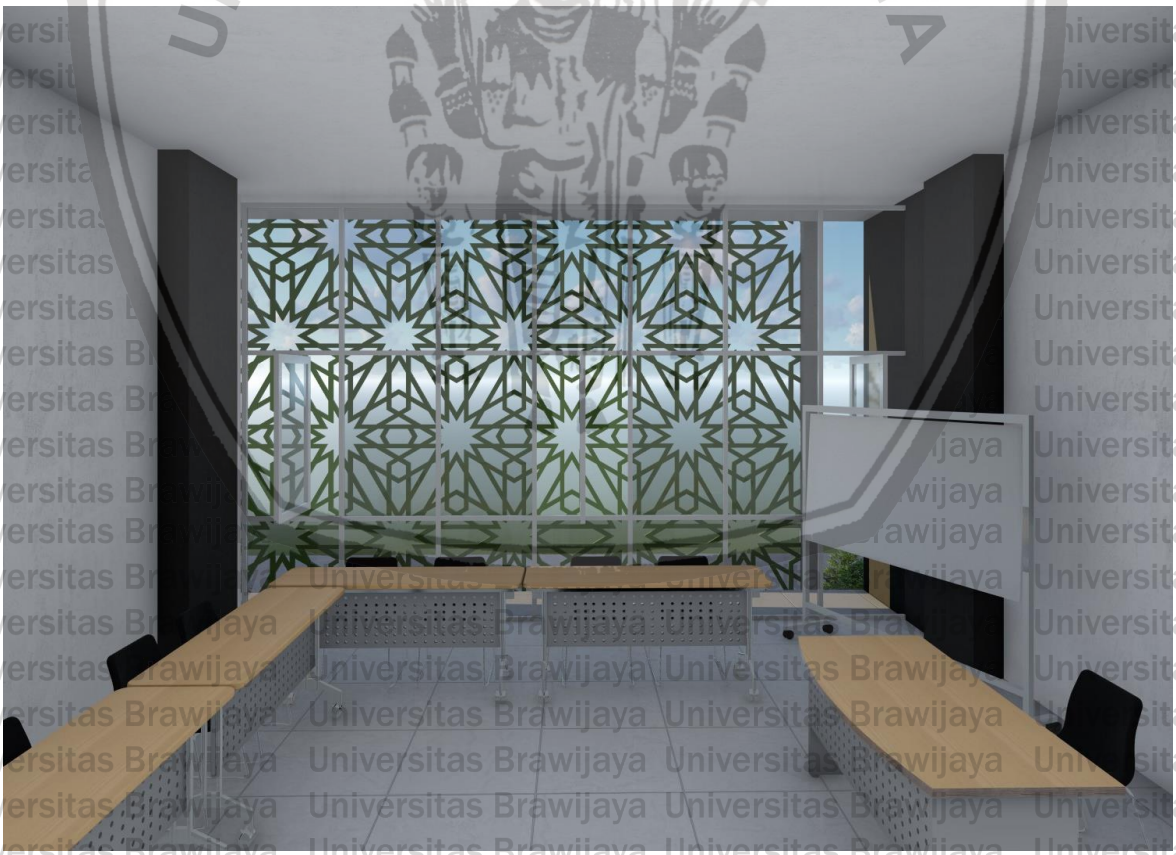
Gambar 4. 133 Fasad bangunan hasil rekomendasi berupa penerapan double skin façade

1. Foto dokumentasi suasana ruang kuliah eksisting dan hasil rekomendasi tipe 03



Gambar 4. 134 Ruang kuliah eksisting dan hasil rekomendasi tipe 03

2. Foto dokumentasi suasana ruang kuliah eksisting dan hasil rekomendasi tipe 08



Gambar 4. 135 Ruang kuliah eksistting dan hasil rekomendasi tipe 08

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil observasi, pengukuran serta pembahasan terkait teori dan standart, kondisi temperatur udara, kelembaban, serta kecepatan angin ruang kuliah pada gedung pascasarjana UNISMA ditemukan bahwa kondisi rata rata temperatur udara kering ruang kuliah pada jam efektif berada pada kisaran 27.5 ^{o}C hingga 28 ^{o}C. Kelembaban relatif ruang kuliah cenderung tinggi yaitu sekitar 85% pada ruang kuliah yang berada pada lantai 4 dan lebih tinggi pada ruang ruang kuliah lantai 5 yaitu sekitar 92%. Sedangkan kecepatan angin dalam ruang berada dalam kategori tidak terasa yaitu pada kecepatan 0.1 – 0.2 m/s. Dan keadaan ruang terpapar oleh sinar matahari dari sudut rendah seperti pagi dan sore hari akibat penggunaan *curtain wall* dengan rasio 100% pada fasad tanpa terbayangi oleh gedung lain maupun vegetasi.

Temperatur gedung pascasarjana UNISMA yang tinggi secara umum diakibatkan oleh orientasi bangunan gedung yang menghadap barat laut dan tenggara. Desain bangunan yang menyalahi prinsip arsitektur tropis serta pemilihan desain fasad berupa *curtain wall* sepenuhnya mengakibatkan besarnya beban pendinginan yang diperlukan untuk memberikan kenyamanan terhadap pengguna dan cahaya berlebih pada ruang kuliah berdasarkan penelitian sebelumnya (Azizah, 2017). Dengan kondisi desain bangunan awal bangunan tidak dilakukan pencegahan maupun penggunaan elemen peneduh untuk memberikan kenyamanan terhadap pengguna. Ventilasi pada ruang kuliah tipe 03 belum memenuhi kebutuhan terkait luasan ruang, hanya pada ruang kuliah tipe 08 sudah memenuhi kebutuhan. Posisi jendela seluruhnya berada di ketinggian +89 cm yang mana merupakan posisi pada zona aktifitas manusia. Jenis jendela yang digunakan pada gedung pascasarjana UNISMA yaitu jendela *top-hung* atau *awning* dengan bukaan tidak maksimal sehingga kurang efektif terhadap arah angin yang datang dari sisi samping bangunan (timur laut). Hal ini menyebabkan kecepatan angin eksisting ruang kuliah terlalu kecil untuk dapat mengkompensasi temperatur dan kelembaban yang tinggi.

Berdasarkan hasil observasi tersebut, rekayasa kemudian dilakukan terhadap faktor faktor yang dapat menurunkan temperatur ruang dalam seperti penggunaan *double skin façade*, rasio dinding dana jendela, serta material dinding dan jendela. Masing masing rekayasa kemudian disimulasikan untuk mengetahui peningkatan kinerja termal. Rekayasa

penerapan *double skin façade* memiliki dua alternattif yaitu dengan jarak terhadap *setback* bangunan (1.5m) dan tanpa jarak, kedua alternatif menunjukan penurunan temperatur ruang kuliah hingga > 5 ºC. Namun penggunaan DSF dengan jarak menunjukan kinerja termal yang lebih baik sehingga dipilih sebagai alternatif. Pada rekayasa rasio dinding dan jendela dengan dua alternatif yaitu 30% dan 50% ditemukan adanya penurunan temperatur pada saat titik absolut jam efektif hingga 3ºC, namun rata rata temperatur ruang kuliah mengalami peningkatan sekitar ±1ºC. Hal ini menunjukan bahwa rasio memiliki pengaruh yang tidak terlaluu signifikan terhadap penurunan diakibatkan karena fasad bangunan baik kaca maupun dinding tetap terpapar sinar matahari dan meneruskan radiasi matahari, namun rasio dinding dan jendela 50% menunjukan kinerja termal sedikit lebih baik daripada 30%. Kenaikan rata rata temperatur ruangan juga ditemukan pada rekayasa material dinding dan jendela pada rasio kaca 100% digunakan kaca reflekttif dengan SHGC lebih rendah yaitu 0.40, ditemukan bahwa tidak terjadi perubahan signifikan terhadap temperatur ruang yaitu dari 31.1ºC menjadi 30.7ºC. Menunjukan bahwa rekayasa *double skin façade* merupakan rekayasa yg berpengaruh terhadap penurunan temperatur.

Untuk mengetahui kemungkinan terbaik guna mengurangi temperatur ruang kuliah maka ketiga rekayasa faktor utama dikombinasikan untuk mendapatkan rekayasa yang paling efektif. Dinding yang dihasilkan dari pengurangan rasio kemudian dikombinasikan dengan rekayasa material dengan *u-value* dan *time lag* yang lebih baik, yaitu batako dengan *u-value* 2.25 serta *time lag* 2.2 jam dan bata ringan dengan *u-value* 0.226 serta *time lag* 4 jam. Dari hasil simulasi diketahui bahwa pergantian tidak memberikan pengaruh karena baik dinding dan jendela terpapar radiasi dan meneruskannya kedalam ruang. Oleh karena itu dilakukan kombinasi rekayasa Rasio & DSF dan Material & DSF. Keduanya menunjukan kinerja termal lebih baik dengan kombinasi dengan DSF, pada ruang tipe 08 rekayasa penggantian material kaca menjadi kaca reflektif dan penambahan rasio menjadi alternatif terbaik karena dapat menekan temperatur titik absolut hingga > 6ºC pada saat jam efektif berlangsung. Sedangkan gabungan kombinasi ketiganya justru meningkatkan temperatur sama seperti simulasi rekomendasi sebelumnya. Maka dipilih tipe 1 yaitu rekayasa penerapan DSF sebagai rekomendasi desain pada ruang kuliah gedung pascasarjana UNISMA sebagai langkah menurunkan temperatur yang paling efektif.

Rekomendasi desain pengendalian termal terpilih yaitu DSF kemudian disimulasikan terhadap keempat sampel ruang kuliah, hasil menunjukan bahwa temperatur ruang kuliah mengalami penurunan 0.2 > 3.4ºC. Keseluruhan kemungkinan menunjukan rekomendasi yang paling efektif hanya mampu menurunkan temperatur diangka ± 29ºC. Dengan temperatur dan kelembaban yang tinggi yaitu 90% dibutuhkan kecepatan angin sebesar 0.8 m/s guna mengkompensasi hal tersebut. Simulasi juuga dilakukan pada bulan terpanas untuk mengetahui efektivitas rekayasa DSF pada kondisi absolut, hasil simulasi menunjukan penggunaan DSF pada bulan terpanas yaitu Oktober dapat mengurangi temperatur ruang kuliah dari 1ºC hingga 2.1ºC. Perubahan tipe jendela dan penambahan *outlet* berguna untuk mencapai hal tersebut dan berhasil meningkatkan kecepatan angin ruang kuliah sekitar 0.2 – 1 m/s dimana kecepatan angin ruang kuliah sudah memadai untuk dapat mengkompensasi tingginya temperatur dan kelembaban relatif ruang kuliah pada bulan April maupun Oktober. Kecepatan angin dalam ruang berada pada kategori nyaman dan gerakan udara dapat dirasakan dengan efek penyegaran 1 – 1.2ºC (Frick, 2008).

Dari serangkaian penelitian, didapatkan hasil akhir berupa rekayasa desain yang diterapkan belum mampu untuk menurunkan temperatur hingga ke ambang batas standart SNI 03-6572-2001 tentang perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara gedung yaitu berada pada kisaran 25 ^{0}C ± 1 ^{0}C dan kelembaban udara relative 55% ± 10%. Namun penurunan yang terjadi sudah cukup signifikan dan kecepatan angin sudah dapat mengkompensasi hal tersebut. Hal ini memang cukup sulit dilakukan pada desain bangunan yang menghadap kearah matahari, dimana fasad akan selalu terpapar oleh sinar matahari ketika pagi dan sore. Penerapan pendinginan alami yang cocok pada bangunan dengan orientasi seperti gedung pascasarjana UNISMA (barat laut dan tenggara) adalah penggunaan *double skin facade* (DSF) yang menaungi ruang kuliah dari sebagian sinar matahari dan penggunaan ventilasi yang memberikan penyegaran ke dalam bangunan meskipun suhu dalam ruangan masih cukup panas.

5.2 Saran

Perancangan ini memberikan suatu aplikasi desain yang dapat mengurangi/menurunkan temperatur sehingga secara tidak langsung dapat mengurangi beban pendinginan dan pemakaian energi pada bangunan. Selain itu dapat ditambahkan penggunaan *blinds* atau tirai saat intensitas matahari terlalu panas. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan perhitungan energi bangunan sehingga dapat diketahui

kebutuhan energi dan penghematan energi yang telah dilakukan serta evaluasi penggunaan energi pada gedung pascasarjana UNISMA.

DAFTAR PUSTAKA

Alfata, M. N. F., Hirata, N., Kubota, T., Nugroho, A. M., Uno, T., Antaryama, I. G. N., & Ekasiwi, S. N. 2015. *Thermal Comfort in Naturally Ventilated Apartments in Surabaya,* Indonesia. Procedia Engineering. 121: 459-467.

Alibaba, H. 2016. *Determination of Optimum Window to ExternalWall Ratio for Offices in a Hot and Humid Climate*. Department of Architecture, Eastern Mediterranean University: Turkey.

Attar, M. Hamzah, B. Rahim, MR. 2014. *Kenyamanan Termal Ruang Kuliah dengan Pengkondisian Buatan*. Tidak diterbitkan. Universitas Hasanudin: Makassar.

Badan Standarisasi Nasional. 2001. SNI 03-6572-2001. *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. BSN: Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 03-6390-2011 *Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung*. BSN: Jakarta.

Beckett, HE. Godfrey, JA. 1974. *Windows: Performance, Dsign and Installation*. Van Nostrand Reinhold Co: New York.

Boutet, TS. 1987. *Controlling Air Movement*. McGraw-Hill Book Company: New York.

Dewi, CP. 2011. *Strategi Double Skin Fasade pada Bangunan Kampus National Central University dalam Menurunkan Kebutuhan Energi Pendinginan*. Jurusan Arsitektur, Universitas Brawijaya: Malang.

Dhyan, SA. *Pengaruh Material Pelapis pada Fasade Bangunan Terhadap Nilai OTTV* (studi kasus: Sekolah Menengah Pertama di Depok). Depok, 2012

Fanger. 1982. *Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Enginering*. Robert E. Krieger Publishing Company: Malabar.

Foong, SYT. 2008. *Measurement of Thermal Comfort at Classroom: A Case Study in UTeM*. Faculty of Manufacturing Engineering, Universiti Teknikal Malaysia: Melaka.

Frick, H. 2008. *Ilmu Fisika Bangunan*. Kanisius: Yogyakarta.

Golany, GS. 1995. *Ethics and Urban Design: Culture, Form and Environment*. J. Willey: New York.

Karyono, TH. 2001. *Teori dan Acuan Kenyamanan Termis dalam Arsitektur*. Catur Libra Optma: Jakarta.

Karyono, TH. 2007. *Rumah Susun Tropis Hemat Energi*. (Paper). Universitas Parahyangan: Bandung.

Kementerian Kesehatan. 1998. Keputusan No. 261/Menkes/SK/11/1998 tentang *Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja*. Menteri Kesehatan Indonesia: Jakarta.

Latifah, NL. Perdana, H. Prasetya, A. Oswald, PMS. 2013. *Kajian Kenyamanan Termal pada Bangunan Student Center Itenas Bandung*. Jurusan Arsitektur, Institut Teknologi Nasional: Bandung.

Lechner, N. 2015. *Heating, Cooling, Lighting, Sustainable Methods for Architects*. John Wiley & Sons, Inc: Hoboken, New Jersey.

Lee, E., et all. 2002. *High-performance commercial building facades*. USA: Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), University of California, Berkeley.

Lippsmeier, G. 1997. *Bangunan Tropis*. Erlangga: Jakarta.

Mangunwijaya. 1980. *Pasal-Pasal Fisika Bangunan*. Gramedia: Jakarta.

Mclntyre, DA. 1980. *Indoor Climate*. Applied Science: United Kingdom.

Melaragno, M. 1982. *Wind in Architectural and Environmental Design*. Van Nostrand Reinhold Co: New York.

Nugroho, A.M., Ahmad, M.H. and Ossen, D.R. 2007. *A preliminary study of thermal comfort in Malaysia' s single storey terraced houses*. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 6(1): 175-182.

Oesterle, E., et all. 2001. *Double Skin Facades–Integrated Planning*. Munich: Prestel Verlag

Olgyay, V., 1962, *Design with Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*, (Princeton: Princeton University Press).

Poirazis, H. 2004. *Double Skin Façade for Office Building*. Lund: Lund University. Lund Institute of Technology Department of Construction and Architecture.

Rahmawati. A, AKF. Agustin, FK. 2015. *Penghawaan Alami Terkait Sistem Ventilasi Terhadap Kenyamanan Termal Rumah Susun Industri Dalam*. Jurusan Arsitektur, Institut Teknologi Nasional: Bandung.

Rahmi, DH. Et al. 2015. *Pengaturan Penghawaan dan Pencahayaan pada Bangunan*. http://arsitekturdanlingkungan.wg.ugm.ac.id/2015/11/20/pengaturan-penghawaan-dan-pencahayaan-pada-bangunan/. Diakses 25 Mei 2017.

Rilatupa, J. 2008. *Aspek Kenyamanan Termal pada Pengkondisian Ruang Dalam*. Jurnal Sains dan Teknologi EMAS, Universitas Kristen Indonesia: Jakarta.

Satwiko, P. 2008. *Fisika Bangunan*. Andi: Yogyakarta.

Sugini. 2014. *Kenyamanan Termal Ruang, Konsep dan Penerapan Pada Desain*. Graha Ilmu: Yogyakarta.

Suhardi, B. Laksono, PW. Budisantosa, B. 2015. *Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Kelas Mahasiswa (Studi Kasus Ruang Kelas 303 Jurusan Teknik Mesin UNS)*. IDEC: Surakarta.

Susanti, L. Aulia, N. 2013. *Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang*. Laboratorium Sistem Kerja dan Ergonomi, Jurusan Teknik Industri, Universitas Andalas: Padang.

Synder, JC. Catanese, AJ. 1989. *Introduction to Architecture*. Erlangga: Jakarta.

Szokolay, SV. 2008. *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. Elsevier: London.

Talarosha, B. 2005. *Menciptakan Kenyamanan Thermal dalam Bangunan*, USU Press: Medan.

Tascon, M. H. 2008. *Experimental and computational evaluation of thermal performance and overheating in double skin facades* (Thesis). University of Nottingham.

Wong, NH. Tan, A. Gabriela, O. Jusuf, SK. 2016. *Indoor Thermal Comfort Assessment of Industrial Buidings in Singapore*. Elsevier, Science Direct.

Yagoub, W., Appleton, S., & Stevens, W. 2010. *Case study of double skin façade in hot climates.* Presented at the Adapting to Change: New Thinking on Comfort, London.