

TA/TL/2020/[1224]

TUGAS AKHIR
EVALUASI KENYAMANAN TERMAL DI RUANG
KULIAH PRODI TEKNIK LINGKUNGAN GEDUNG
MOHAMMAD NATSIR FTSP UII

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



ADHITYA CHANDRA PUTERA

13513111

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2020

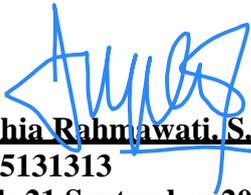
TUGAS AKHIR
EVALUASI KENYAMANAN TERMAL DI RUANG
KULIAH PRODI TEKNIK LINGKUNGAN GEDUNG
MOHAMMAD NATSIR FTSP UII

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan



ADHITYA CHANDRA PUTERA
13513111

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing:


Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.
NIP: 155131313
Tanggal: 21 September 2020


Dr. Nur Aini Iswati H., S.T., M.Si.
NIP: 185130403
Tanggal: 21 September 2020

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII




Dr. Siswono, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIP: 025100406
Tanggal: 25 September 2020

HALAMAN PENGESAHAN*

**EVALUASI KENYAMANAN TERMAL DI RUANG
KULIAH PRODI TEKNIK LINGKUNGAN GEDUNG
MOHAMMAD NATSIR FTSP UII**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Senin

Tanggal : 21 September 2020

Disusun Oleh:

**ADHITYA CHANDRA PUTERA
13513111**

Tim Penguji :

Penguji 1

(Dr. Suphia Rahmawati. S.T., M.T.)

Penguji 2

(Dr. Nur Aini Iswati H., S.T., M.Si.)

Penguji 3

(Luqman Hakim, S.T., M.Si.)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 21 September 2020
Yang membuat pernyataan,



Adhitya Chandra Putera
NIM: 13513111

PRAKATA

Assalamualikum Wr. Wb.

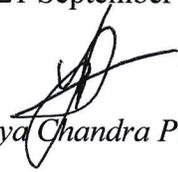
Segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat-Nya sehingga dapat berhasil menyusun Tugas Akhir yang berjudul **“Evaluasi Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah Prodi Teknik Lingkungan Gedung Mohammad Natsir Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia”**. Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak sekali bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis juga bermaksud menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Keluarga terutama kedua orang tua atas kesabaran dan do'a serta tidak pernah lelah dalam mendidik dengan tulus dan ikhlas kepada penulis.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc., M.Sc.Es., Ph.d. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T selaku Pembimbing 1 tugas akhir.
4. Ibu Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si selaku Pembimbing 2 tugas akhir.
5. Seluruh Teman-teman Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Terima kasih telah menjadi teman yang baik dan juga saling berbagi informasi.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, Saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini.

Yogyakarta, 21 September 2020


Adhitya Chandra Putera

ABSTRAK

ADHITYA CHANDRA PUTERA. Evaluasi Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah Prodi Teknik Lingkungan Gedung Mohammad Natsir Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Dibimbing oleh Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. dan Dr. Nur Aini Iswati H., S.T., M.Si.

Kenyamanan termal ruang kuliah mempengaruhi konsentrasi mahasiswa dalam proses belajar, diperlukan penelitian untuk mengetahui kondisi kenyamanan termal di ruang kuliah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal dan memberikan rekomendasi peningkatan kenyamanan termal di ruang kuliah Prodi Teknik Lingkungan Gedung Mohammad Natsir FTSP UII menggunakan metode Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) serta pemberian kuisioner untuk menentukan tingkat kenyamanan termal di ruang kuliah. Hasil analisis kenyamanan termal di lima ruang kuliah menunjukkan nilai PMV pada pagi hari berkisar +0,7 ~ +1,2, nilai tersebut masuk kategori slightly warm dengan nilai PPD berkisar dari 15,3% ~ 35,2%. Nilai PMV naik drastis pada siang hari, berkisar dari +1,5 ~ +2,1 yang masuk kategori warm dengan nilai PPD berkisar dari 50,9% ~ 81,1%. Hasil kuisioner pada pagi hari berkisar dari 60,5% ~ 80,1% sedangkan pada siang hari mengalami penurunan drastis berkisar dari 48,6% ~ 63,6%. Nilai PMV, PPD dan hasil kuisioner menunjukkan kondisi kenyamanan termal di ruang kuliah tidak nyaman untuk digunakan beraktivitas, maka dibutuhkan peningkatan kondisi termal ruang kuliah melalui penggunaan direct evaporative cooling, lapisan insulasi termal Phase Change Material (PCM) dan air conditioner.

Kata kunci: *Kenyamanan Termal, Kuisioner PMV, PPD.*

ABSTRACT

ADHITYA CHANDRA PUTERA. *Evaluation of Thermal Comfort in the Lecture Room of Environmental Engineering Study Program, Mohammad Natsir Building, Faculty of Civil Engineering and Planning, Islamic University of Indonesia. Supervised by Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T., and Dr. Nur Aini Iswati H., S.T., M.Si.*

The lecture room thermal comfort affects the concentration of students in the learning process. Research is needed to determine the thermal comfort conditions in the lecture hall. This study aims to evaluate the level of thermal comfort and provide recommendations for increasing thermal comfort in the lecture room of the Environmental Engineering Study Program, Mohammad Natsir Building, FTSP UII using the Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) methods as well as giving questionnaires to determine the level of thermal comfort in the lecture room. The results of the thermal comfort analysis in five lecture halls show that the PMV value in the morning ranges from +0.7 ~ +1.2, the value is in the slightly warm category with the PPD value ranging from 15.3% ~ 35.2%. The PMV value increases drastically during the day, it ranges from +1.5 ~ +2.1 which is in the warm category with PPD values ranging from 50.9% ~ 81.1%. The results of the questionnaire in the morning ranged from 60.5% ~ 80.1%, while at noon, it decreased drastically, ranging from 48.6% ~ 63.6%. PMV, PPD, and questionnaire results show that the thermal comfort conditions in the lecture room are not comfortable to use for activities, so it is necessary to improve the thermal conditions of the lecture room through the use of direct evaporative cooling (DEC), Phase Change Material (PCM) thermal insulation and air conditioner.

Keywords: *PMV, PPD, Thermal Comfort, Questionnaire.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

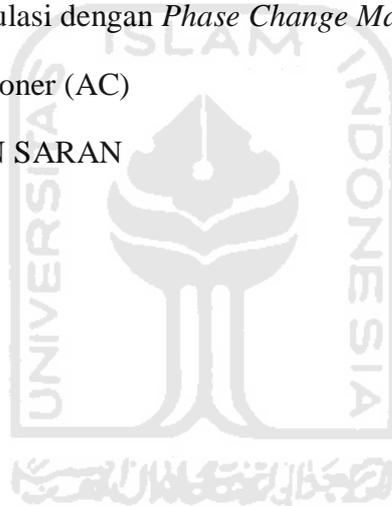


DAFTAR ISI

PRAKATA	ii
<i>ABSTRAK</i>	iii
<i>ABSTRAC</i>	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Kenyamanan Termal	5
2.2. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal	6
2.2.1. Faktor Lingkungan	6
2.2.2. Faktor Individu	9
2.3. Peningkatan Kenyamanan Termal di Dalam Ruangan	11
2.4. Analisis Kenyamanan Termal	21
2.5. Jam Puncak Sinar Matahari	23
2.3 Standar Kenyamanan Termal	24

2.6.	Peneliti Terdahulu	27
BAB III METODE PENELITIAN		35
3.1.	Waktu dan Lokasi Penelitian	36
3.2.	Pemilihan Ruangan Kuliah	36
3.3.	Metode Pengumpulan Data	39
3.4.	Data Primer Penelitian	41
3.4.1.	Temperatur Udara	42
3.4.2.	Temperatur Radiasi	43
3.4.3.	Insulasi Pakaian	43
3.4.4.	Kelembapan Relatif	43
3.4.5.	Aktivitas Mahasiswa (Metabolisme)	44
3.4.6.	Kecepatan Udara	44
3.4.7.	Survey Kenyamanan Termal	44
3.5.	Data Sekunder Penelitian	45
3.6.	Analisis data	45
3.6.1.	Analisis Survey Kenyamanan Termal	47
3.6.2.	Analisis Data Temperatur Radian	48
3.6.3.	Analisis Data Nilai Insulasi Pakaian	48
3.6.4.	Analisis Data Nilai PMV dan PPD	49
3.6.5.	Analisis Peningkatan Kenyamanan Termal di Ruangan Kuliah	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1.	Gambaran Umum Penelitian	53
4.2.	Analisis Parameter Kenyamanan Termal	54
4.2.1.	Temperatur Udara	56
4.2.2.	Temperatur Radiasi Pendugaan	58

4.2.3.	Kelembapan Relatif	59
4.2.4.	Kecepatan Udara	61
4.2.5.	Insulasi Pakaian dan Nilai MET	61
4.3.	Nilai Predicted Mean Vote (PMV)	63
4.4.	Survey Kenyamanan Termal dan PPD	64
4.5.	Standar Kenyamanan Termal	68
4.6.	Rekomendasi Peningkatan Kenyamanan Termal	71
4.6.1.	Direct Evaporative Cooling (DEC)	71
4.6.2.	Termal Insulasi dengan <i>Phase Change Material</i>	73
4.6.3.	Air Conditioner (AC)	74
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		78
5.1.	Simpulan	78
5.2.	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN		86





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

1	Nilai Insulasi Pakaian Berdasarkan SNI 03-6572-2001	10
2	Nilai Met Berbagai Aktifitas	12
3	Shading Coeficient untuk Elemen Arsitektur	16
4	Hasil Pengurangan Panas dari Radiasi Matahari oleh Jendela	18
5	Shading Coeficient untuk Elemen Lansekap	19
6	Kecepatan Angin	20
7	Shadding Coefficient untuk Berbagai Jenis Material Kaca	22
8	Radiasi Matahari dan Serapan Kalor	24
9	Koefisien Serapan Kalor Akibat Pengaruh Warna	25
10	Selisih Serapan Kalor Sinar Matahari dengan Permukaan Cat Putih	25
11	Hubungan Radiasi Sinar Matahari, Temperatur dan Kelembapan Relatif	26
12	Batas Kenyamanan Termal	26
13	Penelitian-Penelitian Terdahulu	27
14	Kondisi Eksisting Ruangan Kuliah Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII	37
15	Metode Pengukuran Data Primer	42
16	Insulasi Pakaian Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017	46
17	Kecepatan Angin dan Pengaruh terhadap Kenyamanan termal	51
18	Kondisi Eksisting Ruangan Kuliah (Objek Penelitian)	54
19	Data Kondisi Kenyamanan Termal Outdoor di Sekitar UII	56
20	Rata-Rata Mahasiswa hadir perkuliahan saat pengukuran	58
21	Data Nilai Insulasi Pakaian & Nilai MET	62
22	PMV dan PPD Ruangan Kuliah pada pagi hari	63
23	PMV dan PPD Ruangan Kuliah pada Siang Hari	64
24	Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner dan PPD Pagi Hari	65
25	Rekatipulasi Data Hasil Kuisisioner dan PPD Siang Hari	66
26	Kepuasan Termal Mahasiswa Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner Rata-Rata dan PPD	68
27	Hasil Evaluasi Kenyamanan Termal Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017	69

28 Hasil Evaluasi Kenyamanan Termal Berdasarkan SNI 03-6572-2001	70
29 Nilai PMV & PPD Setelah Pengaplikasian Rekomendasi	76



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR GAMBAR

1	Desain Jendela Cantilever (Overhang)	14
2	Desain Jendela Horizontal Louver Screen	14
3	Desain Jendela Eggcrate	15
4	Desain Jendela Louver Overhang (Horizontal)	16
5	Desain Jendela Panel (Awning)	17
6	Desain Jendela Vertical Louver	17
7	Jarak Pohon	19
8	Proses Konduksi	21
9	Alur Penelitian	35
10	Lokasi Penelitian	36
11	Lantai 2 Gedung Muhammad Natsir FTSP UII	38
12	Lantai 3 Gedung Muhammad Natsir FTSP UII	40
13	Titik Pengambilan Tiap Ruangan Kuliah	41
14	Anemometer Digital Lutron LM-8000A	45
15	Rata-Rata 5 Hari Data Temperatur Udara	57
16	Rata-Rata 5 Hari Data Temperatur Radiasi Pendugaan	59
17	Rata-Rata 5 Hari Data Kelembapan Relatif	60
18	Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner Rata-Rata	67
19	Proses Direct Evaporative Cooling	72
20	Evaporative Cooler	73
21	Phase Change Material pada Dinding	74
22	Air Conditioner	75

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN

1	Kuisisioner Penelitian Kenyamanan Termal Ruangan Kuliah di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII	87
2	Hasil Pengukuran Pagi Hari (09:30-10:30)	88
3	Hasil Pengukuran Siang Hari (13:30-14:30)	90
4	Nilai Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)	92
5	Hasil Kuisisioner Pagi Hari	97
6	Hasil Kuisisioner Siang hari	102



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR NOTASI

f_{cl}	= Rasio permukaan orang ketika berpakaian dan tidak berpakaian
h_{cl}	= Konvektif heat transfer dalam ($W/m^2 K$)
I_{cl}	= Nilai insulasi pakaian (clo)
M	= Tingkat aktivitas (W/m^2)
P_a	= Kelembapan Udara (Pa)
PMV	= Predicted Mean Vote
PPD	= Predicted Percentage Dissatisfied
P_s	= Tekanan uap air pada kondisi jenuh
RKT	= Respon Kenyamanan Termal Responden
T	= Temperatur udara ($^{\circ}C$)
t_a	= Temperatur udara ($^{\circ}C$)
T_{bp}	= Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}C$)
t_{cl}	= Temperatur permukaan pakaian ($^{\circ}C$)
t_r	= Temperatur radiasi ($^{\circ}C$)
V	= Kecepatan aliran udara (m/s)
W	= Aktivitas luar (W/m^2)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kenyamanan termal dibutuhkan agar manusia dapat beraktifitas dengan produktifitas yang tinggi pada ruangan kerjanya. Menurut ANSI/ASHRAE (2017) kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang menjelaskan kualitas kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya, dengan kata lain kenyamanan termal terdiri dari tiga aspek yaitu psikologis, fisiologis dan fisik yang dapat berbeda setiap orangnya. ASHRAE (*The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer*) sendiri adalah sebuah asosiasi professional yang berupaya memajukan desain dan konstruksi system pemanas, ventilasi, pendingin udara dan pendingin (HVAC&R). Salahsatu upaya nya adalah dengan menerbitkan standar teknik untuk meningkatkan kenyamanan termal di dalam ruangan.

Dalam menentukan kenyamanan termal suatu zona/area diperlukan suatu metode yang dapat melihat persepsi dominan yang dirasakan oleh sekelompok sampel pada area tersebut. Metode yang disarankan berdasarkan ASHRAE *Standard 55-2017* adalah metode *Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)* dan *Predicted Mean Vote (PMV)*, yang mana PMV adalah skala yang menunjukan rentang sensasi temperatur yang dirasakan manusia dengan tujuh skala, yakni -3 (sangat dingin), -2 (dingin), -1 (sejuk), 0 (netral), +1 (hangat), +2 (sangat panas), serta +3 (sangat panas) sedangkan PPD merupakan banyaknya orang (dalam persentase) yang tidak puas terhadap keadaan termal di lingkungan sekitar. Parameter lingkungan yang diperlukan untuk menghitung nilai PMV dan PPD adalah temperatur udara, temperatur radiasi, kelembapan udara, kecepatan udara dan parameter individu yang meliputi kegiatan di dalam ruangan (*metabolic rate*) dan insulasi pakaian. Metode survey juga dilakukan sebagai cara mengukur tingkat kepuasan mahasiswa terhadap kondisi kenyamanan termal di ruangan kuliah yang

sangat subjektif, Survey dilakukan kepada semua mahasiswa yang mengikuti perkuliahan saat dilakukan pengukuran.

Jiang dkk (2019) menyimpulkan bahwa ada hubungan antara temperatur ruangan, penerangan dan kelembapan relatif dengan kesehatan yang berhubungan dengan isu seperti kebosanan, mudah Lelah dan kesulitan berkonsentrasi yang mempengaruhi produktivitas dan kinerja belajar. Hal tersebut sesuai dengan penelitian oleh Wargocki and Wyon (2007) pada ruang kelas di *Denmark* yang mengukur kinerja pelajar dalam mengerjakan tugas sekolah dari membaca sampai matematika, Hasilnya menunjukkan bahwa pengurangan temperatur kelas memiliki efek yang positif pada kinerja belajar pelajar di dalam kelas, ketika temperatur menurun dari 25°C menjadi 20°C kecepatan rata-rata pengerjaan tugas meningkat sekitar 2% per 1°C penurunan temperatur. Jadi dapat disimpulkan bahwa kenyamanan termal di dalam ruangan sangat mempengaruhi kesehatan dan produktivitas seseorang terutama pada kegiatan belajar dan mengajar di ruangan perkuliahan.

Temperatur ruangan yang optimal berdasarkan BSN (2003) berkisar antara 20,5°C-27,1°C, jika temperatur udara terlalu rendah dapat menyebabkan infeksi pernapasan, asthma, menggigil dan mengantuk sedangkan jika terlalu tinggi dapat menyebabkan hyperthermia, heat stroke, kelelahan, dan keringat berlebih (World Health Organization, 1991) Hal tersebut dapat mengurangi produktivitas dan kesehatan pengguna ruangan sehingga diperlukan kualitas kenyamanan termal yang optimal di dalam ruangan perkuliahan agar mahasiswa dan dosen dapat berkonsentrasi dalam proses belajar dan mengajar.

Koenigsberger dkk (1974) menjelaskan bahwa Indonesia sebagai negara yang memiliki iklim tropis lembab dimana iklim tersebut sangat sulit ditangani untuk mendapatkan tingkat kenyamanan termal yang optimal tanpa pengkondisian udara buatan berupa pemasangan AC (*air conditioner*). Oleh karena itu, dikarenakan alasan produktivitas belajar mengajar dan kesehatan pengguna ruangan kuliah yaitu mahasiswa dan dosen diperlukan penelitian ini untuk mengevaluasi kualitas kenyamanan termal pada ruangan kuliah Gedung Mohammad Natsir Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam

Indonesia sesuai dengan SNI 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan system ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung dan *ASHRAE Standard 55-2017* tentang kondisi lingkungan termal untuk hunian manusia. Hasil evaluasi tersebut digunakan sebagai acuan dalam perbaikan sarana dan prasarana di dalam ruangan kuliah sehingga dapat meningkatkan kualitas kenyamanan termal di ruangan kuliah yang memiliki tingkat kenyamanan termal yang dibawah standar.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi kenyamanan termal di ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII apakah sudah sesuai dengan SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE 55-2017*?
2. Seberapa besar tingkat kepuasan mahasiswa terhadap kondisi kenyamanan termal sebagai pengguna ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII?
3. Bagaimana peningkatan kualitas kenyamanan termal di ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kondisi kenyamanan termal ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII berdasarkan dengan SNI 03-6572-2001 dan *ASHRAE Standard 55-2017*.
2. Mengetahui tingkat kepuasan mahasiswa terhadap kondisi kenyamanan termal sebagai pengguna ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII
3. Memberikan rekomendasi peningkatan kenyamanan termal melalui perbaikan sarana dan prasarana di ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII.

1.4. Manfaat Penelitian

Selain memiliki beberapa tujuan, penelitian ini juga diharapkan memiliki manfaat berupa:

1. Mengetahui tingkat kenyamanan termal pada ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII.
2. Mengetahui tingkat kepuasan mahasiswa terhadap kondisi kenyamanan termal pada ruangan kuliah Prodi Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII.
3. Dapat memberikan rekomendasi terhadap sarana dan prasarana ruangan kuliah untuk meningkatkan kualitas kenyamanan termal sesuai dengan standar yang ada demi tercapainya kondisi belajar dan mengajar yang kondusif.

1.5. Ruang Lingkup

Kajian utama yang dipermasalahkan dalam penelitian ini adalah kondisi kenyamanan termal di dalam ruangan. Oleh karena itu, penelitian ini dibatasi dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian dilaksanakan di ruangan kuliah II/3, VIP, II/8, III/8 dan III/14 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII dengan batasan cakupan hanya pada persepsi terhadap tingkat kenyamanan termal.
2. Pengukuran dan analisis tingkat kenyamanan termal berdasarkan SNI 03-6572- 2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung dan ASHRAE Standard 55-2017 *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* dengan metode PMV dan PPD.
3. Penelitian ini hanya sebatas meneliti parameter kenyamanan termal berupa temperatur udara, temperatur radian, kelembapan relatif, kecepatan udara, insulasi pakaian, metabolisme aktivitas mahasiswa dan kuisioner kenyamanan termal mahasiswa menggunakan metode PMV dan PPD.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kenyamanan Termal

Kenyamanan sangat penting bagi tubuh agar manusia dapat beraktifitas dengan efektif dan efisien pada ruangnya. Menurut ANSI/ASHRAE (2017), kenyamanan termal adalah sensasi termal yang dirasakan oleh tubuh dan pikiran yang mengekspresikan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan termalnya yang meliputi tiga aspek yaitu fisiologis, fisik dan psikologis. Dapat disimpulkan dari pernyataan tersebut bahwa kenyamanan termal juga merupakan sebuah pengalaman rasa terkait kondisi termal sekitarnya, dapat berbeda antara satu orang dengan dengan lainnya. Keseimbangan temperatur tubuh dengan temperatur lingkungan sekitarnya merupakan prinsip kenyamanan termal. Jika terjadi perbedaan temperatur yang signifikan antara tubuh manusia dengan lingkungan sekitarnya akan menimbulkan ketidaknyamanan termal. Menurut Nagashima dkk (2018) kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor-faktor iklim yaitu temperatur radiasi, temperatur udara, kecepatan angin dan kelembapan udara, serta beberapa faktor individu seperti insulasi pakaian, tingkat metabolisme.

Bangunan dibuat untuk menunjang aktivitas manusia dengan kondisi alam iklim yang nyaman sehingga diperlukan bangunan yang dimodifikasi dan didesain agar memiliki kondisi kenyamanan termal yang diinginkan. Susanti and Aulia (2016) menyebutkan bahwa arah bangunan terhadap sinar matahari berpengaruh kepada kondisi kenyamanan termal bangunan. Jumlah dan letak dari ventilasi yang berhubungan dengan pertukaran udara juga mempengaruhi kenyamanan termal bangunan. Salah satu cara meningkatkan kenyamanan termal adalah dengan memasang alat penyejuk seperti kipas angin dan AC (*air conditioner*). Faktor-faktor tersebut kurang diperhatikan dalam mendesain suatu ruangan terutama ruangan kuliah yang membutuhkan kenyamanan termal yang nyaman agar proses belajar dan mengajar yang kondusif.

Pendekatan-pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal suatu ruangan melalui pendekatan metode *Predicted Mean Vote* (PMV) dan metode *Predicted Percentage Percentage of Dissatisfied* (PPD). Metode – metode tersebut merupakan penilaian subjektif pengguna yang dinyatakan dalam tujuh skala sensasi termal, yaitu: *Very Cold* (-3), *Cold* (-2), *Slightly Cold* (-1), *Neutral* (0), *Warm* (1), *Slightly Hot* (2) dan *Hot* (3).

2.2. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal terdiri dari faktor individu, lingkungan dan rekayasa termal bangunan. Hal-hal tersebut menjadi dasar dalam mendesain bangunan yang nyaman.

2.2.1. Faktor Lingkungan

A. Temperatur Udara

Menurut Kotta (2008) daerah khatulistiwa menerima radiasi sinar matahari sehingga memiliki temperatur udara yang tinggi, bidang daratan menjadi panas dua kali lipat lebih cepat dari bidang air dengan luas yang sama. Bidang air kehilangan sebagian energi panasnya karena penguapan, sebab temperatur udara sebagian besar ditentukan oleh pantulan udara dengan permukaan tanah, maka terjadilah temperatur udara lebih tinggi dengan kelembaban udara yang rendah dan temperatur sedang dengan kelembaban udara yang tinggi. Temperatur udara harian maksimum tercapai beberapa saat setelah intensitas cahaya maksimum kira-kira 2 (dua) jam setelah berkas sinar matahari jatuh tegak lurus pada waktu tengah hari karena itu pertambahan panas tertinggi pada gedung terdapat pada fasade bagian barat sehingga patokan umum dapat dianggap bahwa temperatur tertinggi sekitar 2 (dua) jam setelah posisi matahari tertinggi dan temperatur terendah sebelum matahari terbit temperatur sudah mulai naik lagi pada saat matahari mulai terbit karena adanya penyebaran radiasi pada langit.

Panas yang diterima gedung pada daerah iklim tropis yang akan masuk ke dalam ruangan melalui atap dan dinding jika dicegah dengan aliran udara pada permukaan secara alami maupun buatan. Panas yang terjadi dalam gedung tidak menurun dari luar gedung pemanasan yang terjadi dapat disebabkan oleh radiasi

matahari langsung, radiasi difus dan radiasi gelombang panjang dari permukaan gedung di sekitarnya. Selain radiasi matahari, gedung menerima panas dari dalam ruangan seperti panas lampu, peralatan listrik, mesin yang bekerja, dapur yang sedang dipakai memasak dan panas tubuh penghuni yang menguap.

Manusia merasa nyaman jika temperatur tubuhnya sekitar 37°C. Temperatur tubuh manusia dipengaruhi oleh temperatur yang berada di lingkungan sekitarnya, dalam hal ini temperatur udara dapat berpindah dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah berdasarkan hukum termodinamika. Temperatur dalam ruangan yang sehat berkisar antara 18°C - 26°C (Mentri Kesehatan Republik Indonesia, 2016) .

B. Temperatur Radian

Objek yang menghasilkan atau mengeluarkan panas dapat memancarkan atau memgradiasikan panas ke lingkungan sekitarnya. Dalam melepas atau menerima panas ke atau dari lingkungan temperatur radiasi memiliki kemampuan lebih besar daripada temperatur udara. Desain arah bangunan sangat mempengaruhi besaran temperatur radiant yang dihasilkan dikarenakan paparan sinar matahari yang berbeda-beda tergantung menuju kemana arah bangunan. Temperatur radian dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Temperatur Radian} = (0,7 \times T_{bp}) + (0,3 \times (1,36 \times T) - 2,358)$$

Keterangan:

T_{bp} : Temperatur basah pendugaan (°C)

T : Temperatur udara (°C)

Temperatur radiasi pada bangunan dapat dikurangi dengan isolasi panas. Isolasi panas dapat dilakukan dengan memilih bahan bangunan yang kurang atau lambat dalam menyerap panas dan menanam pohon disekitar bangunan yang dapat menaungi bangunan dari paparan sinar matahari (Auliciems & Szokolay, 2007).

C. Kecepatan Angin

Kecepatan aliran udara dalam ilmu kilmatologi adalah kecepatan udara arah horizontal pada ketinggian 2 (dua) meter dari permukaan tanah yang datar, jadi angin permukaan kecepatannya dapat dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilalui. Menurut Rahim (2002), kecepatan angin pada dasarnya ditentukan oleh perbedaan tekanan udara antara tempat asal dan tujuan angin dan resistensi medan yang dilalui.

Menurut Baharuddin dkk (2015), kecepatan angin adalah salahsatu fakto penting dalam perencanaan bangunan. Ruangan dengan kecepatan udara yang kecil membuat ruangan menjadi cepat jenuh dan tidak sehat karena kadar konsentrasi CO² meningkat, serta kadar oksigen menipis (kelembaban mendekati 100 RH%). Kenyamanan termal dalam ruangan tidak dapat tercapai, penghuni ruangan akan berkeringat sementara keringat tidak dapat menguap pada udara sudah jenuh tanpa adanya aliran udara.

Aliran udara dapat melepas panas pada permukaan kulit dengan cara penguapan yang kemudian dapat menurunkan temperatur pada kulit. Kecepatan udara berbanding lurus dengan panas yang hilang, hal ini dapat terjadi jika temperatur udara *outdoor* lebih rendah dibanding temperatur rata-rata kulit sebesar 23°C, temperatur tubuh dapat meningkat jika temperatur udara dalam ruangan juga meningkat. Penguapan tetap terjadi dalam kondisi termal tersebut, tetapi panas yang diterima oleh tubuh tidak dapat lagi meimbangi pendinginan akibat aliran udara di dalam ruangan. Lippsmeier (1997) menjelaskan standar kecepatan udara di dalam ruangan:

1. 0,1–0,25 m/det, nyaman tanpa dirasakan ada gesekan udara.
2. 0,25-0,5 m/det, nyaman gesekan udara sudah terasa.
3. 0,5-1,0 m/det, gerakan udara terasa ringan.
4. 1,0-1,5 m/det, aliran udara ringan sampai tidak menyenangkan.
5. Di atas 1,5 m/det tidak menyenangkan diperlukan pengkondisian udara.

D. Kelembaban Udara

Menurut Badan Meterologi, Klimatologi, dan Geofisika dalam Sofyan,(2002) kelembaban udara yang sering digunakan adalah kelembaban relatif (RH) yang merupakan perbandingan antara tekanan uap air aktual dengan tekanan uap air pada kondisi jenuh, umumnya dinyatakan dalam persentase, yaitu:

$$RH = (Pa/Ps) \times 100\%$$

Pa = Tekanan uap air aktual

Ps = Tekanan uap air pada kondisi jenuh

*Jika udara dalam kondisi jenuh uap air, maka: Pa = Ps dan RH = 100%.

Udara jenuh adalah udara yang tidak mampu lagi menyerap air dalam besaran temperatur udara tertentu, karena udara tersebut telah memiliki uap air maksimum. misalnya temperatur udara 38°C dapat menyerap lima kali lebih banyak uap air dibanding temperatur udara 2°C. Jadi titik jenuh berbanding lurus dengan temperatur udara. Temperatur lembab menunjukkan konsumsi antara temperatur bola kering dan kadar kelembaban udara. Besaran tekanan uap air yang dirasakan manusia tidak nyaman sebesar di atas 2 (dua) kpa (kilo pascal). Pendinginan tubuh dengan penguapan keringat pada permukaan kulit mulai sulit terjadi dan udara tidak dapat lagi menyerap uap untuk menjaga kenyamanan tubuh. Kelembaban udara yang nyaman berada pada besaran 30 RH% - 60 RH% serta perubahannya tidak melebihi 2 RH% per jam.(ANSI/ASHRAE, 2017).

2.2.2. Faktor Individu

A. Insulasi Pakaian

Pakaian yang digunakan sangat mempengaruhi kenyamanan termal seseorang di dalam ruangan dikarenakan pakaian mempengaruhi tingkat pelepasan panas tubuh, jika pakaian yang digunakan memiliki bahan yang tipis maka pelepasan kalor pun akan banyak terjadi dan begitupun sebaliknya. Menurut ANSI/ASHRAE (2017), pakaian berpengaruh dalam kenyamanan termal pada besar nilai insulasinya. Insulasi pakaian diukur dengan satuan Clo. Standar nilai insulasi pakaian adalah ≤ 0.5 Clo (Susanti & Aulia, 2013) yang tiap nilai Clo per jenis pakaian dapat dilihat pada *Tabel 1 Nilai Insulasi Pakaian Berdasarkan SNI 03-*

6572-2001.

Total nilai insulasi ditentukan dengan total nilai Clo per setiap jenis pakaian yang dikenakan, rumus digunakan untuk menghitung nilai insulasi pakaian ditunjukkan sebagai berikut:

Pada Lelaki nilai clo = 0,727 (Jumlah nilai Clo per jenis pakaian) + 0,113

Pada Perempuan nilai clo = 0,770 (Jumlah nilai Clo per jenis pakaian) + 0,050

B. Metabolisme

Semakin banyak atau berat seseorang melakukan aktivitas fisik, semakin cepat metabolisme di tubuh terjadi yang menyebabkan tubuh mengeluarkan lebih banyak panas untuk menghindari *overheat* pada tubuh. Satuan untuk mengukur metabolisme adalah MET (1 MET = 58 W/m² permukaan tubuh). Umumnya manusia yang berumur termasuk dewasa permukaan kulitnya sebesar 1,7 m² dan manusia yang beraktivitas dengan nilai metabolisme sebesar 1 MET, kehilangan panas (*Heatloss*) sebesar kira-kira 100 W. Tingkat metabolisme diukur menggunakan rata-rata aktivitas manusia yang telah dilakukan selama 1 jam terakhir. *Tabel 2 Nilai Met Berbagai Aktifitas* menunjukkan nilai metabolisme dari berbagai aktifitas (ANSI/ASHRAE, 2017).

Tabel 1 Nilai Insulasi Pakaian Berdasarkan SNI 03-6572-2001

Pria	Clo	Wanita	Clo
Singlet tanpa lengan	0,06	Kutang dan Celana dalam	0,05
Kaos berkerah	0,09	Rok dalam - setengah	0,13
Celana Dalam	0,05	Rok dalam - penuh	0,19
Kemeja, ringan lengan pendek	0,14	Blus - ringan	0,20 (a)
Kemeja, ringan lengan panjang	0,22	Blus - berat	0,29 (a)
Waistcoat - ringan	0,15	Pakaian - ringan	0,22 (a, b)
Waistcoat - berat	0,29	Pakaian - berat	0,70 (a, b)
Celana - ringan	0,26	Rok - ringan	0,10 (b)
Celana - berat	0,32	Rok - berat	0,22 (b)

Pria	Clo	Wanita	Clo
Sweater - ringan	0,2 (a)	Celana panjang wanita - ringan	0,26
Sweater - berat	0,37 (a)	Celana panjang wanita - berat	0,44
Jaket - ringan	0,22	Sweater - ringan	0,17 (a)
Jaket - berat	0,49	Sweater - berat	0,37 (a)
Kaos tumit	0,04	Jaket - ringan	0,17
Kaos dengkul	0,1	Jaket - berat	0,37
Sepatu	0,04	Kaos kaki panjang	0,01
Sepatu bot	0,08	Sandal	0,02
		Sepatu	0,04
		Sepatu bot	0,08

*Catatan:

A. Dikurangi 10% jika tanpa lengan atau lengan pendek.

B. Ditambah 5% jika panjangnya dibawah dengkul,

Sumber: SNI 03-6572-2001

2.3. Peningkatan Kenyamanan Termal di Dalam Ruangan

Indonesia sebagai negara berkembang mempunyai iklim tropis dengan temperatur udara, paparan sinar matahari dan kelembaban udara yang tinggi. Temperatur udara maksimum rata-rata 27°C-32°C, temperatur udara minimum rata-rata 20°C-23°C, kelembaban udara rata-rata 75 RH%-80 RH%, curah hujan selama setahun antara 1000-1500 mm, kondisi langit umumnya berawan dengan jumlah awan antara 60%-90%, radiasi matahari global harian rata-rata bulanan adalah sekitar 400 watt/m², kecepatan angin rata-rata sekitar 2-4 m/detik. Sedangkan temperatur yang kita butuhkan agar dapat beraktifitas dengan baik adalah temperatur nyaman optimal (22,8°C-25,8°C dengan kelembaban 70%) (Pomfret & Hashemi, 2017).

Desain bangunan sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim dimana bangunan tersebut berada karena salahsatu tujuan bangunan adalah membuat kondisi iklim di dalam banguan nyaman untuk penghuninya. Kondisi iklim tersebut adalah temperatur udara, kelembaban udara, temperatur radiasi dari sinar matahari dan

kecepatan udara (Rahim, 2002). Kondisi iklim didalam ruangan didesain untuk memperoleh suatu kondisi temperatur dan visual yang diinginkan oleh pengguna bangunan.

Kondisi temperatur di dalam bangunan sangat dipengaruhi oleh temperatur luar atau iklim setempat. Jika kondisi temperatur luar sangat menyimpang dari kondisi di dalam bangunan yang diinginkan, maka diperlukan usaha yang lebih besar untuk mengatasinya. Temperatur di dalam bangunan akan dapat lebih tinggi dari temperatur udara di sekitar bangunan. Demikian juga sebaliknya, temperatur di dalam bangunan akan dapat lebih rendah dari temperatur di luar bangunan. Untuk mendapatkan kondisi temperatur yang diinginkan oleh pengguna bangunan, maka dalam proses perancangan bangunan perlu mempertimbangkan faktor iklim setempat, sifat fisika bahan bangunan, serta perancangan orientasi bangunan dan sistem perlindungan terhadap radiasi matahari (Mangunwijaya, 2000).

Faktor lain dalam perancangan bangunan yang dapat mempengaruhi temperatur internal adalah orientasi. Orientasi bangunan terhadap arah angin akan mempengaruhi perletakan lubang bukaan pada dinding bangunan. Angin langsung dapat masuk dalam bangunan melalui lubang-lubang pada dinding bangunan dan mempengaruhi tempertur ruangan.

Tabel 2 Nilai Met Berbagai Aktifitas

Jenis Aktifitas	W/m ²	met
<u>Beristirahat</u>		
Tidur	40	0,7
Berbaring	45	0,8
Duduk	60	1
Berdiri	70	1,2
Berjalan (di lantai)		
0,89 m/s	115	2
1,34 m/s	150	2,6
1,79 m/s	220	3,8

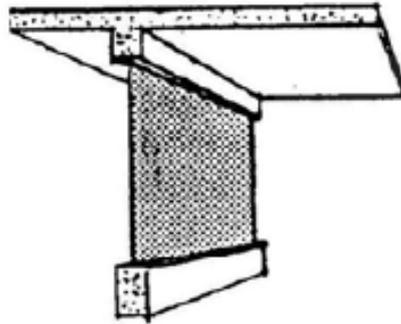
Jenis Aktifitas	W/m ²	met
Lanjutan Tabel 2.2		
	Kegiatan Kantor	
Membaca, Duduk	55	1
Menulis	60	1
Mengetik	65	1,1
Pengarsipan, Duduk	70	1,2
Pengarsipan, Berdiri	80	1,4
Jalan - Jalan	100	1,7
Mengangkat / Mengepak	120	2,1

Sumber: ASHARE-55 (2017)

A. Orientasi terhadap Matahari

Arah bangunan terhadap sinar matahari mempengaruhi tingkat radiasi matahari yang diserap bangunan. Panas yang diterima oleh bangunan berbanding lurus dengan luas bagian bangunan yang terpapar sinar matahari. Oleh karena itu, sisi bangunan terluas berorientasi ke arah Utara-Selatan untuk mengurangi paparan sinar matahari dari arah timur atau barat dan sisi bangunan yang lebih kecil, menghadap Timur-Barat yang menerima radiasi matahari langsung.

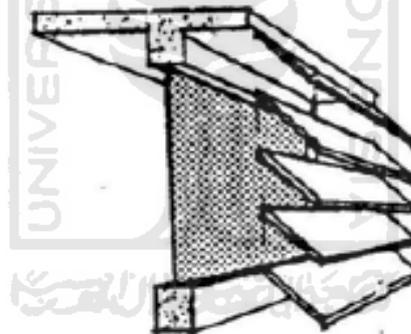
Apabila posisi bangunan dengan arah Barat atau Timur diharuskan, disarankan tidak menggunakan jendela di sisi barat atau timur bangunan karena radiasi sinar matahari yang langsung masuk ke dalam bangunan (melalui bukaan/kaca) temperatur udara di dalam. Efek menyilaukan ketika sudut matahari sedang rendah mengganggu kenyamanan penghuni. Gambar 1 Desain Jendela Cantilever (Overhang) dan Gambar 2 Desain Jendela Horizontal Louver Screen ini adalah salah satu contoh jendela pelindung terhadap radiasi matahari (*solar shading device*) untuk bidang bangunan menghadap utara atau selatan.



Sumber: Egan (1975)

Gambar 1 Desain Jendela Cantilever (Overhang)

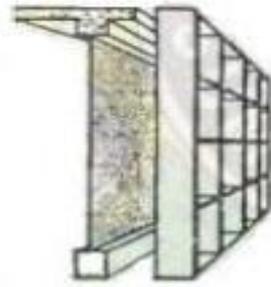
Bagian bidang bangunan yang menghadap barat atau timur dapat menggunakan desain jendela seperti pada Gambar 3 Desain Jendela Eggcrate dan Gambar 4 Desain Jendela Louver Overhang (Horizontal) untuk mengurangi efek silau karena sudut matahari yang rendah.



Sumber: Egan (1975)

Gambar 2 Desain Jendela Horizontal Louver Screen

Selain sebagai pelindung radiasi matahari, jendela juga berfungsi untuk mengurangi angin yang masuk ke bangunan seperti design jendela pada Gambar 5 Desain Jendela Panel (Awning) dan Gambar 6 Desain Jendela Vertical Louver. Efektifitas pelindung matahari dinilai dengan angka *shading coefficient* (S.C) yang menunjukkan besar energi matahari yang ditransmisikan ke dalam bangunan.



Sumber: Egan (1975)

Gambar 3 Desain Jendela Eggcrate

Angka *shadding coefficient* menunjukkan nilai sebesar 1,0 (semua panas sinar matahari dialirkan, misalnya: jendela kaca tanpa pelindung) sampai 0 (tidak ada energi matahari yang ditransmisikan). Warna bangunan mempengaruhi besaran nilai *shadding coefficient* (S.C) seperti yang ditunjukkan pada *Tabel 4 Hasil Pengurangan Panas dari Radiasi Matahari oleh Jendela*. Egan (1975) menjelaskan nilai *shadding coefficient* menurut tipe pelindung yang digunakan pada *Tabel 3 Shading Coeficient untuk Elemen Arsitektur*.

Nilai tersebut menjelaskan tipe *Egg-Crate* dan *Vertical Louver (moveable)* sangat efisien untuk digunakan untuk menghindari paparan sinar matahari, hanya 11% panas sinar matahari yang dialirkan ke dalam bangunan.

B. Orientasi terhadap Angin (Ventilasi Silang)

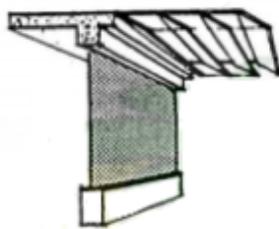
Iklim tropis memiliki kecepatan angin yang rendah. Angin dapat dialirkan ke dalam ruangan dengan ventilasi. Ventilasi digunakan untuk memasukkan udara bersih dari luar ke dalam ruangan dan menghilangkan udara kotor di dalam ruangan. Ventilasi juga berguna untuk memasukkan oksigen dan mengeluarkan CO₂ dari dalam ruangan untuk metabolisme tubuh, menghindari polusi udara akibat proses pernapasan tubuh (CO₂ dan bau) dan aktivitas di dalam bangunan. Ventilasi berperan dalam menurunkan temperature udara dan kelembaban udara (terutama di daerah tropis lembab), terutama untuk perumahan. Jumlah ventilasi tergantung jumlah pengguna ruangan dan fungsi bangunan itu sendiri (Simons *dkk.*, 2014).

Tabel 3 Shading Coefficient untuk Elemen Arsitektur

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

Sumber: Egan (1975)

Bangunan berposisi melintang dengan angin primer membutuhkan temperature udara yang rendah. Efek ventilasi silang di dalam ruangan dapat ditingkatkan dengan lubang jendela dengan berbagai jenis dan posisi untuk menghindari meningkatnya kelembapan udara dan menetapkan udara panas di dalam ruangan (Egan, 1975).



Sumber: Egan (1975)

Gambar 4 Desain Jendela Louver Overhang (Horizontal)

Menurut Mangunwijaya (2000), pergantian udara ideal apabila volume ruangan 5 m³/orang udara dapat diganti sebanyak 15 m³/orang/jam. Bila volume kecil dari 5 m³/orang maka pergantian udara adalah 25 m³/jam. Selanjutnya dilelaskan bahwa ada dua tipe ventilasi, yaitu ventilasi horisontal dan ventilasi

vertikal. Pengaruh-pengaruh buruk yang ditimbulkan bagi kesehatan manusia akibat ventilasi udara yang tidak lancar sebagai berikut ini:

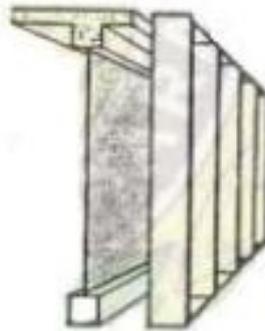
- Berkurangnya kadar oksigen di udara dalam ruangan.
- Bertambahnya kadar asam karbon dari pernafasan manusia.
- Bau pengap yang dikeluarkan oleh kulit, pakaian dan mulut manusia.
- Temperatur udara dalam ruangan naik karena panas yang dikeluarkan oleh badan manusia.
- Kelembaban ruangan bertambah karena penguapan air dari kulit dan pernafasan manusia.



Sumber: Egan (1975)

Gambar 5 Desain Jendela Panel (Awning)

Ruangan memerlukan ventilasi untuk menghindari akumulasi panas pada ruangan tersebut.. Ventilasi atap sangat berarti untuk mencapai temperatur ruangan yang rendah.



Sumber: Egan (1975)

Gambar 6 Desain Jendela Vertical Louver

C. Vegetasi

Pohon dan vegetasi berfungsi untuk melindungi bangunan atau ruangan dari radiasi matahari. Pohon dapat menurunkan temperatur udara di sekitarnya karena daun dari pohon tersebut menyerap radiasi matahari yang digunakan untuk melakukan fotosintesis. Vegetasi juga mengurangi temperatur udara pada permukaan bangunan dan lantainya.

Tabel 4 Hasil Pengurangan Panas dari Radiasi Matahari oleh Jendela

No	Jenis pembayangan: pembayang dicat pada sisi datangnya sinar	Berkurang bila dibandingkan dengan yang tidak dicat
1	Jalusi di luar menghalangi penyinaran langsung diberi warna putih, krem.	15%
2	Jalusi dari tembaga putih tipis kemiringan matahari lebih dari 40° sehingga matahari tidak masuk, diberi warna gelap	15%
3	Markis dari kanvas, sisi samping terbuka, warna gelap sedang	25%
4	Jalusi model "Venetian Blinds" di bagian dalam jendela. Kisi-kisi menghalangi penyinaran langsung. Bahan: aluminium yang memantulkan sinar secara difus.	45%
5	Penutup jendela, putih atau krem	55%

Sumber: Mangunwijaya (1988)

Penelitian Lippsmeier (2013) di Afrika Selatan pada ketinggian 1m di atas permukaan perkerasan (beton), terjadi peningkatan temperatur udara sampai 4°C jika membandingkan dengan temperatur yang memiliki ketinggian yang sama di atas permukaan rumput. Perbedaan temperatur meningkat menjadi 5°C ketika rumput mendapat perlindungan dari paparan sinar matahari. Pohon yang dimanfaatkan sebagai pelindung dari paparan sinar matahari dijelaskan dengan angka *shading coefficient* seperti Tabel 5 *Shading Coefficient untuk Elemen Lansekap*.

Tabel 5 Shading Coefficient untuk Elemen Lansekap

No	Elemen Pelindung	Shading Coefficient
Elemen Lansekap		
1	Pohon Tua (dengan efek pembayangan yang besar)	0,25-0,20
2	Pohon Muda (dengan sedikit efek pembayangan)	0,60-0,50

Sumber: Egan (1975)

Aliran udara dapat dialirkan ke dalam bangunan dengan memanfaatkan pohon dan tanaman. Letak vegetasi yang salah dapat mengurangi udara bersih dan sejuk terutama pada musim panas. Menurut Egan (1975), posisi pohon atau vegetasi dengan bangunan sangat mempengaruhi desain ventilasi bangunan. Pepohonan dapat digunakan untuk “windbreak” pada daerah yang memiliki kecepatan angin yang cukup besar selain itu mengurangi kecepatan angin sebesar lebih dari 30 % apabila jarak antara bangunan dan pohon sebesar 5 x tinggi pohon.



Sumber: Egan (1975)

Gambar 7 Jarak Pohon

Bangunan didesain agar kecepatan angin pada daerah pedestrian dan bukaan memiliki nilai kurang dari 10 mph (mil per jam). Pengujian dengan menggunakan model bangunan yang berskala untuk memprediksi kekuatan bangunan terhadap kecepatan angin seringkali harus dilakukan dengan menggunakan terowongan angin (*wind tunnels*). Di bawah ini menunjukkan bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap manusia pada Tabel 6 Kecepatan Angin.

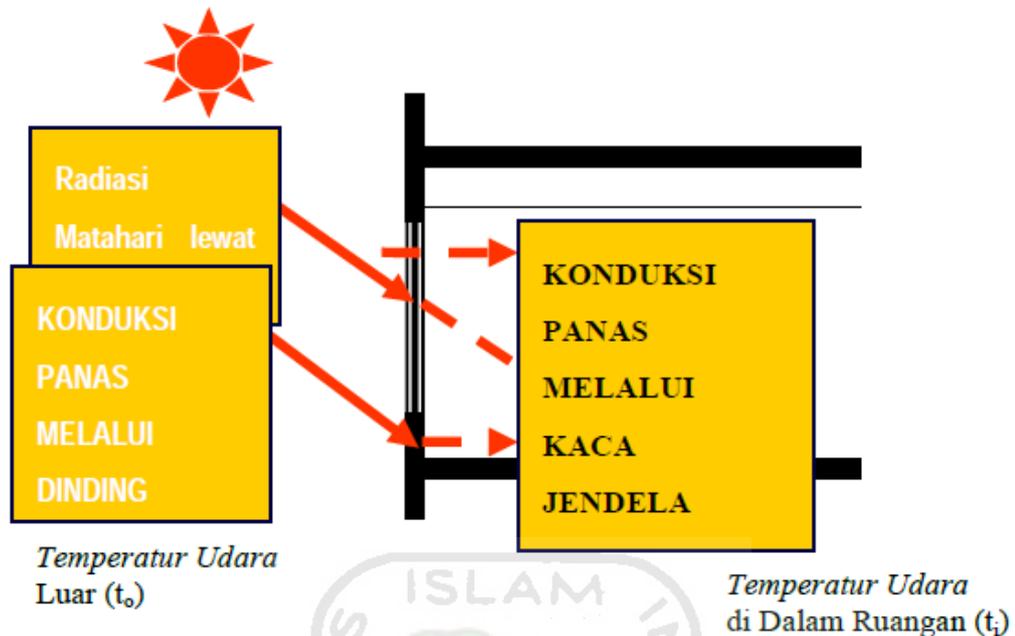
Tabel 6 Kecepatan Angin

Kecepatan Angin (dalam mph)	Pengaruhnya terhadap manusia
0-2	Tidak ada angin
2-10	Angin terasa di wajah dan rambut
10-20	Debu naik, kertas terbang, rambut dan pakaian berantakan
20-25	Kekuatan Angin terasa di tubuh
25-30	Payung susah digunakan
30-55	Susah berjalan, manusia terasa seperti didorong angin
55-100	Angin Topan/Badai, berbahaya bagi manusia dan struktur
>100	Kekuatan Angin Tornado, sangat berbahaya bagi manusia dan struktur

Sumber: Egan, 1975

D. Material/Bahan Bangunan

Panas masuk ke dalam bangunan melalui proses konduksi (lewat dinding, atap, jendela kaca) dan radiasi matahari yang ditransmisikan melalui jendela/kaca. Radiasi matahari memancarkan sinar ultra violet (6%), cahaya tampak (48%) dan sinar infra merah yang memberikan efek panas sangat besar (46%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa radiasi matahari adalah penyumbang jumlah panas terbesar yang masuk ke dalam bangunan. Besar radiasi matahari yang ditransmisikan melalui selubung bangunan dipengaruhi oleh fasade bangunan yaitu perbandingan luas kaca dan luas dinding bangunan keseluruhan (*wall to wall ratio*), jenis dan tebal kaca yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7 Shadding Coefficient untuk Berbagai Jenis Material Kaca.



Gambar 8 Proses Konduksi

Radiasi matahari pada bangunan diserap dan dipantulkan oleh dinding bangunan. Panas diserap kemudian dialirkan ke dinding bangunan yang memiliki temperatur lebih rendah. Tiap bahan bangunan memiliki angka koefisien serapan kalor yang berbeda-beda (%) yang dapat dilihat pada Tabel 8 Radiasi Matahari dan Serapan Kalor. Serapan kalo berbanding lurus dengan panas yang diteruskan ke dalam ruangan.

Warna juga berpengaruh terhadap angka serapan kalor. Warna-warna muda memiliki angka serapan kalor yang lebih sedikit dari pada warna tua. Warna putih memiliki angka serapan kalor paling sedikit (10%-15%), sebaliknya warna hitam dengan permukaan tekstur kasar dapat menyerap kalor sampai 95% seperti terlihat pada Tabel 9 Koefisien Serapan Kalor Akibat Pengaruh Warna dan Tabel 10 Selisih Serapan Kalor Sinar Matahari dengan Permukaan Cat Putih.

2.4. Analisis Kenyamanan Termal

Predicted Mean Vote (PMV) merupakan skala yang menjelaskan sensasi termal yang dirasakan penghuni ruangan terhadap lingkungan sekitarnya entah itu dingin ataupun panas. Sensai termal pada PMV terdiri dari tujuh skala, yakni -3

(sangat dingin), -2 (dingin), -1 (sejuk), 0 (netral), +1 (hangat), +2 (panas), serta +3 (sangat panas). Nilai nol adalah netralitas termal, bukan kenyamanan termal (ANSI/ASHRAE, 2017).

Tabel 7 Shadding Coefficient untuk Berbagai Jenis Material Kaca

No	Jenis Kaca			Shading
		Warna	Tebal	Coefficient
1	Kaca Bening	-	1/4 inci	0,95
	-	-	3/8 inci	0,90
2	<i>Heat Absorbing glass</i>	abu ² , <i>bronze</i> , atau <i>green tinted</i>	1/16 inci	0,75
	-	-	1/2 inci	0,50
3	<i>Relective glass</i>	<i>dark gray metallized</i>	-	0,35 s/d 0,20
	-	<i>light gray metallized</i>	-	0,60 s/d 0,35

Sumber: Egan (1975)

Kenyamanan termal dapat diukur setelah factor individu dan lingkungan telah diukur dengan menentukan nilai indeks PMV (Susanti & Aulia, 2013), yang didasarkan pada keseimbangan panas dari tubuh manusia.

Untuk menghitung nilai PMV digunakan persamaan berikut:

$$PMV = 0,303e^{-0,036M} + 0,028x[(M - W) - 3,05x10^{-3}5733 - 6,99(M - W) - Pa - 0,42(M - W) - 58,15 - 1,7x10^{-5}M(5867 - Pa) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96x10^{-8}f_{cl}\{t_{cl} + 273\}^4 - (tr + 273)^4 - f_{cl}(t_{cl} - t_a)]$$

Dimana:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155I_{cl} [3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \{t_{cl} + 273\}^4 + f_{cl} h_{cl} (t_{cl} - t_a)]$$

$$h_c = \max(2.38(t_{cl} - t_a), 0.2512 \cdot 1 \sqrt{V})$$

$$f_c = 1.0 + 0.2 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} < 0,5 \text{ clo}$$

$$1.05 + 0.1 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} > 0,5 \text{ clo}$$

Keterangan:

M: Tingkat aktivitas (W/m²)

W: Aktivitas luar (W/m²), 0 untuk sebagian besar aktivitas

f_{cl} : Rasio permukaan orang ketika berpakaian dan tidak berpakaian

t_{cl} : Temperatur permukaan pakaian (°C)

t_r : Temperatur radiasi (°C)

h_{cl} : Konvektif heat transfer dalam (W/m² K)

t_a : Temperatur udara (°C)

P_a : Kelembaban udara (Pa)

I_{cl} : Nilai insulasi pakaian (clo)

V: Kecepatan aliran udara (m/s)

Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) merupakan banyaknya orang (dalam persentase) yang tidak puas terhadap keadaan termal di lingkungan sekitar. Semakin besar presentase PPD, maka semakin banyak penghuni yang merasa tidak nyaman. Fanger (1982) ,menghubungkan nilai PMV dan PPD seperti formula berikut:

$$PPD = 100 - 95 \exp(- (10.03353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2))$$

2.5. Jam Puncak Sinar Matahari

Berdasarkan penelitian Saputro dkk (2005), intensitas radiasi sinar matahari mengalami kenaikan dari pagi hari dan mencapai puncak pada jam 14:00 WIB yang kemudian mulai mengalami penurunan setelahnya. Perubahan intensitas radiasi sinar matahari yang mempengaruhi temperatur udara dan kelembaban relatif

tersebut dapat dilihat pada Tabel 11 Hubungan Radiasi Sinar Matahari, Temperatur dan Kelembapan Relatif.

Tabel 8 Radiasi Matahari dan Serapan Kalor

Permukaan Bahan	Serapan Kalor (%)
Asbes semen baru	42-59
Asbes semen sabgat (6 tahun terpakai)	83
Kulit bitumen/aspal	86
Kulit bitumen bila dicat alumunium	40
Genteng keramik merah	62-66
Seng (baru)	64
Seng (kotor sekali)	92
Solulose cat putih	18
Solulosa cat merah	57
Solulosa cat hitam	94
Solulosa cat kelabu hitam	90

Sumber: Egan (1975)

Berdasarkan Tabel 11 Hubungan Radiasi Sinar Matahari, Temperatur dan Kelembapan Relatif dapat disimpulkan bahwa peningkatan intensitas akan diikuti dengan peningkatan temperatur. Dengan berkurangnya tingkat intensitas radiasi sinar matahari, akan menyebabkan turunnya temperatur udara dan meningkatnya kelembapan relatif.

2.3 Standar Kenyamanan Termal

Standar kenyamanan termal di daerah beriklim tropis untuk bangunan (*indoor*) dengan menggunakan penghawaan alami atau ventilasi yaitu antara 23°C-

26°C pada ASHRAE *Standard* 55-2017 tentang kondisi termal lingkungan untuk hunian manusia (ANSI/ASHRAE, 2017). Selain itu, berdasarkan BSN (2001) pada SNI 03-6572- 2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung termasuk bangunan umum seperti Gedung Mohammad Natsir FTSP UII, tingkatan temperatur udara yang nyaman untuk orang Indonesia ada tiga bagian batas kenyamanan termal yang dapat dilihat pada Tabel 12 Batas Kenyamanan Termal.

Tabel 9 Koefisien Serapan Kalor Akibat Pengaruh Warna

Permukaan	Serapan Kalor (%)
Dikapur putih (baru)	10-15
Dicat minyak (baru)	20-30
Marmer/Pualam putih	40-50
Kelabu madya	60-70
Batu bata, beton	70-75
Hitam mengkilat	80-85
Hitam kasar	90-95

Sumber: Mangunwijaya (1988)

Tabel 10 Selisih Serapan Kalor Sinar Matahari dengan Permukaan Cat Putih

Pukul (Siang Hari)	Temperatur pelat-pelat seng Pelat Biasa (°F)	Bila dicat putih (°F)	Selisih temperatur (°F)
2.4	127	106	21
2.45	134	108.5	25.5
3.5	128	107.5	21.5
4.3	114	99	15

5.25	102.5	93.5	9
6.1	89	86.5	2.5
6.35	85	84.5	0,5

Sumber: Mangunwijaya (1988)

Tabel 11 Hubungan Radiasi Sinar Matahari, Temperatur dan Kelembapan Relatif

Waktu	Rata-Rata Intensitas (lux)	Rata-Rata Temperatur (°C)	Rata-Rata Kelembapan Relatif (%)
jam 10-11	90646.00 ± 538.30	32.39 ± 1.30	41.6 ± 3.66
jam 11-12	100994.00 ± 791.70	33.94 ± 1.03	38.5 ± 7.59
jam 12-13	120234.00 ± 631.30	34.86 ± 0.70	38.6 ± 4.79
jam 13-14	123016.00 ± 635.16	35.11 ± 1.58	35.4 ± 5.91
jam 14-15	104278.00 ± 564.24	34.08 ± 1.46	38.3 ± 6.78
jam 15-16	88570 ± 554.96	32.99 ± 1.41	41.6 ± 4.99
jam 16-17	66090.4 ± 548.70	32.14 ± 1.44	44.1 ± 6.01

Sumber: Saputro (2005)

Tabel 12 Batas Kenyamanan Termal

Kondisi	Temperatur (TE)	Kelembaban/RH (%)
Sejuk Nyaman	20,5°C TE - 22,8°C TE	50%
Ambang Batas	24°C TE	80%
Nyaman Optimal	22,5°C TE - 25,8°C TE	70%
Ambang Batas	28°C TE	
Hangat Nyaman	25,8°C TE - 27,1°C TE	60%

Ambang Batas 31°C TE

Sumber: SNI 03-6572-2001.

2.6. Peneliti Terdahulu

Daftar penelitian-penelitian terdahulu yang telah di lakukan dapat dilihat pada *Tabel 13 Penelitian-Penelitian Terdahulu*.

Tabel 13 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Hasil
1	Baharu ddk. (2017)	Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Ruang Kuliah	Menginvestigasi efek kecepatan udara pada kenyamanan termal penghuni (Mahasiswa) dalam ruang kuliah di berventilasi alami	Kenyamanan termal responden di dalam ruangan dengan ventilasi alami sangat ditentukan oleh kecepatan udara. Meskipun temperatur udara 27°C bahkan mencapai 32°C, sebagian responden tetap merasa nyaman. Hal ini terjadi jika di dalam ruangan terdapat aliran udara yang mengenai responden dengan kecepatan tidak melebihi 1m/det. Setelah kecepatan aliran udara

Tabel 13 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Hasil
				melewati 1 m/det, responden mulai merasa tidak nyaman.
2	Jiang dkk. (2014)	Measuring Students Thermal Comfort and Its Impact on Learning	Mengetahui dan mengukur bagaimana dampak kenyamanan termal bias ber dampak pada kinerja belajar mahasiswa.	1) Mengubah temperatur ruangan beberapa derajat Celsius bisa ber dampak TC; (2) Proses belajar dan mengajar menjadi optimal ketika kenyamanan termal tidak terlalu tinggi atau tidak terlalu rendah (hubungan U terbalik). Namun, kami juga menemukan dampak termal kenyamanan belajar lebih kuat selama tutorial sesi ketiga (3) Keterlibatan, sebagaimana dilabeli oleh pengamat eksternal, berkorelasi dengan belajar.
3	Kotta, M Husni.	Temperatur Netral dan Retang	Mengetahui rentang temperatur nyaman	Hasil dari penelitian yang dilakukan pada 596 orang pekerja kantor

Tabel 13 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Hasil
	(2008)	Temperatur Nyaman Manusia Indonesia (Studi Kasus Penelitian pada Bangunan Kantor di Makasar	manusia Indonesia	menunjukkan merasa nyaman pada temperatur udara 24,9°C sampai 28,5°C dan 25,1°C sampai 27,9°C pada temperatur operatif.
4	Rahim (2002)	Pengaruh Orientasi Bangunan Terhadap Temperatur Ruang Rumah Sederhana Tipe 21 Perumnas BTP Makassar	Untuk mengetahui apakah orientasi bangunan memiliki pengaruh terhadap temperatur ruang pada rumah tipe 21	Hasil yang didapatkan menunjukkan orientasi bangunan sangat berpengaruh terhadap temperatur ruang dimana orientasi bangunan yang menghadap arah dari timur ke barat dengan bukaan menghadap selatan atau utara memiliki temperatur yang lebih dingin karena tidak terpapar langsung sinar matahari daripada yang menghadap kearah lain.

Tabel 13 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Hasil
5	Saputro dkk. (2005)	Studi Pengaruh Area Perkerasan Terhadap Perubahan Temperatur Udara (Studi Kasus Area Parkir Plaza Senayan, Sarinah Thamrin dan Stasiun Gambir)	Untuk mengetahui perubahan temperatur udara dan kelembapan udara di temparkir parkir perkotaan (Plaza Sarinah, Thamrin dan Stasiun Gambir)	Hasil Penelitian menunjukkan bahwa temperatur udara meningkat dari pagi dan mencapai puncaknya pada siang hari jam 14:00 WIB. Tempat parkir yang memiliki pelindung sinar matahari menunjukkan 0,33°C-0,84°C lebih rendah daripada yang tidak menggunakannya.
6	Sofyan (2002)	Studi Tingkat Kenyamanan Termal pada Ruang Pelajar dan Studio Gambar Universitas Pepabri Makasar	Tujuan dalam penelitian ini untuk mengukur tingkat kenyamanan termal di ruang kuliah dan studio gambar di Universitas Pepabri Makasar.	Kondisi termal yang dirasakan pada ruang besar, sedang, kecil pada Universitas Pepabri Makasar berada pada kondisi netral menuju hangat yang mana PMV sebesar 0,6-0,7 dengan nilai PPD berkisar 12,5%-15,3%. Nilai temperatur efektif pada kisaran hangat

Tabel 13 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Hasil
				nyaman yaitu 26°C-27.2°C. Sedangkan nilai THI berada pada kondisi sedang yaitu 26,2.
7	Wargoc ki dan Wyon (2017)	The Effects of Moderately Raised Classroom Temperatur and Classroom Ventilation Rate on the Performance of Schoolwork by Children	Mengetahui efek peningkatan temperatur udara di dalam kelas dan penggunaan ventilasi pada kinerja belajar murid	Kinerja belajar pada tes perhitungan dan Bahasa secara signifikan meningkat ketika temperatur udara dikurangi dari 25°C sampai 20°C. Ketika laju suplai udara ditingkatkan dari 5,2 sampai 9,6 L/s per orang, Kinerja mereka pada 4 tugas berhitung meningkat secara signifikan.
8	Simmons dkk. (2014)	An Assessment of Thermal Comfort in Multi Storey Office Building in Ghana.	Makalah ini bertujuan menilai termal kenyamanan di gedung perkantoran bertingkat (berventilasi alami dan mekanis) di	Temperatur rata-rata 25°C untuk Gedung perkantoran bertingkat dengan ventilasi mekanik termasuk dalam batas yang dapat diterima ASHRAE kisaran temperatur 23°C

Tabel 13 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Tujuan	Hasil
			Accra, Ibukota kota - 26°C (musim panas). Ghana menggunakan model Predicted Mean Votes (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied Persons (PPD)	Sementara itu kepuasan subjek rata-rata untuk MVB 87,5% juga berada dalam kisaran ISO 7730 of 75% dan hamper 90% dari ASHRAE dari total kepuasan subjek yang tidak demikian halnya dengan Gedung perkantoran bertingkat dengan ventilasi alami.
9	Pomfret dan Hashem i (2017)	Thermal Comfort in Zero Energy Buildings	Makalah ini bertujuan mengevaluasi kenyamanan termal di gedung-gedung nol energi domestik.	ini Peningkatan massa termal mengurangi risiko panas berlebih dan meningkatkan kenyamanan termal ruangan. Peningkatan massa termal dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam hal kenyamanan termal di gedung berenergi rendah.

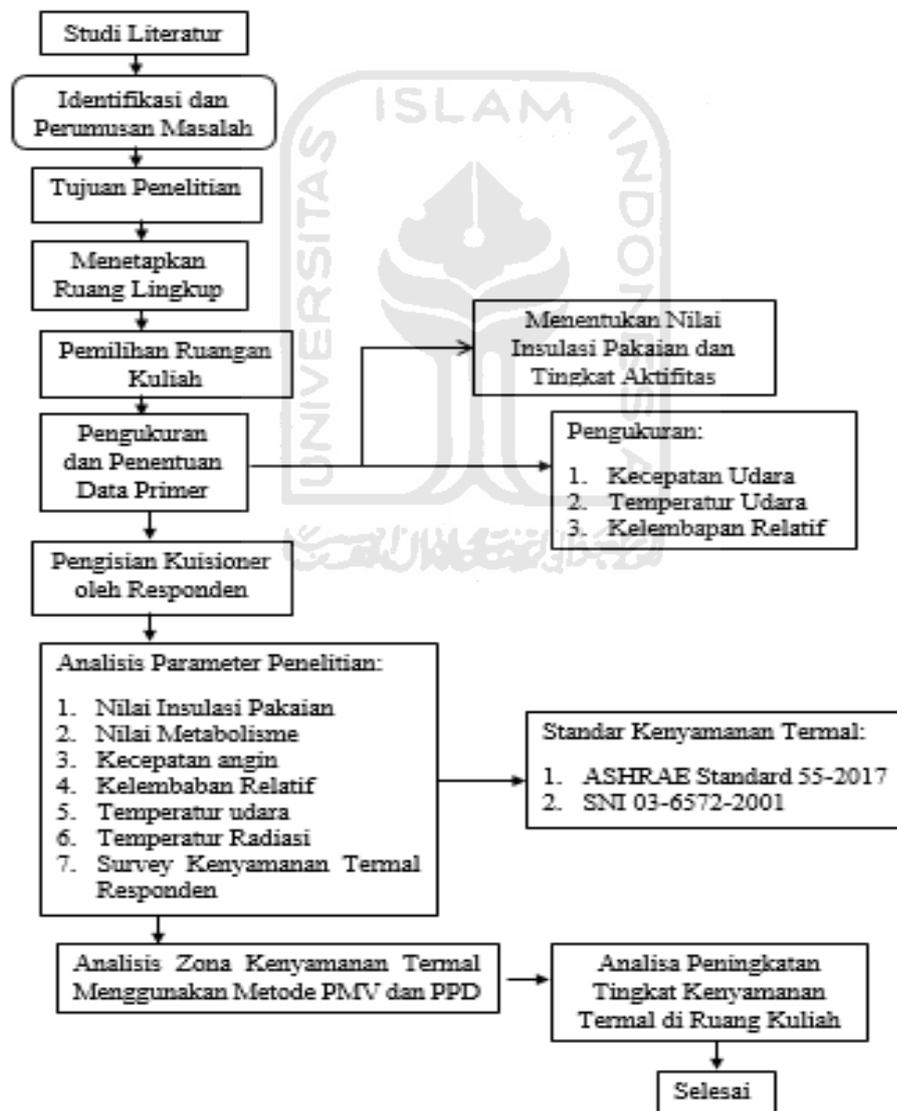




BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis data-data kenyamanan termal di ruangan kuliah Teknik Lingkungan di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 9 Alur Penelitian dibawah ini.



Gambar 9 Alur Penelitian

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Mohammad Natsir Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang beralamat Jalan Kaliurang Km 14,5, Kec. Ngemplak, Kab Sleman, Prov. Daerah Istimewa Yogyakarta, 55584 dengan titik kordinat $-7.6869, 110.4127$ yang dapat dilihat di Gambar 10 Lokasi Penelitian. Pengambilan data dimulai pada 9 Maret 2020 sampai 13 Maret 2020 pada musim hujan, dilakukan selama 5 hari pada hari Senin sampai Jumat dikarenakan hari Sabtu dan Minggu tidak ada kegiatan perkuliahan.



Gambar 10 Lokasi Penelitian

3.2. Pemilihan Ruang Kuliah

Pemilihan titik pengambilan sampel didasarkan pada luas, kapasitas mahasiswa yang dapat ditampung, alat penyejuk yang tersedia seperti kipas angin dan AC (*air conditioner*) dan lokasi ruangan kuliah berada karena mempengaruhi seberapa banyak paparan sinar matahari didapatkan. Keempat faktor tersebut menjadi dasar pemilihan ruangan kuliah yang akan dijadikan titik pengambilan ruangan kuliah dalam penelitian ini. Detail keempat faktor yang telah disebutkan dapat dilihat pada Tabel 14 Kondisi Eksisting Ruang Kuliah Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII di bawah ini.

Tabel 14 Kondisi Eksisting Ruangan Kuliah Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Lantai	Ruangan Kuliah	Luas (m ²)	Blok	Jumlah Kursi	Ventilasi	AC	Kipas Sirkulasi	Kipas Angin
	II/3	108	B	90	11	-	-	3
	II/5	108	B	50	5	-	-	3
2	II/8	94,5	D	35	5	-	-	2
	VIP/JTL	54	B	35	2	2	-	2
	Sidang/JTL	54	C	41	6	1	-	-
	III/6	54	B	44	3	-	-	3
	III/7	72	B	55	2	-	-	3
3	III/8	72	B	52	2	-	-	3
	III/9	54	B	44	6	-	2	-
	III/14	54	A	50	2	-	4	2

Sumber: Tim Redesain Unit VII-FTSP UII, 2001.

Gedung Mohammad Natsir FTSP UII di desain menghadap ke 4 arah mata angin dimana Blok B menghadap utara, Blok A menghadap Barat, Blok C menghadap timur dan Blok D menghadap selatan. Ruangan kuliah di Blok C dan ruangan kuliah Blok B dan D yang berada di bagian timur yang terkena langsung paparan sinar matahari terbit. Sedangkan saat matahari mulai terbenam ruangan kuliah yang terpapar langsung sinar matahari adalah ruangan kuliah di Blok A dan ruangan kuliah di Blok B dan D yang berada di bagian barat. Lokasi tiap ruangan kuliah dapat dilihat pada Gambar 11 Lantai 2 Gedung Muhammad Natsir FTSP UII dan Gambar 12 Lantai 3 Gedung Muhammad Natsir FTSP UII.

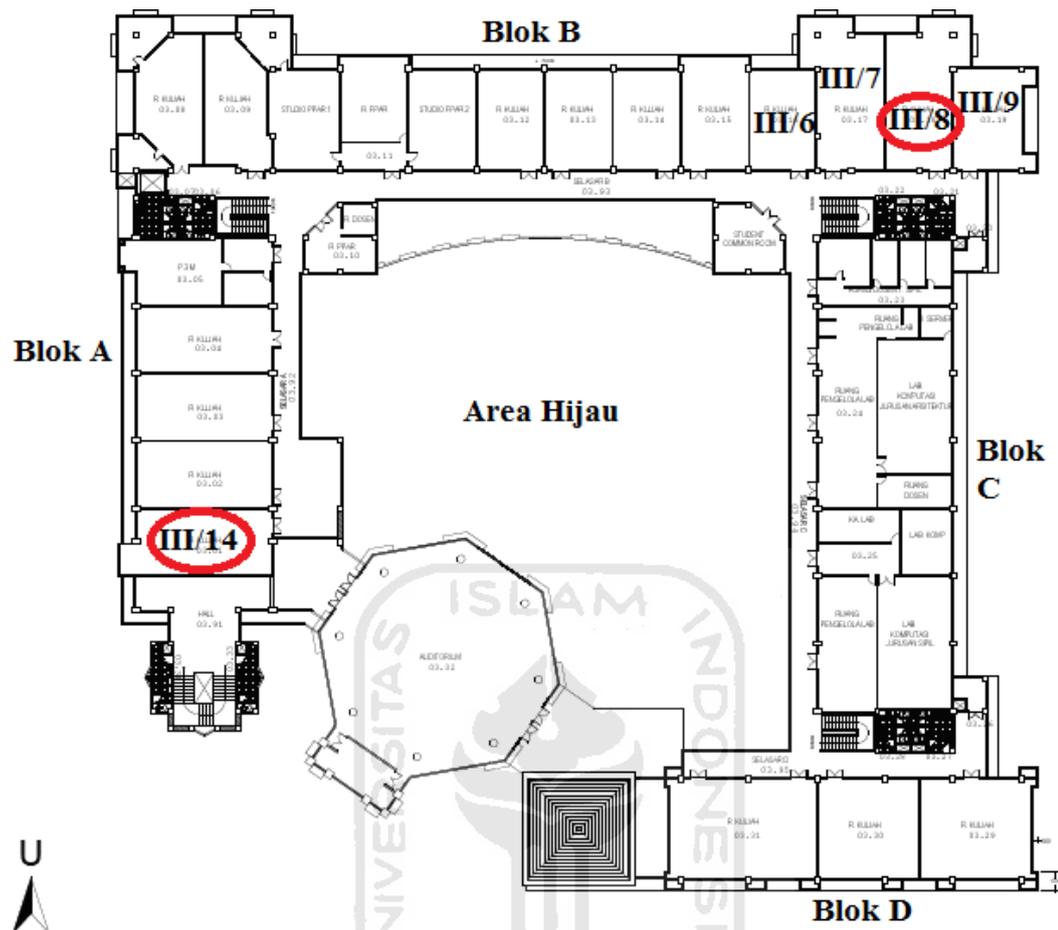
- c. VIP berada di bagian timur blok B di lantai 2, memiliki luas dan jumlah kursi yang tergolong sedang dibandingkan ruangan kuliah yang lain. Memiliki 2 air conditioner yang tidak selalu digunakan dan jumlah kipas angin dan ventilasi yang sedikit.
- d. Ruang III/8 berada bagian timur Blok B lantai 3 sehingga terpapar langsung sinar matahari terbit, memiliki luas ruangan dan jumlah kursi yang sedang dibandingkan ruangan kuliah yang lain dan memiliki jumlah ventilasi yang sedikit.
- e. Ruang III/14 berada di bagian Blok A lantai 3 sehingga terpapar langsung sinar matahari saat mulai terbenam, memiliki luas ruangan lebih kecil dibandingkan ruangan kuliah yang lain dan menggunakan banyak alat penyejuk berupa kipas angin dibandingkan ruang kuliah lain.

Kelima ruangan kuliah tersebut diharapkan dapat mewakili keseluruhan kondisi kenyamanan termal ruangan kuliah yang digunakan Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII.

3.3. Metode Pengumpulan Data

Data Penelitian didapatkan melalui pengukuran, pengamatan dan pemberian kuisisioner parameter terkait pada tiap ruangan kuliah di pagi dan hari. Parameter tersebut antara lain dapat dilihat pada Tabel 15 Metode Pengukuran Data Primer.

Dikarenakan perubahan temperatur sepanjang hari disaat proses belajar dan mengajar terjadi serta menyesuaikan dengan jadwal perkuliahan sehingga tahapan pengumpulan data di ruangan kuliah dilaksanakan pada 2 waktu, yaitu pukul 09.30-10.30 WIB yang mewakili pagi hari dan 13.30-14.30 WIB yang mewakili siang hari. Diharapkan 2 waktu tahapan pengumpulan data tersebut mewakili keseluruhan kondisi kenyamanan termal proses belajar dan mengajar yang terjadi di ruangan kuliah.

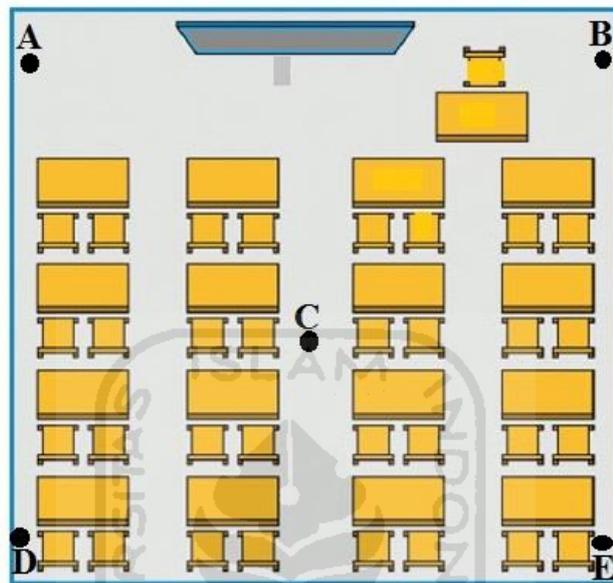


Sumber: Tim Redesain Unit VII-FTSP UII, 2001

Gambar 12 Lantai 3 Gedung Muhammad Natsir FTSP UII

Pengukuran data primer dilakukan setelah 15 menit responden memasuki ruangan kuliah. Ruangan kuliah dikondisikan dengan jendela terbuka, kipas angin dengan kecepatan maksimal dan tidak menggunakan AC (*air conditioner*) dalam waktu 15 menit dengan responden didalamnya. 15 menit merupakan waktu minimal yang diperlukan untuk melakukan pengukuran berdasarkan ASHRAE *Standart 55-2017*. Pengukuran data primer kenyamanan termal dilakukan dalam rentang waktu 2 menit dan alat ukur anemometer diletakkan pada 1,1 meter dari lantai di setiap 5 titik per ruangan kuliah sesuai dengan standar ASHRAE- *Standart 55-2017* yang dapat dilihat pada Gambar 13 Titik Pengambilan Tiap Ruangan Kuliah. Pada saat yang sama, para responden diberikan kuisioner untuk mengetahui kepuasan mahasiswa terhadap kondisi kenyamanan termal di ruangan kuliah tersebut.

Responden yang diberikan kuisioner adalah semua mahasiswa yang menghadiri perkuliahan pada waktu pengukuran tersebut. Hal ini dilakukan agar mendapatkan data keseluruhan kondisi kenyamanan termal yang diinginkan dikarenakan luas ruangan kuliah yang berbeda-beda.



*Keterangan:

- A. Titik Pengambilan Depan Kiri
- B. Titik Pengambilan Depan Kanan
- C. Titik Pengambilan Tengah
- D. Titik Pengambilan Belakang Kiri
- E. Titik Pengambilan Belakang Kanan

Gambar 13 Titik Pengambilan Tiap Ruang Kuliah

Alat yang digunakan untuk mengukur data-data Primer kenyamanan termal yang diperlukan untuk penelitian ini adalah anemometer digital lutron LM-8000A yang dapat dilihat pada Gambar 14 Anemometer Digital Lutron LM-8000A.

3.4. Data Primer Penelitian

Data primer merupakan data yang didapatkan dari observasi lapangan melalui pengukuran secara langsung dari masing-masing parameter yang terkait pada setiap ruangan kuliah yang dijadikan objek penelitian. Parameter tersebut

antara lain, temperatur udara, temperatur radian, kelembapan relatif, kecepatan udara, insulasi pakaian, nilai metabolisme, dan survey kenyamanan termal.

3.4.1. Temperatur Udara

Data temperatur udara disekitar Gedung Mohammad Natsir FTSP UII diperlukan sebagai perbandingan antara temperatur udara lingkungan sekitar dengan di dalam Gedung pada tanggal yang disesuaikan dengan waktu pengukuran sampel. Data tersebut diperoleh dari BMKG Stasiun Klimatologi Mlati Yogyakarta.

Tabel 15 Metode Pengukuran Data Primer

Objek Penelitian	Parameter	Metode	Alat	Standar
Aspek Kenyamanan Termal	Temperatur Udara	Pengukuran		
	Kelembapan Udara	Pengukuran		
	Kecepatan Udara	Pengukuran	Anemometer	
	Temperatur Radiasi	Pengukuran		SNI 03-6572-2001
	Insulasi pakaian	Pengamatan		
	Aktivitas Mahasiswa (Metabolisme)	Pengamatan		
	Respon Kenyamanan Termal Responden	Pembagian Kuisisioner	Kuisisioner	ASHRAE Standart 55-2017

Temperatur udara di dalam ruangan yang nyaman untuk daerah tropis berdasarkan ASHRAE *Standart* 55-2017 sebesar 23°C~26°C, sedangkan berdasarkan SNI 03-6572-2001 dibagi menjadi:

1. Sejuk Nyaman, antara temperatur efektif 20,5°C~22,8°C.

2. Nyaman optimal, antara temperatur efektif $22,8^{\circ}\text{C}\sim 25,8^{\circ}\text{C}$.
3. Hangat nyaman, antara temperatur efektif $25,8^{\circ}\text{C}\sim 27,1^{\circ}\text{C}$.

3.4.2. Temperatur Radiasi

Data temperatur radiasi didapatkan dengan menggunakan perhitungan di excel berdasarkan data temperatur udara dan *table humidity*. Hal ini dikarenakan alat yang digunakan untuk mengukur data temperatur radiasi adalah solar power atau globe thermometer yang sulit untuk ditemukan karena kelangkaan alat. Menurut SNI 03-6572-2001, temperatur radiasi rata-rata berbanding lurus dengan temperatur udara di dalam ruangan agar tercapai kondisi kenyamanan termal yang optimal.

3.4.3. Insulasi Pakaian

Total Nilai insulasi pakaian berdasarkan ASHRAE *Standart 55-2017* yang termasuk dalam batas nyaman tidak lebih dari 0,5 clo. Nilai tersebut ditentukan berdasarkan kombinasi setiap jenis pakaian yang digunakan mahasiswa atau mahasiswi yang memiliki nilai insulasi per pakaian (clo) terbesar baik itu wanita atau pria. Pemilihan kombinasi setiap jenis pakaian wanita dan pria berdasarkan asumsi peneliti dalam melihat keseharian pakaian yang umumnya digunakan oleh mahasiswa dan mahasiswi saat mengikuti perkuliahan. Nilai insulasi per pakaian dan jenis-jenis pakaian tersebut berdasarkan SNI 03-6572-2001 dan ASHRAE *Standart 55-2017* yang dapat dilihat pada Tabel 1 Nilai Insulasi Pakaian dan Tabel 16 Insulasi Pakaian Berdasarkan ASHRAE *Standart 55-2017*.

3.4.4. Kelembapan Relatif

Menurut SNI 03-6572-2001, Untuk daerah tropis, kelembapan relatif di dalam ruangan yang disarankan sekitar 40% - 50%, tetapi untuk ruangan berpenghuni banyak seperti ruangan perkuliahan, kelembapan relatif yang disarankan berkisar antara 55%-60%. Sedangkan menurut ASHRAE *Standart 55-2017*, kelembapan relatif yang baik untuk kesehatan dan kenyamanan manusia berkisar 30% - 70%.

3.4.5. Aktivitas Mahasiswa (Metabolisme)

Data metabolisme didapatkan melalui metode pengamatan secara langsung rata-rata aktivitas mahasiswa atau mahasiswi di dalam ruangan kuliah dalam rentang 1 jam terakhir untuk mengukur tingkat metabolisme dan dibandingkan dengan 2 standar yang digunakan, dimana nilai MET dapat dilihat pada Tabel 2 Nilai Met Berbagai Aktifitas.

3.4.6. Kecepatan Udara

Kondisi kenyamanan termal yang nyaman berdasarkan SNI 03-6572-2001 dan ASHRAE *Standart* 55-2007 yang sama-sama menyatakan bahwa kecepatan udara di dalam ruangan sekitar 0,15 m/detik - 0,25 m/detik.

3.4.7. Survey Kenyamanan Termal

Data tingkat kepuasan mahasiswa atau mahasiswi terhadap kondisi kenyamanan termal di ruangan kuliah didapatkan melalui kuisisioner penelitian kenyamanan termal. Kuisisioner yang digunakan adalah kuisisioner tertutup dengan skala bertingkat yang terdiri dari 5 pertanyaan mengenai kenyamanan termal di ruangan kuliah berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017 yang mengandung bobot di tiap pertanyaannya dengan nilai 1 pada tiap jawaban yang terdiri dari AD (Agak Dingin), N (Netral), AP (Agak Panas), P (Panas) dan SP (Sangat Panas). Pertanyaan dan jawaban pada kuisisioner kenyamanan termal dapat dilihat pada

Lampiran 1 Kuisisioner Penelitian Kenyamanan Termal Ruang Kuliah di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII. Kuisisioner dibagikan kepada mahasiswa atau mahasiswi sebagai responden pada waktu pagi dan siang hari. Jumlah populasi mahasiswa di tiap pemberian kuisisioner pada setiap ruangan kuliah yang dijadikan objek penelitian tidak diketahui dan tidak dapat dipastikan jumlah tetapnya dikarenakan hal sebagai berikut:

1. Jumlah mahasiswa pengambil mata kuliah yang menggunakan ruangan yang dijadikan objek penelitian berbeda-beda.
2. Jumlah mahasiswa yang menghadiri mata kuliah di tiap ruangan yang dijadikan objek penelitian berbeda-beda.

Berdasarkan hal tersebut dan guna mendapatkan data tingkat kepuasan kenyamanan termal secara keseluruhan maka survey dilakukan kepada semua mahasiswa yang mengikuti perkuliahan di tiap ruangan kuliah pada 2 waktu pengambilan data. Jumlah populasi dapat ditentukan saat melakukan pengukuran dan survey. Berdasarkan standar yang telah disebutkan menjelaskan bahwa kondisi ruangan dapat dikatakan nyaman jika jumlah responden yang diukur menyatakan nyaman secara termal sebesar tidak kurang dari 80%.

3.5. Data Sekunder Penelitian

Data sekunder sebagai penunjang penelitian ini antara lain Gambar *As Built Drawing* Gedung Mohammad Natsir FTSP UII, data perhitungan hasil Analisa pengukuran dari setiap parameter dimana perhitungannya menggunakan metode PMV dan PPD, serta beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian.



Gambar 14 Anemometer Digital Lutron LM-8000A

3.6. Analisis data

Penelitian ini menggunakan standar ASHRAE *Standart* 55-2017 dan SNI 03-6572-2001. Data yang dianalisis adalah data faktor lingkungan (kecepatan angin, temperatur udara, temperatur radian, kelembapan) dan faktor individu (Insulasi Pakaian, Metabolisme) kenyamanan termal yang direpresentasikan dalam tabel dan grafik agar mudah dipahami. Data-data yang dihasilkan akan digunakan sebagai dasar dalam rekayasa peningkatan termal.

Tabel 16 Insulasi Pakaian Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017

Garment Description ^a	I_{clw} , clo	Garment Description ^a	I_{clw} , clo
Underwear		Dress and Skirts ^b	
Bra	0.01	Skirt (thin) mm	0.14
Panties	0.03	Skirt (thick)	0.23
Men's briefs	0.04	Sleeveless, scoop neck (thin)	0.23
T-shirt	0.08	Sleeveless, scoop neck (thick), i.e., jumper	0.27
Half slip	0.14	Short-sleeve shirtdress (thin)	0.29
Long underwear bottoms	0.15	Long-sleeve shirtdress (thin)	0.33
Full slip	0.16	Long-sleeve shirtdress (thick)	0.47
Long underwear top	0.20	Sweaters	
Footwear		Sleeveless vest (thin)	0.13
Ankle-length athletic socks	0.02	Sleeveless vest (thick)	0.22
Panty hose/stockings	0.02	Long-sleeve (thin)	0.25
Sandals/thongs	0.02	Long-sleeve (thick)	

		0.36
Shoes	0.02	Suit Jackets and Vests ^c
Slippers (quilted, pile lined)	0.03	Sleeveless vest (thin)
Calf-length socks	0.03	Sleeveless vest (thick)
Knee socks (thick)	0.06	Single-breasted (thin)
Boots	0.10	Single-breasted (thick)
		Double-breasted (thin)
Shirts and Blouses		Double-breasted (thick)
Sleeveless/scoop-neck blouse	0.12	
Short-sleeve knit sport shirt	0.17	Sleepwear and Robes Sleeveless
Short-sleeve dress shirt	0.19	short gown (thin) Sleeveless
Long-sleeve dress shirt	0.25	long gown (thin) Short-sleeve
Long-sleeve flannel shirt	0.34	hospital gown Short-sleeve
Long-sleeve sweatshirt	0.34	short robe (thin) Short-sleeve
		pajamas (thin)
Trousers and Coveralls		Long-sleeve long gown (thick) Long-sleeve short wrap robe (thick) Long-sleeve pajamas (thick)
Short shorts	0.06	Long-sleeve long wrap robe (thick)
Walking shorts	0.08	
Straight trousers (thin)	0.15	
Straight trousers (thick)	0.24	
Sweatpants	0.28	
Overalls	0.30	
Coveralls	0.49	

a. "*Thin*" mengacu pada pakaian yang terbuat dari kain tipis dan ringan yang sering dikenakan di musim panas; "*thick*" mengacu pada pakaian yang terbuat dari bahan tebal dan tebal yang sering dipakai di musim dingin.

b. Gaun dan rok selutut.

c. Rompi berjajar.

3.6.1. Analisis Survey Kenyamanan Termal

Data-data kuisisioner yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak (software) Microsoft Excel. Perangkat lunak tersebut digunakan untuk mengelompokkan data yang didapatkan berdasarkan setiap ruangan kuliah dipagi dan siang hari yang kemudian dianalisis dengan rumus

respon kenyamanan termal (RKT) responden dibawah ini. Persentase respon kenyamanan termal per kelas di 5 hari pengukuran dirata-rata yang kemudian dibandingkan dengan nilai PPD yang dihasilkan.

$$RKT = \left(\frac{\text{Total AD1} + \text{Total AD2} + \text{Total AD3} + \text{Total AD4} + \text{Total AD5}}{5 \times \text{Jumlah Siswa}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

Total AD1: Total jawaban agak dingin pertanyaan 1

Total AD2: Total jawaban agak dingin pertanyaan 2

Total AD3: Total jawaban agak dingin pertanyaan 3

Total AD4: Total jawaban agak dingin pertanyaan 4

Total AD5: Total jawaban agak dingin pertanyaan 5

Rumus respon kenyamanan termal (RKT) digunakan untuk menghitung persentase total jawaban kuisioner agak dingin, dingin, netral, agak panas dan panas per hari di tiap ruangan kuliah yang dijadikan objek penelitian. Hasil perhitungan diratakan sehingga didapatkan persentase rata-rata 5 hari penelitian pada tiap 5 jawaban per ruangan kuliah. Berdasarkan ANSI/ASHRAE (2017) suatu ruangan dapat dikatakan nyaman jika total persentase jawaban kuisioner agak dingin (AD), netral (N) dan agak panas (AP) dijumlahkan menunjukkan sebesar 80% atau lebih. Dari jumlah survey yang didapatkan per kelas per harinya didapatkan jumlah mahasiswa yang mengikuti perkuliahan saat pengukuran dilakukan.

3.6.2. Analisis Data Temperatur Radian

Untuk menghitung temperatur radian dapat menggunakan persamaan berikut::

$$\text{Temperatur Radian} = (0.7 \times T_{bp}) + (0,3 \times (1,36 \times T) - 2.358)$$

Keterangan:

T_{bp} : Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)

T: Temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$)

Perhitungan dilakukan menggunakan data temperatur udara dan table humidity yang rumusnya telah dimasukkan ke dalam Microsoft Excel. Nilai temperatur radian diperlukan untuk mendapatkan nilai PMV.

3.6.3. Analisis Data Nilai Insulasi Pakaian

Insulasi Pakaian menggunakan satuan Clo dengan batas nyamannya sekitar $n \leq 0,5$ Clo. Total nilai Clo didapatkan dengan menjumlahkan setiap jenis pakaian yang digunakan yang ditunjukkan pada Tabel 1 Nilai Insulasi Pakaian Berdasarkan SNI 03-6572-2001 dan Tabel 16 Insulasi Pakaian Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017. Berikut adalah rumus total nilai Clo:

Pada pria:

$$\text{Total Nilai Clo} = 0,727 (\text{Nilai Clo setiap jenis pakaian}) + 0,113$$

Pada wanita:

$$\text{Total Nilai Clo} = 0,770 (\text{Nilai Clo setiap jenis pakaian}) + 0,050$$

Nilai yang diambil merupakan total nilai clo tertinggi dari setiap pakaian pria dan wanita, kemudian dimasukkan ke dalam Microsoft Excel yang telah memiliki program *PMV Calculator V2*. Nilai Clo diperlukan untuk menghitung nilai PMV dan PPD.

3.6.4. Analisis Data Nilai PMV dan PPD

Seluruh data hasil pengukuran kelembapan relatif, temperatur radiasi, kecepatan udara, temperatur udara, metabolisme dan insulasi pakaian dihitung dengan persamaan PMV yang rumusnya sebagai berikut:

$$\text{PMV} = 0,303e^{-0,036M} + 0,028x[(M-W) - 3,05x10^{-3}5733 - 6,99(M-W) - Pa - 0,42(M-W) - 58,15 - 1,7x10^{-5}M(5867 - Pa) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96x10^{-8}f_{cl}\{t_{cl} + 273\}^4 - (tr + 273)^4 - f_{cl}(t_{cl} - t_a)]$$

Dimana:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M-W) - 0,155I_{cl}[3,96x10^{-8}f_{cl}\{t_{cl} + 273\}^4[(t_r + 273)^4] + f_{cl}h_{cl}(t_{cl} - t_a)]$$

$$hc = \max(2.38(t_{cl} - t_a)0.2512.1\sqrt{V})$$

$$fc = 1.0 + 0.2 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} < 0,5 \text{ clo}$$

$$1.05 + 0.1 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} > 0,5 \text{ clo}$$

Keterangan:

- M: Tingkat aktivitas (W/m^2)
 W: Aktivitas luar (W/m^2), 0 untuk sebagian besar aktivitas
 f_{cl} : Rasio permukaan orang ketika berpakaian dan tidak berpakaian
 t_{cl} : Temperatur permukaan pakaian ($^{\circ}C$)
 t_r : Temperatur radiasi ($^{\circ}C$)
 h_{cl} : Konvektif heat transfer dalam ($W/m^2 K$)
 t_a : Temperatur udara ($^{\circ}C$)
 P_a : Kelembaban udara (Pa)
 I_{cl} : Nilai insulasi pakaian (clo)
 V: Kecepatan aliran udara (m/s)

Sedangkan nilai PPD dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PPD = 100 - 95 \exp(- (10.03353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2))$$

Untuk menghindari kesalahan perhitungan dikarenakan rumitnya perhitungan nilai PMV dan PPD jika dilakukan secara manual, sehingga perhitungan nilai PMV dan PPD dilakukan dengan menggunakan program computer *PMV Calculator V2* Modified by Håkan Nilsson Departement of Technology and Built Environment Laboratory of Ventilation and Air Quality University of Gavle. Data yang telah diukur dimasukkan ke *software Microsoft Excel* yang memiliki formula persamaan PMV dan PPD. Nilai PMV yang dianjurkan ASHRAE Standard 55-2017 adalah antara -1 (*slightly cool*) dan +1 (*slightly warm*) Nilai PPD yang didapat dari PMV Calculator V2 kemudian dibandingkan dengan Nilai hasil rekapitulasi kuisioner.

3.6.5. Analisis Peningkatan Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah

Untuk meningkatkan kenyamanan termal ruangan kuliah pada Gedung Mohammad Natsir, diperlukan rekayasa kenyamanan termal. Penambahan

kecepatan udara untuk menurunkan temperatur udara sehingga meningkatkan kenyamanan termal di dalam ruangan kuliah merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan. Penambahan kecepatan udara tersebut dapat dilakukan dengan pembukaan penuh atau penambahan ventilasi dan penambahan kipas angin sehingga kecepatan udara di dalam ruangan kuliah dapat diatur, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 17 Kecepatan Angin dan Pengaruh terhadap Kenyamanan termal.

Penyesuaian temperatur udara agar ruangan kuliah memiliki temperatur optimal yang nyaman sehingga meningkatkan kenyamanan termal, dengan mengganti cat ruangan kuliah menjadi warna putih yang dapat menurunkan temperatur udara sebanyak 2°C. Penambahan AC (*air conditioner*) juga dapat secara langsung mengatur temperatur udara.

Peningkatan kenyamanan termal dapat dilakukan dengan mengurangi serapan kalor pada bangunan. Metode-metode untuk peningkatan kenyamanan termal tersebut dapat dilihat pada Sub bab 2.3 Peningkatan Kenyamanan termal.

Tabel 17 Kecepatan Angin dan Pengaruh terhadap Kenyamanan termal

Kecepatan Angin Bergerak	Pengaruh Atas Kenyamanan	Efek Penyejukan (Pada Temperatur 30°C)
< 0.25 m/detik	Tidak dapat dirasakan	0 °C
0.25 - 0.5 m/detik	Paling nyaman	0.5 - 0.7 °C
0.5 - 1 m/detik	Masih nyaman, tetapi gerakan udara dapat dirasakan	1.0 - 1.2 °C
1 - 1.5 m/detik	Kecepatan maksimal	1.7 - 2.2 °C
1.5 - 2 m/detik	Kurang nyaman, berangin	2.0 - 3.3 °C
> 2 m/detik	Kesehatan penghuni terpengaruh oleh kecepatan angin yang tinggi	2.3 - 4.2 °C

Sumber: Frick (20



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Penelitian

Gedung Mohammad Natsir FTSP UII yang berada di ketinggian 335 m dari permukaan laut dengan luas sebesar 5850 m² memiliki 4 lantai dan 1 basement yang memiliki 41 ruangan kuliah dengan kapasitas 35-90 kursi tergantung luas ruangan. Lantai basement digunakan sebagai ruangan labotarium, kantin dan kantor administrasi, Lantai 1 sebagai ruangan kuliah, musholla, aula, perpustakaan, Jurusan Teknik Sipil dan Jurusan Arsitektur. Lantai 2 sebagai ruangan kuliah, aula, kantor FTSP dan Jurusan Teknik Lingkungan. Lantai 3 sebagai ruangan kuliah, labotarium dan Ruang Auditorium. Lantai 4 sebagai ruangan kuliah, studio, labotarium dan aula.

Penelitian ini hanya berfokus pada kenyamanan termal ruangan kuliah yang digunakan Jurusan Teknik Lingkungan (TL. Jurusan TL menggunakan 5 ruangan kuliah di lantai 2 dan 5 ruangan kuliah di lantai 3 yang letak ruangnya dapat dilihat pada Gambar 11 Lantai 2 Gedung Muhammad Natsir FTSP UII dan Gambar 12 Lantai 3 Gedung Muhammad Natsir FTSP UII. Pemilihan ruangan kuliah sebagai objek penelitian berdasarkan Blok dan lantai letak ruangan kuliah berada, luas ruangan, kapasitas kursi, ventilasi dan fasilitas pendingin yang berbeda tiap ruangnya sehingga dapat mewakili kondisi kenyamanan termal ruangan kuliah Jurusan Teknik lingkungan yang perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 14 Kondisi Eksisting Ruang Kuliah Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII. Berdasarkan pertimbangan tersebut dipilih Ruang II/3, II/8, VIP, III/8 dan III/14 sebagai objek penelitian. Kondisi eksisting ruangan yang dapat dilihat pada Tabel 18 Kondisi Eksisting Ruang Kuliah (Objek Penelitian) berupa luas, letak blok, kapasitas, ventilasi dan fasilitas pendingin ruangan sangat mempengaruhi kenyamanan termal ruang yang dijelaskan pada subbab selanjutnya.

Analisis kenyamanan termal pada penelitian ini dilakukan secara fisik untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal di ruangan kuliah secara objektif dengan metode *Predicted Percentage Dissatisfied* dan *Predicted Mean Vote* berdasarkan ASHRAE *Standart 55-2017* tentang kondisi lingkungan termal untuk hunian manusia dan SNI 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan system ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung dan secara psikis untuk mengetahui sensasi termal yang mahasiswa rasakan secara subjektif dengan survey tingkat kepuasan kenyamanan termal pengguna. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah temperatur udara, temperatur radiasi, kelembapan relatif, kecepatan udara, insulasi pakaian, metabolisme (aktivitas mahasiswa) menggunakan anemometer digital lutron LM-8000A dan tingkat kepuasan mahasiswa terhadap kenyamanan termal ruangan kuliah yang didapatkan melalui kuisisioner. Pengukuran kenyamanan termal dan pemberian kuisisioner dilakukan pada tanggal 9 – 13 Maret 2020 yang menyesuaikan dengan jadwal perkuliahan yaitu dari Senin sampai Jumat.

Tabel 18 Kondisi Eksisting Ruangan Kuliah (Objek Penelitian)

Lantai	Ruang Kelas	Luas (m ²)	Blok	Jumlah Kursi	Ventilasi	AC	Kipas Sirkulasi	Kipas Angin
2	II/3	108	B	90	11	-	-	3
	II/8	94,5	D	35	5	-	-	2
	VIP/JTL	54	B	35	2	2	-	2
3	III/8	72	B	52	2	-	-	3
	III/14	54	A	50	2	-	4	2

Seluruh mahasiswa yang hadir di ruangan kuliah saat pengukuran menjadi responden, hal ini bertujuan untuk mendapatkan data kepuasan kenyamanan termal yang lebih akurat. Responden yang mengikuti mengisi kuisisioner berjumlah 1042.

4.2. Analisis Parameter Kenyamanan Termal

Data kondisi kenyamanan termal *outdoor* di sekitar Universitas Islam Indonesia berdasarkan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

Stasiun Mlati pada tanggal 9 - 13 Maret 2020 sesuai dengan waktu pengukuran. Tanggal 9 Maret 2020 merupakan hari terdingin dan tanggal 11 Maret 2020 merupakan hari terpanas berdasarkan pengukuran temperatur udara rata-rata yang dilakukan oleh Stasiun Mlati BMKG yang dapat dilihat pada Tabel 19 Data Kondisi Kenyamanan Termal Outdoor di Sekitar UII.

Data kelembapan relatif rata-rata berkisar antara 84%-90%. Kelembapan relatif tersebut terbilang tinggi dikarenakan musim hujan pada bulan Maret berdasarkan BMKG (2020) sehingga meningkatkan kelembapan relatif di dalam ruangan terutama saat cuaca mendung dan hujan terjadi. Hal ini sesuai dengan temuan Sipayung (2012) yang menyebutkan cuaca mendung dan hujan berpotensi meningkatkan konsentrasi uap air di udara. Kondisi kenyamanan termal ambien di sekitar Kampus FTSP sangat mempengaruhi kondisi kenyamanan termal indoor di ruangan kuliah, yang dijelaskan pada subbab selanjutnya.

Berdasarkan hasil pengukuran yang dapat dilihat pada Lampiran 2 Hasil Pengukuran Pagi Hari (09:30-10:30) dan Lampiran 3 Hasil Pengukuran Siang Hari (13:30-14:30), hujan yang terjadi pada 12 Maret 2020 saat melakukan pengukuran pagi dan siang hari, membuat temperatur udara ruangan menjadi lebih dingin dibandingkan hari lainnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Gunawan (2019) dimana terjadinya hujan dapat berpotensi menurunkan temperatur udara ruangan dikarenakan awan hujan cenderung menutupi sinar matahari.

Pada 11 Maret 2020 ke lima ruangan kuliah memiliki temperatur udara yang besar dibandingkan dengan hari pengukuran yang lain, hal ini sesuai dengan data kondisi kenyamanan termal *outdoor* BMKG pada Tabel 19 Data Kondisi Kenyamanan Termal Outdoor di Sekitar UII yang menunjukkan bahwa 11 Maret 2020 memiliki temperatur udara rata-rata terbesar dibandingkan hari pengukuran lainnya. Jika data kenyamanan termal outdoor di sekitar UII tanggal 9 – 13 Maret dibandingkan dengan data rata-rata bulan Maret 2019, hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Hasil pengukuran kelembapan relatif pada 12 Maret 2020 baik pagi dan siang hari terbilang lebih besar dibandingkan pada hari lainnya. Hal ini disebabkan terjadinya hujan saat pengukuran pada pagi dan siang hari.

Tabel 19 Data Kondisi Kenyamanan Termal Outdoor di Sekitar UII

Tanggal	Tn	TX	Tavg	RH_avg	ff_avg	RR
9/3/2020	24,0	28,2	25,5	90	2	9,6
10/3/2020	22,9	31,8	26,8	80	2	16,4
11/3/2020	24,7	32,6	27,00	86	1	0,0
12/3/2020	23,3	31,00	26,2	89	1	14,7
13/3/2020	23,8	31,8	27,3	84	1	7,5
Maret 2019	22,8	30,9	26,1	86,1	-	-

Keterangan:

Tn : Minimum Temperatur (°C)

Tx : Maximum Temperatur (°C)

T_avg : Average Temperatur (°C)

RH_avg : Average Relatif Humidity (%)

FF_avg : Average Air Velocity (m/s)

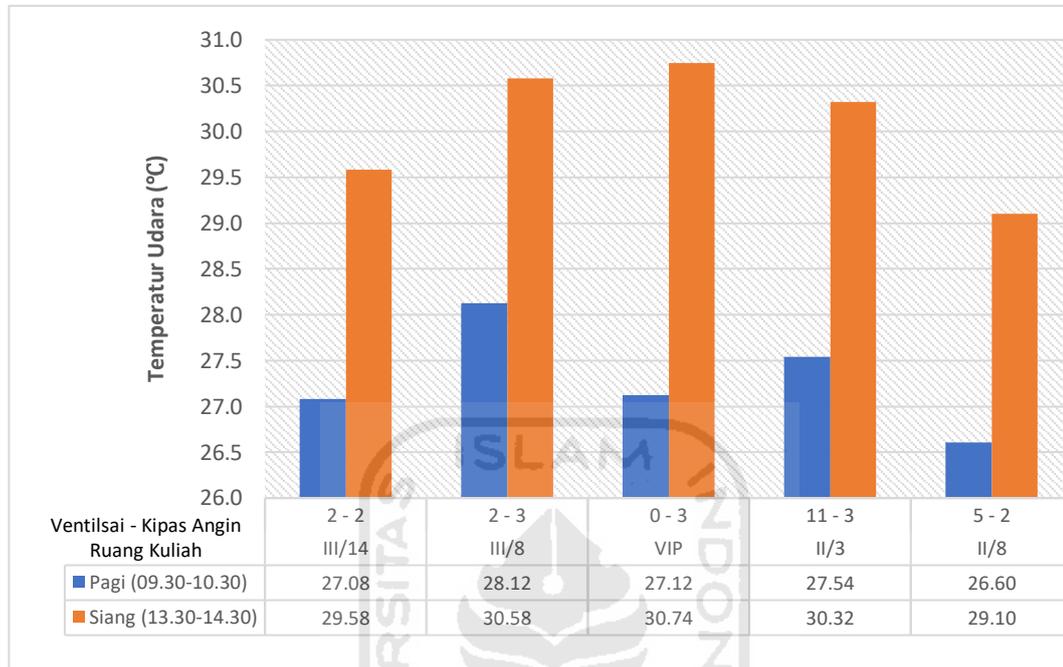
RR : Rain (mm)

Sumber: BMKG (2020)

4.2.1. Temperatur Udara

Panas di dalam ruangan ditransfer dengan menggunakan proses konveksi. Kipas angin dan ventilasi bertindak sebagai konveksi paksa yang mengubah kecepatan udara yang bergerak untuk mengganggu lapisan batas isolasi untuk memungkinkan udara dingin digantikan dengan udara hangat di dalam ruangan membuat sirkulasi udara menjadi optimal (Kubba, 2016). Oleh karena itu jumlah kipas angin dan ventilasi yang terbuka di dalam ruangan kuliah mempengaruhi kenyamanan termal di dalamnya. Teori tersebut sesuai dengan hasil analisis yang dapat dilihat pada Gambar 15 Rata-Rata 5 Hari Data Temperatur Udara, dimana Ruang III/8 dan VIP memiliki jumlah ventilasi yang lebih sedikit yang

menyebabkan ruang tersebut memiliki temperatur udara lebih besar dibandingkan ruang lainnya.



Gambar 15 Rata-Rata 5 Hari Data Temperatur Udara

Penelitian Walikewitz *et al.* (2015) menjelaskan bahwa temperatur radiasi meningkatkan temperatur udara di dalam ruangan sehingga temperatur udara selalu lebih besar dari temperatur radiasi dengan besar yang tidak jauh berbeda, sehingga temperatur radiasi berperan dalam meningkatkan temperatur udara di dalam ruangan kuliah yang dijelaskan pada subbab selanjutnya.

Semakin banyak orang maka semakin besar juga temperatur udara di dalam ruangan dikarenakan tubuh manusia mengeluarkan panas melalui radiasi inframerah dan evaporasi dari pernapasan, terutama di dalam ruang yang sempit dikarenakan semakin kecil luas ruangan maka sebaran panas juga semakin kecil (Junaidi *et al.*, 2018). Teori hubungan jumlah orang di dalam ruangan dan luas ruangan dengan temperatur udara tidak sesuai dengan hasil analisa pada Tabel 20 Rata-Rata Mahasiswa hadir perkuliahan saat pengukuran, dikarenakan Ruang VIP memiliki temperatur udara terbesar dan Ruang III/14 yang terkecil meskipun mahasiswa di dalam ruangan dan luas ruangan kedua ruangan tersebut sama. Hal

yang sama juga terjadi jika membandingkan Ruang II/3 dan II/8 yang memiliki jumlah mahasiswa yang hadir dan luas ruangan yang sama.

Tabel 20 Rata-Rata Mahasiswa hadir perkuliahan saat pengukuran

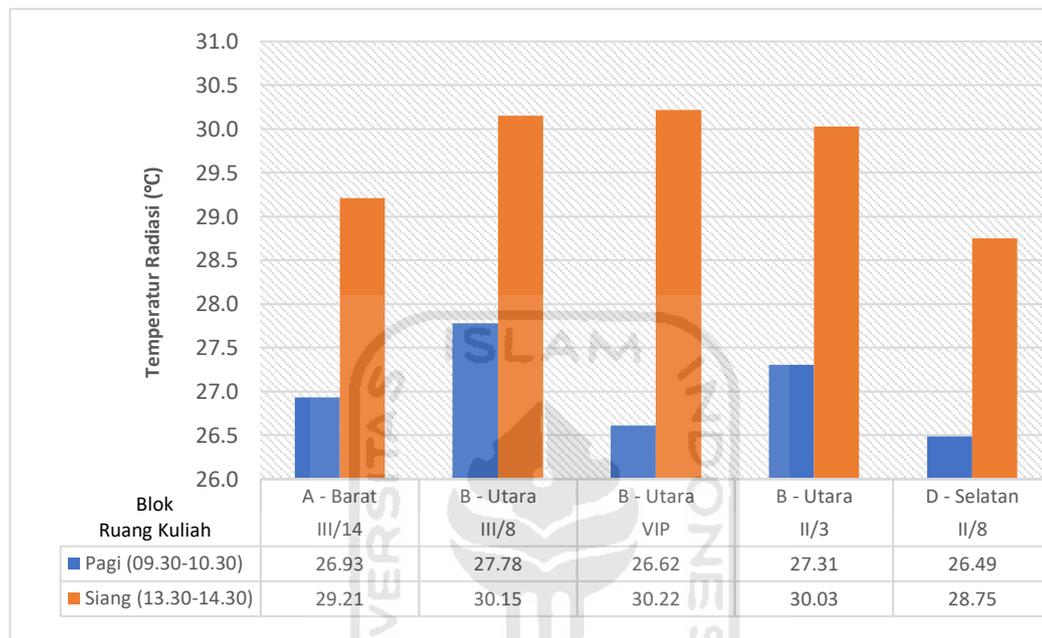
Ruang Kuliah	Rata-rata mahasiswa hadir perkuliahan		Luas (m ²)
	Pagi	Siang	
III/14	23	21	54
III/8	28	26	72
VIP	22	23	54
II/3	28	29	108
II/8	26	23	94,5

Terdapat perbedaan sensasi termal berdasarkan temperatur udara ruangan yang peneliti rasakan saat melakukan pengukuran siang hari. Peneliti merasa pengap dan lebih cepat berkeringat di Ruang VIP dibandingkan ruangan kuliah lainnya. Hal ini disebabkan *air conditioner* (AC) yang tidak berfungsi serta hanya memiliki 0 ventilasi dan 3 kipas angin yang membuat sirkulasi udara tidak optimal.

4.2.2. Temperatur Radiasi Pendugaan

Letak ruangan kuliah sangat mempengaruhi temperatur radiasi di ruangan tersebut, hal ini disebabkan dinding ruangan menyerap panas dari paparan sinar matahari langsung dan meningkatkan temperatur udara di dalam ruangan. Dinding ruangan yang terpapar sinar matahari pagi dari arah Timur lebih lama memiliki temperatur radiasi yang lebih besar saat pagi hari dibandingkan dengan ruangan yang tidak terpapar begitu juga dengan ruangan yang terpapar sinar matahari siang dari barat. (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012). Berdasarkan lokasi ruangan kuliah, Ruang III/14 yang berada di blok a seharusnya memiliki temperatur udara terbesar karena terpapar sinar matahari siang hari dari arah Barat lebih lama, tetapi Hasil analisa pada Gambar 16 Rata-Rata 5 Hari Data Temperatur Radiasi Pendugaan menunjukkan Ruang II/3, VIP dan III/8 memiliki temperatur radiasi lebih besar meskipun nilainya tidak terlalu jauh berbeda. Ruang VIP memiliki temperatur radiasi terbesar meskipun dinding ruang tersebut tidak terpapar sinar matahari langsung. Ketidaccocokkan antara hasil analisa dengan teori yang telah disebutkan, disebabkan data temperatur radiasi didapatkan dengan rumus

temperatur radiasi pendugaan yang dapat dilihat pada subbab 3.6.2 berdasarkan penelitian Turco et al. (2008) yang mana menggunakan temperatur udara sebagai dasar perhitungan rumus tersebut dikarenakan sulitnya mendapatkan alat pengukur temperatur radiasi

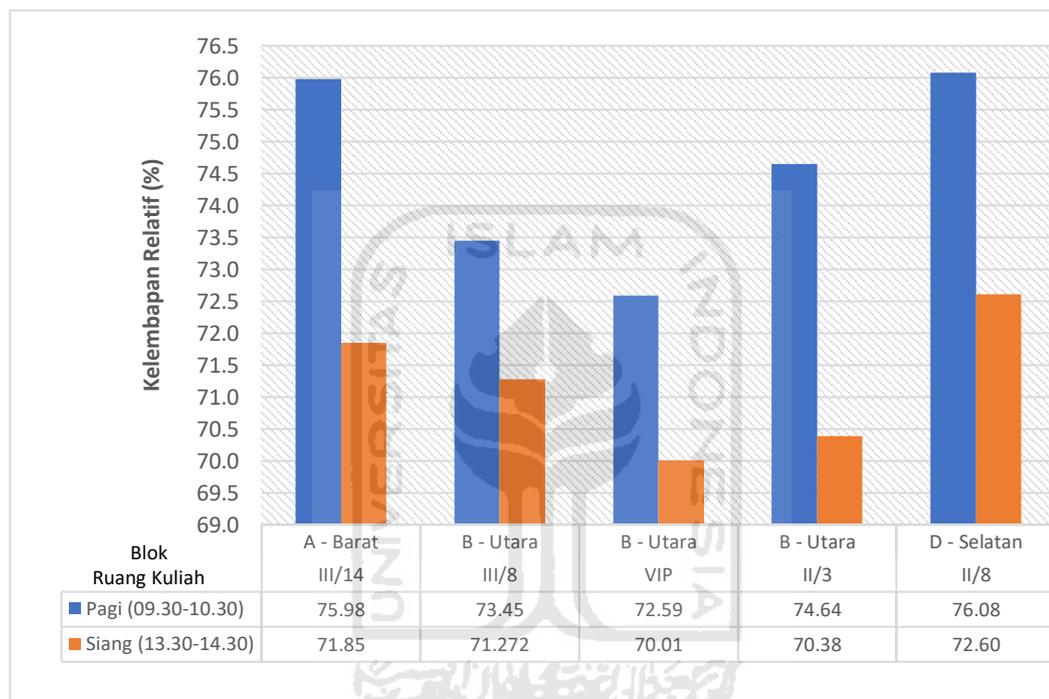


Gambar 16 Rata-Rata 5 Hari Data Temperatur Radiasi Pendugaan

4.2.3. Kelembapan Relatif

Penelitian Pongrácz *et al.* (2016) menyebutkan bahwa kelembapan udara berbanding terbalik dengan temperatur udara, yang mana semakin tinggi temperatur udara maka kelembapan udara semakin kecil. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran pada pagi dan siang hari yang menunjukkan Ruang II/8 memiliki kelembapan relatif rata-rata tertinggi pada pagi hari sebesar 76,08 % dan 72,6 % pada siang hari dengan temperatur udara terendah sebesar 26,6°C pada pagi hari 29,1°C pada siang hari dengan Ruang VIP yang memiliki kelembapan relatif terkecil sebesar 70,01% pada siang hari dengan temperatur udara terbesar 30,74°C pada siang hari yang dapat dilihat pada Gambar 17 Rata-Rata 5 Hari Data Kelembapan Relatif. Kelembapan relatif di ke lima ruangan lebih kecil dari kelembapan relatif rata-rata di Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2019 sebesar 78,75%.

Rata-rata kelembapan relatif ke 5 ruangan kuliah pada pagi hari dan siang hari tidak jauh berbeda yang dapat dilihat pada *Gambar 17 Rata-Rata 5 Hari Data Kelembapan Relatif*. Siang hari kelembapan relatif terbesar terdapat di Ruang II/8 sebesar 76,08% dan terkecil di Ruang VIP sebesar 72,59% sedangkan pada pagi hari kelembapan relatif terbesar di Ruang II/8 sebesar 76,08% dan terkecil di Ruang VIP sebesar 72,59%.



Gambar 17 Rata-Rata 5 Hari Data Kelembapan Relatif

Disamping pengukuran dilakukan pada musim hujan yang meningkatkan kelembapan relatif terutama saat hujan terjadi, Gedung Mohammad Natsir FTSP UII terletak di daratan tinggi di ketinggian 335 m diatas permukaan laut. Berdasarkan Rotronic (2014), ketinggian suatu tempat dari permukaan laut berbanding lurus dengan kelembapan relatif tempat tersebut. Penelitian kenyamanan termal oleh Lutfi (2019) pada musim kemarau di bulan agustus berdasarkan data BMKG (2019) yang dilakukan di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta pada ketinggian 97 m diatas permukaan laut menunjukkan kelembapan relatif rata-rata sebesar 53 % - 68%, dibandingkan dengan hasil pengukuran rata-rata 5 hari kelembapan relatif di ruangan kuliah yang menunjukkan nilai sebesar 70%

- 76%. Dapat disimpulkan ketinggian lokasi dan waktu pengukuran sangat mempengaruhi hasil pengukuran kenyamanan termal di dalam ruangan.

Peneliti tidak merasakan perbedaan sensasi termal berdasarkan kelembapan berupa rasa lembab atau kering pada ruangan baik pada siang hari dan pagi hari. Hal ini disebabkan peneliti sudah terbiasa dengan iklim di sekitar Universitas Islam Indonesia.

4.2.4. Kecepatan Udara

Kecepatan udara hasil pengukuran menunjukkan pada Tabel 27 Hasil Evaluasi Kenyamanan Termal Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017 sebesar 0 m/s di Ruang II/3, III/8, III/14 dan Ruang II/8, VIP menunjukkan sebesar 0,02 m/s. Hal ini disebabkan di 5 titik pengukuran per ruangan kuliah hanya titik di tengah yang dapat mengukur kecepatan udara dari kipas angin. Kecepatan udara didapatkan dari sirkulasi udara ventilasi dan kipas angin yang dapat dirasakan oleh mahasiswa berdasarkan asumsi peneliti saat melakukan pengukuran tetapi tidak dapat diukur dikarenakan perbedaan titik letak kipas angin dan ventilasi dengan titik pengukuran. Tabel 18 Kondisi Eksisting Ruangan Kuliah (Objek Penelitian) menunjukkan dari 5 ruangan kuliah minimal memiliki 2 buah kipas angin dan ventilasi masing-masing.

Penelitian Tanabe and Kimura (1994) menyebutkan sirkulasi udara sangat mempengaruhi sensasi termal pengguna ruangan disebabkan perpindahan panas di udara melalui konveksi yang menggerakkan udara dingin untuk menggantikan udara panas di dalam ruangan ke permukaan kulit pengguna ruangan. Hubungan sensasi termal yang mahasiswa rasakan dengan kecepatan udara dijelaskan di subbab selanjutnya.

4.2.5. Insulasi Pakaian dan Nilai MET

Kemampuan insulasi suatu pakaian dipengaruhi oleh konduktivitas termal dan permeabilitas udara. Konduktivitas termal adalah kemampuan bahan pakaian menghantarkan panas, semakin rendah konduktivitas termal maka semakin tinggi kemampuan insulasi pakaian. Permeabilitas udara adalah porositas atau kemudahan

udara melewati bahan pakaian, semakin tinggi permeabilitas udara maka semakin rendah kemampuan insulasi pakaian (ANSI/ASHRAE, 2017).

Pemilihan kombinasi pakaian baik pria maupun wanita berdasarkan pilihan pakaian yang terdaftar dalam SNI 03-6573-2001 kemudian dipilih pakaian yang memiliki nilai insulasi pakaian (Clo) tertinggi dan tidak melanggar peraturan Universitas Islam Indonesia Nomor : 460/SK-Rek/Rek/X/2001 tentang disiplin mahasiswa UII pada Bab 3 pasal 4. Tabel 21 Data Nilai Insulasi Pakaian & Nilai MET menunjukkan total nilai Clo pria sebesar 0,58 Clo dan 0,59 Clo pada wanita, nilai tersebut tidak melebihi ASHRAE Standart 55-2017 sebesar 0 Clo – 1,5 Clo. Total nilai Clo pada wanita digunakan dalam perhitungan PMV dan PPD dikarenakan nilai terbesar. Aktivitas yang dilakukan di dalam ruangan kuliah adalah menulis dan membaca sehingga berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017 tingkat metabolisme sebesar 1,0 MET.

Tabel 21 Data Nilai Insulasi Pakaian & Nilai MET

Jenis Pakaian	Clo		Sumber
	Pria	Wanita	
Pakaian Dalam	0,05	0,05	
Kaos Kaki Panjang	0,01	0,01	
Sepatu	0,04	0,04	
Celana Panjang (Tipis)	-	0,15	
Celana Panjang (Jeans) - Berat	0,32	-	SNI 03-6572-2001
Blus Lengan Panjang - Ringan	-	0,2	
Kemeja Lengan Panjang - Ringan	0,22	-	
Rok Ringan - di Bawah Dengkul	-	0,11	
Jilbab	-	0,15	Rajol, Rawal dkk (2016)
Jumlah Clo Kombinasi Pakaian	0,64	0,71	
Total Nilai Clo	0,58	0,59	
MET (menulis, membaca)	1,0		

4.3. Nilai Predicted Mean Vote (PMV)

Tabel 22 PMV dan PPD Ruang Kuliah pada pagi hari menunjukkan tingkat kenyamanan termal pada pagi hari dengan nilai PMV terbesar ada di Ruang III/8 sebesar +1,2 diikuti Ruang II/3 sebesar +1, Ruang VIP dan III/14 sebesar +0,8, Ruang II/8 dengan nilai terkecil sebesar +0,7. Ke 5 ruangan kuliah masuk dalam kategori *Slightly Warm*. Dibandingkan pada siang hari, ke 5 ruangan kuliah pada pagi hari masuk dalam kategori nyaman untuk digunakan beraktivitas termasuk belajar dan mengajar berdasarkan ASHRAE *Standart 55-2017* dimana nilai PMV sekitar -1,5 ~ +1,5. Contoh perhitungan PMV dan PPD dapat dilihat pada Lampiran 3 Hasil Pengukuran Siang Hari (13:30-14:30).

Tabel 22 PMV dan PPD Ruang Kuliah pada pagi hari

Ruang	Nilai PMV	Skala PMV
II/3	+1	<i>Slightly Warm</i>
II/8	+0,7	<i>Slightly Warm</i>
VIP	+0,8	<i>Slightly Warm</i>
III/8	+1,2	<i>Slightly Warm</i>
III/14	+0,8	<i>Slightly Warm</i>

Menurut hasil analisis kenyamanan termal yang dapat dilihat pada Tabel 23 PMV dan PPD Ruang Kuliah pada Siang Hari nilai PMV dan PPD terbesar pada siang hari ada di Ruang VIP sebesar +2,1 diikuti Ruang II/3 dan III/8 sebesar +2, Ruang III/14 sebesar +1,7 dan Ruang II/8 sebesar +1,5. Menurut kategori sensasi termal ASHRAE, Ruang VIP, II/3, III/8 dan III/14 masuk dalam kategori Warm sedangkan Ruang II/8 kategori *Slightly Warm*, sehingga dapat disimpulkan hanya Ruang II/8 dimana mahasiswa merasa nyaman dalam proses belajar mengajar di ruangan tersebut saat siang hari. Mahasiswa pengguna ruangan dapat dikatakan nyaman jika nilai PMV berada di sekitar -1,5 ~ +1,5 berdasarkan ASHRAE *Standart 55-2017* sehingga pada siang hari hanya Ruang II/8 dan ke lima ruangan pada pagi hari yang memenuhi standar.

Perubahan skala PMV pada pagi hari dari *Slightly Warm* menjadi *Warm* pada siang hari disebabkan peningkatan temperatur udara secara gradual dari pagi hari sampai menjelang siang hari. Dapat disimpulkan parameter temperatur udara merupakan parameter yang paling menentukan kondisi kenyamanan termal pada ruangan karena Ruang III/8 memiliki nilai PMV dan temperatur udara terbesar pada pagi dan terbesar kedua pada siang hari sedangkan Ruang II/8 memiliki nilai PMV dan temperatur udara terkecil pada pagi dan siang hari.

Tabel 23 PMV dan PPD Ruangan Kuliah pada Siang Hari

Ruang	Nilai PMV	Skala PMV
II/3	+2	<i>Warm</i>
II/8	+1,5	<i>Slightly Warm</i>
VIP	+2,1	<i>Warm</i>
III/8	+2	<i>Warm</i>
III/14	+1,7	<i>Warm</i>

4.4. Survey Kenyamanan Termal dan PPD

Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017, ruangan kuliah dapat dikatakan nyaman jika total kenyamanan termal dari data hasil kuisisioner menunjukkan nilai tidak kurang dari 80% dan nilai PPD tidak kurang dari 20%. Total kenyamanan termal adalah jumlah persentase dari jawaban sensasi termal mahasiswa yaitu Agak Dingin (AD), Netral (N) dan Agak Panas (AP). Kepuasan Termal Mahasiswa (KTM) dari hasil kuisisioner menunjukkan seberapa besar persentase mahasiswa yang nyaman terhadap kenyamanan termal di ruangan kuliah sedangkan PPD menunjukkan seberapa besar persentase mahasiswa yang tidak puas terhadap kenyamanan termal di ruangan kuliah. Hasil kuisisioner dari survey tingkat kenyamanan termal ruangan kuliah dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD). Peneliti berasumsi hasil kuisisioner dikatakan akurat jika selisih nilai antara ketidakpuasan termal mahasiswa dengan

PPD tidak lebih dari 20%, ketidakpuasan termal mahasiswa didapatkan dari jumlah persentase sensasi termal Panas (P) dan Sangat Panas (SP).

Pemberian kuisisioner hanya dilakukan selama 4 hari pada Ruang II/8, VIP, III/8 dan III/14 dikarenakan pada hari Rabu tidak terjadi kegiatan belajar mengajar di ruangan kuliah kecuali Ruang II/3. Berdasarkan hasil kuisisioner pagi hari yang dapat dilihat pada Tabel 24 Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner dan PPD Pagi Hari, KTM di Ruang II/3 sebesar 64,8 % dari 138 mahasiswa dengan PPD sebesar 26,1 %. KTM di Ruang II/8 sebesar 80,05 % dari 103 mahasiswa dengan PPD sebesar 15,3%. 65,3 % dari 93 mahasiswa di Ruang VIP merasa nyaman dengan PPD sebesar 18,5%. KTM di ruang III/8 sebesar 60,54 % dari 111 mahasiswa dengan PPD sebesar 35,2 %. KTM di Ruang III/14 sebesar 79,88% dari 93 mahasiswa dengan PPD sebesar 18,5 %.

Tabel 24 Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner dan PPD Pagi Hari

Ruang Kuliah	Jumlah Mahasiswa	AD	N	AP	P	SP	Kepuasan Termal Mahasiswa (%)	Ketidakpuasan Termal Mahasiswa	PPD	Selisih Nilai
II/3	138	7,85%	24,94 %	31,81 %	20,68 %	14,72 %	64,60%	35,40%	26,10 %	9,30%
II/8	103	11,96 %	27,65 %	40,44 %	13,41 %	6,54%	80,05%	19,95%	15,30 %	4,65%
VIP	93	8,98%	27,02 %	29,30 %	23,94 %	10,76 %	65,30%	34,70%	18,50 %	16,20 %
III/8	111	9,67%	21,74 %	29,13 %	27,20 %	12,26 %	60,54%	39,46%	35,20 %	4,26%
III/14	93	11,44 %	33,88 %	34,57 %	13,62 %	6,50%	79,88%	20,12%	18,50 %	1,62%

Berdasarkan hasil kuisisioner siang hari yang dapat dilihat pada Tabel 25 Rekatipulasi Data Hasil Kuisisioner dan PPD Siang Hari, 58,62 % dari 123 mahasiswa di Ruang II/3 merasa nyaman dengan nilai PPD 76,8 %. 63,57 % dari 90 mahasiswa di Ruang II/8 merasa nyaman dengan nilai PPD sebesar 50,9 %. 48,56 % dari 105 mahasiswa di Ruang VIP merasa nyaman dengan nilai PPD sebesar 81,1 %. Total kenyamanan termal di ruang III/8 sebesar 52,11 % dari 102 mahasiswa dengan nilai

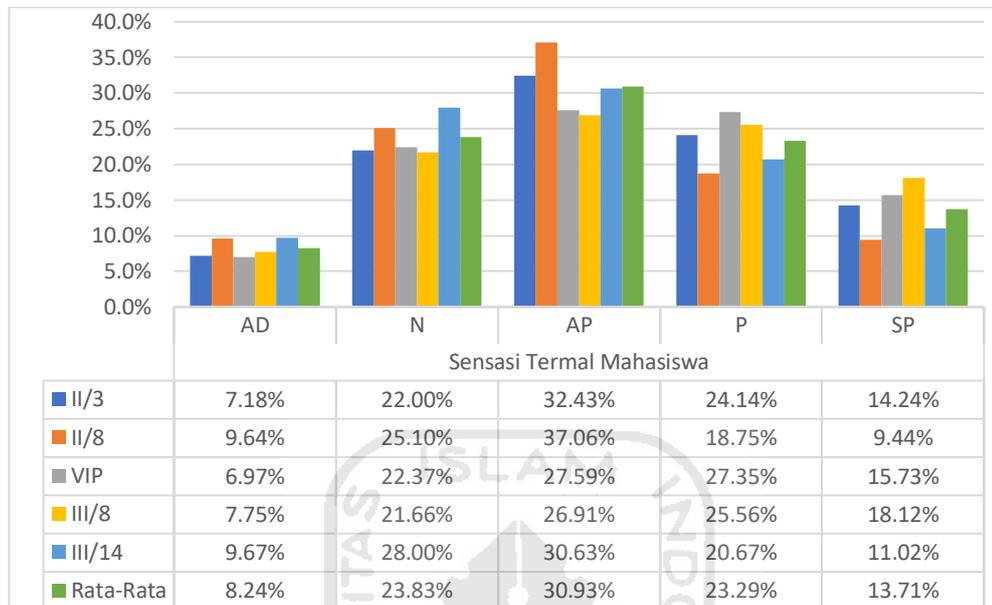
PPD sebesar 76,8 %. Total kenyamanan termal di Ruang III/14 sebesar 56,73 % dari 84 mahasiswa dengan nilai PPD sebesar 61,8 %.

Tabel 25 Rekatipulasi Data Hasil Kuisisioner dan PPD Siang Hari

Ruang Kuliah	Jumlah Mahasiswa	AD	N	AP	P	SP	Kepuasan Termal Mahasiswa (%)	Ketidakpuasan Termal Mahasiswa	PPD	Selisih Nilai
II/3	123	6,50 %	19,07 %	33,06 %	27,60 %	13,77 %	58,62%	41,38%	76,80 %	35,42 %
II/8	90	7,32 %	22,56 %	33,69 %	24,09 %	12,35 %	63,57%	36,43%	50,90 %	14,47 %
VIP	105	4,95 %	17,72 %	25,89 %	30,75 %	20,69 %	48,56%	51,44%	81,10 %	29,66 %
III/8	102	5,83 %	21,59 %	24,69 %	23,92 %	23,97 %	52,11%	47,89%	76,80 %	28,91 %
III/14	84	7,90 %	22,13 %	26,70 %	27,73 %	15,54 %	56,73%	43,27%	61,80 %	18,53 %

Rekapitulasi data hasil kuisisioner rata-rata menunjukkan seberapa besar sensasi termal dari seluruh mahasiswa pengguna ruangan yang diwakilkan lima ruangan kuliah yang dapat dilihat pada Gambar 18 Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner Rata-Rata, 30,93 % nya merasa Agak Panas (AP) ,23,83 % merasa Netral (N) dan 8,24 % merasa Agak Dingin (AD) sehingga kepuasan termak mahasiswa sebesar 63 %. Ketidakpuasan termal mahasiswa sebesar 37 % dari jumlah 23,29 % merasa Panas (P) dan merasa Sangat Panas (SP) sebesar 13,71 %. Rekapitulasi data

hasil kuisisioner tersebut berasal dari sensasi termal yang 1042 orang mahasiswa rasakan dan mengikuti survey kenyamanan termal di ke lima ruangan kuliah.



Gambar 18 Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner Rata-Rata

Ruangan kuliah yang memiliki kepuasan termal mahasiswa terbesar berdasarkan rekapitulasi hasil kuisisioner pada pagi dan siang hari yang dapat dilihat pada Tabel 26 Kepuasan Termal Mahasiswa Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner Rata-Rata dan PPD adalah Ruang II/8 sebesar 71,81 % dari 193 mahasiswa dengan PPD sebesar 31,6 %, diikuti Ruang III/14 sebesar 68,31 % dari 177 mahasiswa dengan PPD sebesar 38,3 %, Ruang II/3 sebesar 61,61 % dari 261 mahasiswa dengan PPD sebesar 49,6 % , Ruang VIP sebesar 56,93 % dari 198 mahasiswa dengan PPD sebesar 46,8 % dan Ruang III/8 sebesar 56,33 % dari 213 % dengan PPD sebesar 56,5 %.

Hanya selisih nilai ketidakpuasan termal mahasiswa dengan PPD di Ruang II/3, VIP dan III/8 pada siang hari yang menunjukkan ketidakakuratan. Hal ini disebabkan dari 1042 mahasiswa yang mengisi kuisisioner kenyamanan termal, ada sejumlah mahasiswa yang tidak mengisi kuisisioner secara serius,

4.5. Standar Kenyamanan Termal

Tabel 27 Hasil Evaluasi Kenyamanan Termal Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017 dan Tabel 28 Hasil Evaluasi Kenyamanan Termal Berdasarkan SNI 03-6572-2001 menunjukkan bahwa sebagian besar parameter kenyamanan termal tidak memenuhi standar dari SNI 03-6572-2001 dan ASHARE *Standard* 55-2017 kecuali kecepatan udara dan insulasi pakaian. Sebagian besar nilai PMV pada siang hari juga melebihi standar kecuali Ruang II/8 dan pada pagi hari ke 5 ruangan kuliah memenuhi standar yang ada, sedangkan nilai PMV rata-rata pengukuran pagi dan siang hari menunjukkan bahwa hanya Ruang III/8 yang tidak memenuhi standar. Dapat disimpulkan bahwa Ruang III/8 memiliki tingkat kenyamanan termal yang paling buruk sedangkan Ruang II/8 memiliki tingkat kenyamanan termal paling baik dibandingkan ke 4 ruangan kuliah lainnya berdasarkan pengukuran nilai PMV pada pagi dan siang hari.

Tabel 26 Kepuasan Termal Mahasiswa Rekapitulasi Data Hasil Kuisisioner Rata-Rata dan PPD

Ruang Kuliah	Jumlah Mahasiswa	Kepuasan termal Mahasiswa (%)	Ketidakpuasan Termal Mahasiswa	PPD (%)	Selisih Nilai
II/3	261	61,61%	38,39%	49,60%	11,21%
II/8	193	71,81%	28,19%	31,60%	3,41%
VIP	198	56,93%	43,07%	46,80%	3,73%
III/8	213	56,33%	43,67%	56,50%	12,83%
III/14	177	68,31%	31,69%	38,30%	6,61%

Sebagian besar hasil kuisisioner dan pengukuran PPD tidak memenuhi standar kecuali pada pengukuran pagi hari di Ruang II/8 dan Ruang III/14, hal ini sesuai dengan pengukuran PMV pada kedua ruangan tersebut yang menunjukkan nilai terkecil pada pengukuran pagi dan siang hari serta pengukuran rata-ratanya. Dapat disimpulkan bahwa Ruang II/8 dan Ruang III/14 adalah ruangan yang nyaman digunakan untuk beraktivitas berdasarkan pengukuran PMV dan PPD serta persepsi termal mahasiswa yang ditunjukkan melalui hasil kuisisioner.

Tabel 27 Hasil Evaluasi Kenyamanan Termal Berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017

Parameter	ASHRAE Standart 55-2017	Ruang II/3			Ruang II/8			Ruang VIP			Ruang III/8			Ruang III/14		
		Pagi	Siang	Rata- Rata	Pagi	Siang	Rata- Rata	Pagi	Siang	Rata- Rata	Pagi	Siang	Rata- Rata	Pagi	Siang	Rata- Rata
Temperatur Udara (°C)	23°C~26°C	27,5	30,3	28,9	26,6	29,1	27,9	27,1	30,7	28,9	28,1	30,6	29,4	27,1	29,6	28,3
Kelembaban (%)	30% ~ 70%	74,6	70,4	72,5	76,1	72,6	74,3	72,6	70,0	71,3	73,4	71,3	72,4	76,0	71,9	73,9
Kecepatan angin (m/s)	0 m/s ~ 0,2 m/s	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Temperatur radiasi (°C)	23°C~26°C	27,3	30,0	28,7	26,5	28,7	27,6	26,6	30,2	28,4	27,8	30,2	29,0	26,9	29,2	28,1
Insulasi pakaian (clo)	0 clo ~ 1,5 clo								0,59							
Nilai PMV	-1,5 ~ +1,5	+1	+2	+1,5	+0,7	+1,5	+1,1	+0,8	+2,1	+1,4	+1,2	+2	+1,6	+0,8	+1,7	+1,3
Skala PMV	Slightly cool - Slightly warm	Slightly warm	Warm	Slightly warm	Slightly warm	Slightly warm	Slightly warm	Slightly warm	Warm	Slightly warm	Slightly warm	Warm	Warm	Slightly warm	Warm	Slightly warm
PPD (%)	0% ~ 20%	26,1%	76,8%	49,6%	15,3%	50,9%	31,6%	18,5%	81,1%	46,8%	35,2%	76,8%	56,5%	18,5%	61,8%	38,3%
Kuisisioner (%)	80%	64,6%	58,6%	61,6%	80,1%	63,6%	71,8%	65,3%	48,6%	56,9%	60,5%	52,1%	56,3%	79,9%	56,7%	68,3%

Keterangan:

Pagi : 09:30 WIB – 10:30 WIB

Siang : 13:30 WIB – 14:30 WIB

Merah : Melebihi Standar ASHRAE Standart 55-2017

Tabel 28 Hasil Evaluasi Kenyamanan Termal Berdasarkan SNI 03-6572-2001

Parameter	SNI 03-6572-2001	Ruang II/3			Ruang II/8			Ruang VIP			Ruang III/8			Ruang III/14		
		Pagi	Siang	Rata-Rata	Pagi	Siang	Rata-Rata	Pagi	Siang	Rata-Rata	Pagi	Siang	Rata-Rata	Pagi	Siang	Rata-Rata
Temperatur Udara (°C)	20,5°C ~ 27,1°C	27,5	30,3	28,9	26,6	29,1	27,9	27,1	30,7	28,9	28,1	30,6	29,4	27,1	29,6	28,3
Kelembaban (%)	40% ~ 60%	74,6	70,4	72,5	76,1	72,6	74,3	72,6	70,0	71,3	73,4	71,3	72,4	76,0	71,9	73,9
Kecepatan angin (m/s)	0 m/s ~ 0,35 m/s	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Temperatur radiasi (°C)	20,5C ~ 27,1C	27,3	30,0	28,7	26,5	28,7	27,6	26,6	30,2	28,4	27,8	30,2	29,0	26,9	29,2	28,1

Keterangan:

Pagi : 09:30 WIB – 10:30 WIB

Siang : 13:30 WIB – 14:30 WIB

Kuning : Melebihi Standar SNI 03-6572-2001



4.6. Rekomendasi Peningkatan Kenyamanan Termal

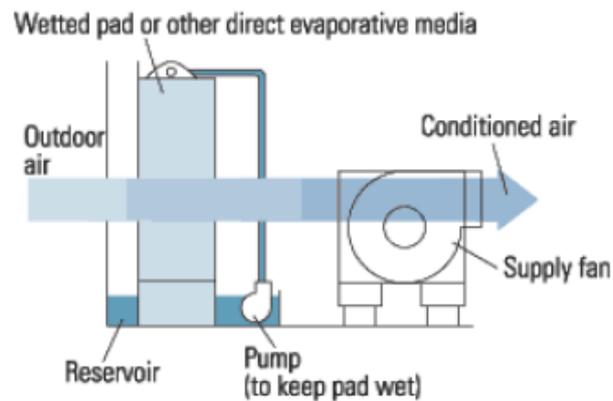
Peningkatan kenyamanan termal diperlukan pada ruangan kuliah, terutama Ruang II/3, VIP, III/8 dan III/14 yang memiliki nilai PMV pada siang hari diatas standar ASHRAE *Standart* 55-2017. Peningkatan kenyamanan termal dapat dilakukan dengan sistem *Heating Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) yang berfungsi untuk mengatur temperatur, kelembapan dan kecepatan udara pada ruangan menjadi nyaman sesuai standar yang ada (Vedavarz et al., 2007).

Sistem HVAC sederhana yang direkomendasikan dapat diaplikasikan menyesuaikan kondisi tiap ruangan sehingga dapat menjadi lebih efektif dan efisien adalah *Direct Evaporative Cooling* (DEC), *Air Conditioner* (AC) dan lapisan termal insulasi dinding yang termasuk jenis air conditioning pada sistem HVAC.

Berdasarkan Tabel 29 Nilai PMV & PPD Setelah Pengaplikasian Rekomendasi, nilai PMV dan PPD turun drastis mendekati Neutral dan tidak melebihi standar ASHRAE *Standart* 55-2017 dan SNI 03-6572-2001 sehingga dapat disimpulkan ketiga Rekomendasi yang disarankan efektif dan efisien dalam meningkatkan kenyamanan termal dengan menurunkan temperatur udara di dalam ruangan kuliah.

4.6.1. Direct Evaporative Cooling (DEC)

Direct Evaporative Cooling (DEC) berdasarkan Watt (1986) adalah sebuah proses dimana *supply fan* mengalirkan udara luar (*outdoor air*) secara paksa melalui *cooling pad* sebagai media pendingin yang tetap basah karena dialirkan air dari bagian atas *cooling pad* sehingga menghasilkan uap air yang dingin yang kemudian di alirkan ke dalam ruangan. Tidak terjadi peningkatan temperatur udara selama proses ini, hanya terjadi perubahan fase dari cairan menjadi uap yang dapat dilihat pada Gambar 19 Proses Direct Evaporative Cooling. Berdasarkan penelitian Amer & Boukhanouf (2015) dan Yuniyanto (2018), uap air dingin yang dialirkan akan menyerap panas sensibel dari udara sehingga dapat menurunkan temperatur udara sebesar 4°C hingga 6°C dan meningkatkan kelembapan udara di dalam ruangan hingga 24% (G Khater, 2014).



Sumber: Watt (1986)

Gambar 19 Proses *Direct Evaporative Cooling*

Uap air yang telah menyerap panas perlu untuk dikeluarkan untuk menghindari peningkatan berlebihan kelembapan udara sehingga diperlukan sirkulasi udara yang optimal untuk mengaplikasikan DEC di dalam ruangan (Kutscher et al., 2006). Ruang II/3 dan II/8 memiliki jumlah ventilasi dan kipas angin yang lebih besar dari ruangan lainya sehingga peneliti berasumsi DEC dapat diaplikasikan di ruang tersebut.

Pendingin ruangan yang menggunakan proses DEC adalah *evaporative cooler* yang dapat dilihat pada Gambar 20 Evaporative Cooler. Ruangan hanya dapat menggunakan satu unit *evaporative cooler* untuk menghindari peningkatan drastis kelembapan relatif di dalam ruangan. Semakin tinggi temperatur udara *outdoor* yang diserap maka semakin efektif *evaporative cooler* menurunkan temperatur udara ruangan sehingga menjadi sangat efektif jika digunakan saat musim kemarau yang memiliki temperatur udara tinggi dan kelembapan udara yang rendah.



Sumber: Palmer (2002)

Gambar 20 Evaporative Cooler

DEC memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pendingin ruangan lainnya seperti biaya operasi yang lebih sedikit dari *air conditioner* karena menggunakan listrik yang jauh lebih sedikit, tidak menggunakan refrigeran, seperti *chlorofluorocarbons* (CFCs) and *hydro-chlorofluorocarbons* (HCFCs) yang dapat merusak lapisan ozon dan pergerakan udara konstan dari DEC mendorong udara panas keluar untuk menghilangkan debu, serbuk sari, asap, bau, dan polusi dan menggantinya dengan udara segar yang sejuk (Palmer, 2002).

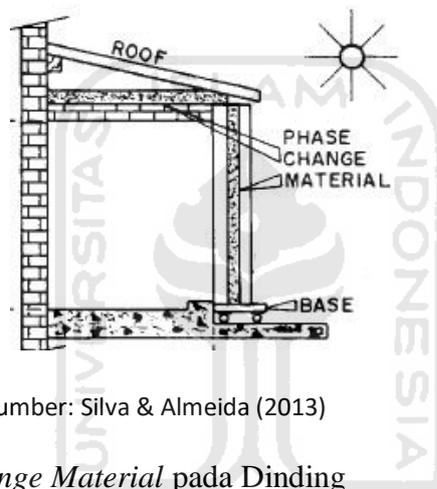
4.6.2. Termal Insulasi dengan *Phase Change Material*

Phase Change Material (PCM) adalah material yang mempunyai kemampuan untuk melepas dan menyerap panas dengan proses dimana awalnya dalam kondisi padat (solid). Pada saat panas ditransfer ke PCM (terjadi panas sensibel) sampai sebesar titik leleh (melting point) yang kemudian berubah fase dari padat menjadi cair (panas laten). Setelah fase cair tercapai, panas yang ditransfer akan tersimpan pada material tersebut (kembali menjadi panas sensibel). Kemudian panas tersimpan akan dialirkan ke objek lain sampai PCM berubah kembali menjadi fase padat (solid) (Silva & Almeida, 2013).

Pengaplikasian PCM pada dinding ruangan dapat mengurangi temperatur udara di dalam ruangan dengan menyerap dan menyimpan panas dari paparan sinar matahari tanpa mengalirkan panas tersebut ke dalam ruangan sehingga mengurangi temperatur radiasi pada dinding. Berdasarkan penelitian Ismail (2017), Lee et al.

(2018) dan Ascione et al. (2019), PCM dapat mengurangi temperatur udara di dalam ruangan sebesar 1,4°C hingga 2°C.

PCM dapat diaplikasikan pada Ruang II/3, II/8, III/8 dan III/14 karena ruang tersebut terpapar langsung sinar matahari yang dapat dilihat pada Gambar 21 Phase Change Material pada Dinding. Kelebihan dari PCM adalah dengan perubahan desain ruangan yang sangat minimal dapat menyimpan panas yang besar dan mengurangi konsumsi energi pendingin ruangan seperti *evaporative cooler* dan *air conditioner* yang dibutuhkan ruangan untuk mencapai kenyamanan termal (Derradji et al., 2017).



Sumber: Silva & Almeida (2013)

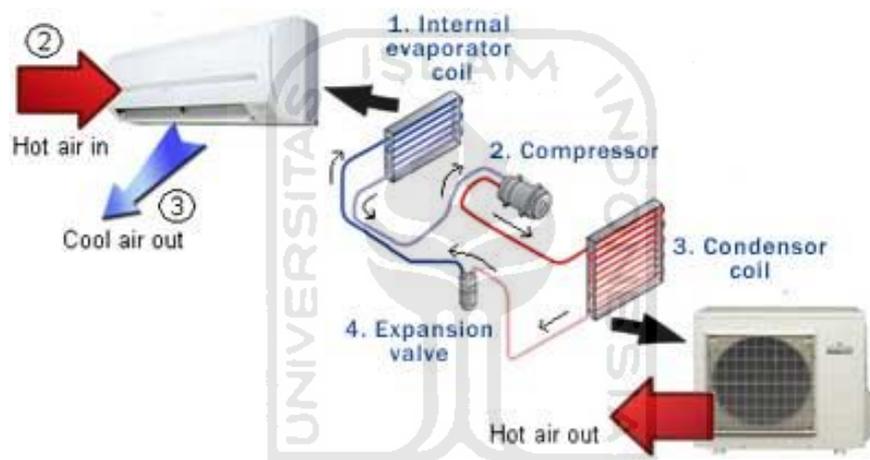
Gambar 21 Phase Change Material pada Dinding

4.6.3. Air Conditioner (AC)

Air Conditioner (AC) adalah pendingin ruangan yang paling umum digunakan pada. AC menyerap udara dalam ruangan menggunakan *blower indoor* yang kemudian dialirkan ke *evaporator*. Panas dari udara di *evaporator* akan diserap oleh *refrigerant* sehingga udara di *evaporator* menjadi lebih dingin yang kemudian dialirkan kembali ke dalam ruangan oleh blower. *Refrigerant* dipompa ke dalam dan keluar AC *indoor* oleh kompresor yang ada pada bagian AC *outdoor*. *Refrigerant* yang telah menyerap panas dialirkan ke kondensor pada bagian AC *outdoor* untuk dilepaskan udara lepas (Wang, 2001). Rentang suhu pada AC adalah 16°C – 30°C sehingga AC dapat digunakan sebagai pendingin dan penghangat ruangan. Meskipun memerlukan konsumsi energi yang cukup besar, AC dapat mengatur temperatur udara yang ada di ruangan sesuai dengan kebutuhan sehingga

memastikan kenyamanan termal pengguna ruangan. Proses kerja AC dapat dilihat pada Gambar 22 Air Conditioner (Purwant et al., 2020).

AC dapat diaplikasikan pada ruang II/3, II/8, VIP, III/8 dan III/14 dengan catatan jendela dan pintu pada ruangan tersebut tertutup untuk menjaga temperatur ruangan sesuai dengan yang diinginkan. ASHRAE *Standart* 55-2017 dan SNI 03-6572-2001 menyarankan agar temperatur udara ruangan diatur sebesar 23°C. Vedavarz et al. (2007) menyarankan untuk ruang dengan luas lebih dari 20 m² dan pengguna ruangan lebih dari 15 orang, menggunakan AC dengan 2 PK agar dapat mengoptimalkan kinerja AC itu sendiri.



Sumber: Wang (2001)

Gambar 22 Air Conditioner

Tabel 29 Nilai PMV & PPD Setelah Pengaplikasian Rekomendasi

Rekomendasi Peningkatan Kenyamanan Termal	Potensi Perubahan Termal	Ruang	Temperatur Udara (°C)		Kelembapan Udara (%)		Temperatur Radiasi (°C)		Nilai PMV (Kategori)		Nilai PPD (%)	
			Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
<i>Direct Evaporative Cooling (DEC) dengan evaporative cooler</i>	Menurunkan temperatur udara sebesar 4°C hingga 6°C dan meningkatkan kelembapan udara sebesar 24%	II/3	30,32	24,32	70,4	94,4	30,0	25,7	+2 (Warm)	+0,9 (Slightly Warm)	76,8	22,1
		II/8	29,1	23,1	72,6	96,6	28,7	24,7	+1,5 (Slightly Warm)	-0,2 (Neutral)	15,3	5,8
Termal Insulasi dengan <i>Phase Change Material</i>	Menurunkan temperatur udara sebesar 1,4°C hingga 2°C	II/3	30,32	28,32	70,4	70,4	30,0	27,6	+2 (Warm)	+1,1 (Slightly Warm)	76,8	30,5
		II/8	29,1	27,1	72,6	72,6	28,7	26,7	+1,5 (Slightly Warm)	+0,3 (Neutral)	15,3	6,9
		III/8	30,6	28,6	71,3	71,3	30,2	28,0	+2 (Warm)	+1,3 (Slightly Warm)	76,8	40,3
		III/14	29,6	27,6	71,9	71,9	29,2	27,1	+1,7 (Warm)	+0,9 (Slightly Warm)	61,8	22,1
<i>Air Conditioner (AC)</i>	Temperatur udara diatur sebesar 23°C sesuai dengan standar yang digunakan	II/3	30,32	23	70,4	70,4	30,0	22,1	+2 (Warm)	-0,8 (Slightly Cool)	76,8	18,5
		II/8	29,1	23	72,6	72,6	28,7	22,5	+1,5 (Slightly Warm)	-0,8 (Slightly Cool)	15,3	18,5
		VIP	30,7	23	70,0	70	30,2	22,1	+2,1 (Warm)	-0,9 (Slightly Cool)	76,8	22,1
		III/8	30,6	23	71,3	71,3	30,2	22,1	+2 (Warm)	-0,8 (Slightly Cool)	76,8	18,5
		III/14	29,6	23	71,9	71,9	29,2	22,5	+1,7 (Warm)	-0,8 (Slightly Cool)	61,8	18,5



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan analisis kenyamanan termal yang dilakukan di ruangan kuliah Jurusan Teknik Lingkungan Gedung Mohammad Natsir FTSP UII pada penelitian ini, dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi kenyamanan termal di ruangan kuliah berdasarkan ASHRAE *Standart 55-2017* menunjukkan bahwa ke 5 ruangan kuliah nyaman digunakan untuk beraktivitas pada pagi hari tetapi pada siang hari hanya Ruang II/8 yang nyaman untuk digunakan. Secara perhitungan rata-rata PMV pada pagi dan siang hari, Ruang II/3, II/8, VIP dan III/14 masuk dalam kriteria nyaman, sedangkan Ruang III/8 tidak termasuk. Pada parameter temperatur udara, temperatur radiasi dan kelembapan relatif, sebagian besar hasil pengukuran pagi hari, siang hari dan rata-rata melebihi standar ASHRAE *Standart 55-2017*.
2. Tingkat kepuasan mahasiswa terhadap kenyamanan termal di ruangan kuliah berdasarkan hasil kuisisioner rata-rata pada Ruang II/3 sebesar 61,6%, Ruang II/8 sebesar 71,8%, Ruang VIP sebesar 46,8%, Ruang III/8 sebesar 56,5% dan Ruang III/14 sebesar 68,3%. Mahasiswa merasa lebih nyaman saat pagi hari di ruangan kuliah daripada saat siang hari yang ditunjukkan melalui hasil kuisisioner saat pagi hari lebih besar dari siang hari di ke 5 ruangan kuliah.
3. Peningkatan kualitas kenyamanan termal di ruangan kuliah dapat dilakukan melalui penggunaan *evaporative cooling*, lapisan insulasi termal pada dinding dan air conditioner (AC).

5.2. Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan sebelumnya, saran yang dapat diberikan peneliti adalah:

1. Peneliti kenyamanan termal di Gedung Mohammad Natsir FTSP UII selanjutnya dapat lebih fokus meneliti ruangan kuliah di lantai 1 dan 4, disarankan melakukan pengukuran di musim kemarau dikarenakan dapat mengetahui lebih jauh kondisi kenyamanan termal dengan temperatur udara yang lebih tinggi dibandingkan saat musim hujan.
2. Fakultas dapat menerapkan konsep 4 hierarki Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) untuk meningkatkan kenyamanan termal di dalam ruangan kuliah, yaitu:
 - Substitusi, dengan mengganti alat pendingin yang digunakan sekarang dengan yang lebih menyesuaikan kondisi ruangan kuliah.
 - Rekayasa Teknik, dengan menggunakan *evaporative cooler*, lapisan insulasi termal dinding dan *air conditioner* untuk meningkatkan kenyamanan termal ruangan kuliah.
 - Administrasi, dengan menerapkan peraturan yang dapat mencegah menurunkan kualitas kenyamanan termal di ruangan kuliah seperti mengurangi kapasitas maksimal mahasiswa di dalam ruangan dan *maintance* alat pendingin ruangan secara berkala.
 - Alat Pelindung Diri, mahasiswa dapat menyesuaikan pakaian yang digunakan dengan musim

DAFTAR PUSTAKA

- Amer, O., & Boukhanouf, R. (2015). A Review of Evaporative Cooling Technologies. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(2), 111–117. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2015.v6.571>
- ANSI/ASHRAE. (2017). ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *ASHRAE Inc.*, 66. <https://doi.org/ISSN 1041-2336>
- Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., Mastellone, M., & Peter Vanoli, G. (2019). Phase change materials for reducing cooling energy demand and improving indoor comfort: A step-by-step retrofit of a Mediterranean educational building. *Energies*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/en12193661>
- Auliciems, A., & Szokolay, S. V. (2007). Thermal comfort. In *Thermal Comfort* (Vol. 2). PLEA: Passive and Low Energy Architecture. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00015-1>
- Baharuddin, Ishak, M. T., & Asniwati. (2015). Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah. *Universitas Hassanuddin Makasar*, 1, 1–8.
- BMKG. (2019). *Prakiraan Musim Kemarau 2019 Di Indonesia*. 141. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- BMKG. (2020). *Prakiraan Musim Kemarau 2020 Di Indonesia*. 145. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- BSN. (2001). *SNI - 03 - 6572 - 2001, Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. 1–55. <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/685>
- Derradji, L., Errebai, F. B., & Amara, M. (2017). Effect of PCM in Improving the

Thermal Comfort in Buildings. *Energy Procedia*, 107(September 2016), 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.159>

Egan, M. D. (1975). *Concept in Thermal Comfort*. Prentice-Hall.

Fanger, P. O. (1982). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press.

G Khater, E.-S. (2014). Performance of Direct Evaporative Cooling System under Egyptian Conditions. *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 02(02). <https://doi.org/10.4172/2332-2594.1000119>

Gunawan, I. W. A. (2019). Pengaruh Iklim, Sinar Matahari, Hujan Dan Kelembaban Pada Bangunan. *Semarayana*, 147–156.

Ismail, K. A. R. (2017). *PCM thermal insulation in buildings PCM THERMAL INSULATION IN BUILDINGS*. November 1997. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(199711\)21](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(199711)21)

Jiang, H., Iandoli, M., Van Dessel, S., Liu, S., & Whitehill, J. (2019). Measuring Students ' Thermal Comfort and ts Impact on Learning. *The 12th International Conference on Educational Data Mining, Edm*, 89–98.

Junaidi, N. S., Daruwati, I., Febriani, Y., Hatika, R. G., Pengaraian, U. P., & Hulu, R. (2018). Keterkaitan Fisika Dalam Pembelajaran Sistem Adaptasi Tubuh Manusia Terhadap Perubahan Suhu The Relation Of Physics Learning In Human Body. *Jurnal*, 1(3), 10–23.

Koenigsberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, A., & Szokolay, S. V. (1973). *Manual of Tropical Housing and Building. Climatic Design*. Orient Blackswan Private Limited.

Kotta, M. H. (2008). Suhu Netral dan Rentang Suhu Nyaman Manusia Indonesia (Studi Kasus Penelitian Pada Bangunan Kantor Di Makassar). *Metropilar - Jurnal Ilmiah Universitas Halueleo*, 6(1), 1–7.

<http://ojs.uho.ac.id/index.php/metropilar/article/view/447/287>

- Kubba, S. (2016). *LEED v4 Practices, Certification, and Accreditation Handbook* (2nd Editio). Elsevier Inc. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2015-0-00887-5>
- Kutscher, C., Eastment, M., Hancock, E., & Reeves, P. (2006). *Projected Benefits of New Residential Evaporative Cooling Systems : Progress Report # 2. October*, 1–62. http://services.eng.uts.edu.au/desmanf/Garry's Course/02_39342.pdf
- Lee, K. O., Medinaa, M. A., Suna, X., & Jin, X. (2018). Thermal performance of phase change materials (PCM)-enhanced cellulose insulation in passive solar residential building walls. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.086>
- Lippsmeier, G. (1997). *Bangunan Tropis*. Erlangga.
- Lutfi, M. A. (2019). *Evaluasi Kenyamanan Termal di Sekolah Menengah Pertama Muhammadiyah 5 Yogyakarta*. Universitas Islam Indonesia.
- Mangunwijaya, Y. B. (2000). *Pengantar Fisika Bangunan*. Djambatan.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 48 Tahun 2016*. 1–98. http://www.kesjaor.kemkes.go.id/documents/PMK_No._70_ttg_Standar_Kes ehatan_Lingkungan_Kerjai_.pdf
- Palmer, J. D. (2002). *Evaporative Cooling Design Guidelines Manual*. 877. www.emnrd.state.nm.us/
- Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2012). Sistem Pencahayaan. *Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta*, 3(38), 29.
- Pomfret, L., & Hashemi, A. (2017). Thermal Comfort in Zero Energy Buildings.

Energy Procedia, 134, 825–834.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.536>

Pongrácz, R., Bartholy, J., Dezső, Z., & Dian, C. (2016). Analysis of The Air Temperature and Relative Humidity Measurements in Budapest-Ferencváros. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65(2), 93–103.

<https://doi.org/10.15201/hungeobull.65.2.1>

Purwant, N. K., Satpute, J. B., & Tendolkar, M. V. (2020). An Investigation of Air Conditioning System Diagnosis. *Techno-Societal 2018, January*.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-16962-6>

Rahim, H. (2002). Pengaruh Orientasi Bangunan Terhadap Temperatur Ruang pada Rumah Sederhana Tipe 21 Perumnas BTP Makassar. *Universitas Hasanuddin*, 1–8.

Rotronic. (2014). Humidity Theory. *Rotronic*, 1.

<https://www.rotronic.com/media/productattachments/files/e/b/ebook-1-humidity-theory.pdf>

Saputro, T. H., Fatimah, I. S., & Sulistyantara, B. (2005). Studi Pengaruh Area Perkerasan Terhadap Perubahan Suhu Udara (Studi Kasus Area Parkir Plaza Senayan, Sarinah Thamrin, dan Stasiun Gambir). *Jurnal Lanskap Indonesia*, 1–7. <https://doi.org/10.29244/jli.2010.2.2.%p>

Silva, S. M., & Almeida, M. G. de. (2013). Using PCM to improve building's thermal performance. *2nd International Conference on Sustainable*, 2–7.

https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/25781/3/SESBConference-Dublin_SMS.pdf

Simons, B., Koranteng, C., Adinyira, E., & Ayarkwa, J. (2014). An Assessment of Thermal Comfort in Multi Storey Office Buildings in Ghana. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 02(01), 30–38.

<https://doi.org/10.4236/jbcpr.2014.21003>

- Sipayung, M. N. P. (2012). *Curah Hujan (Studi Kasus : Curah Hujan Periode 2001-2009 pada Stasiun Dramaga)*.
- Sofyan, A. (2002). Studi Tingkat Kenyamanan Termal pada Ruang Pelajar dan Studio Gambar Universitas Pepabri Makasar. *Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin*, 1–10.
- Susanti, L., & Aulia, N. (2013). Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang. *Universitas Andalas*, 1–7.
<https://doi.org/10.25077/josi.v12.n1.p310-316.2013>
- Tanabe, S. ichi, & Kimura, K. ichi. (1994). Effects of air temperature, humidity, and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions. *ASHRAE Transactions*, 100(2), 953–969.
- Vedavarz, A., Kumar, S., & Hussain, M. I. (2007). *HVAC: Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation*.
- Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Meier, F., & Endlicher, W. (2015). The Difference Between The Mean Radiant Temperature and The Air Temperature Within Indoor Environments: A Case Study During Summer Conditions. *Building and Environment*, 84, 151–161.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.004>
- Wang, S. K. (2001). Air Conditioning Systems: System Classification, Selection, and Individual Systems. In *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*.
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2007). The Effects of Moderately Raised Classroom Temperatures and Classroom Ventilation Rate on The Performance of Schoolwork by Children (RP-1257). *HVAC and R Research*, 13(2), 193–220. <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390951>
- Watt, J. R. (1986). *Evaporative Air Conditioning Handbook*. In □□□□□□: Vol. □□□□ (Second Edi, Issue ثقفنق ثق). Chapman and Hall.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2259-7>

World Health Organization. (1991). Environmental Health in Rural and Urban Development and Housing Unit. *Indoor Environment: Health Aspects of Air Quality, Thermal Environment, Light and Noise*, 1–127.

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/62723>

Yunianto, B. (2018). Pemanfaatan Evaporative Cooling untuk Meningkatkan Kenyamanan Ruang. *Rotasi*, 20(1), 29.

<https://doi.org/10.14710/rotasi.20.1.29-32>



LAMPIRAN



Lampiran 1 Kuisisioner Penelitian Kenyamanan Termal Ruang Kuliah di Gedung
Mohammad Natsir FTSP UII

Identitas responden

Nama :
Nim :
Jenis Kelamin : L/P (*Lingkarin salah satu*)

PETUNJUK PENGISIAN:

Berdasarkan atas kenyamanan mahasiswa/i, berilah tanda centang (√) pada kolom bobot nilai alternatif jawaban yang sesuai mahasiswa/i rasakan.

Keterangan:

AD : Agak Dingin
N : Netral
AP : Agak Panas
P : Panas
SP : Sangat Panas

Kuisisioner ini dimaksudkan untuk mengetahui persepsi mahasiswa/i terhadap tingkat kepuasan kenyamanan termal diruangan kuliah. Kuisisioner ini berdasarkan ASHRAE *Standard 55-2017*.

No	Daftar Pertanyaan	Alternatif Jawaban				
		AD	N	AP	P	SP
		1	2	3	4	5
1	Ketika anda memasuki ruangan kuliah, apa pendapat anda terhadap temperatur udara ruangan kuliah?					
2	Ketika anda berada di dalam ruangan (duduk belajar) dengan kondisi jendela terbuka, apa yang ada rasakan?					
3	Ketika anda berada di dalam ruangan (duduk belajar) dengan kondisi jendela tertutup, apa yang ada rasakan?					
4	Apa yang anda rasakan ketika menggunakan baju tambahan (jaket/ sweter/lain-lain) di dalam kelas?					
5	Apa yang anda rasakan ketika memasuki ruangan kuliah sekembalinya dari waktu istirahat?					

Lampiran 2 Hasil Pengukuran Pagi Hari (09:30-10:30)

Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
II/3	Temperatur ($^{\circ}$ C)	27,2	27,3	27,1	27,3	27,1	28,2	28	28,1	27,9	27,9	28,6	28,5	28,4	28,3	26,6	26,8	26,9	27	26,9	27,2	27	27	27,4	27,4	27,54	Hasil Pengukuran (2020)	
	Kelembaban (%)	73,1	73,6	73,7	73,5	73,4	75,1	75,4	75,5	75,8	75,7	72,8	73	73,6	74,4	74,5	77,6	77,3	77,1	77	77,1	73,3	73,6	73,7	73,2	73,1		74,64
	Kecepatan Angin (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	23					34					17					31					33						27,60
	Temperatur Basah Pendugaan ($^{\circ}$ C)	23,4	23,6	23,4	23,6	23,3	24,9	24,7	24,8	24,6	24,6	24,8	24,7	24,7	24,7	24,6	23,4	23,6	23,7	23,8	23,7	23,4	23,2	23,2	23,4	23,4	23,97	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)
II/8	Temperatur ($^{\circ}$ C)	26,5	26,6	26,5	26,7	26,6	26,6	26,8	26,8	26,9	27	27,2	27,4	26,9	27,1	26,8	26,4	26,1	26,1	26,4	26,3	26,4	26,1	26,6	26,2	26,1	26,60	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelembaban (%)	76,7	76,6	76,8	76,5	76,6	76,5	76,2	76,1	76	75,9	76,3	76,1	76,4	76,1	76,5	76,1	76,5	76,4	76,1	76,3	75	75,2	74,8	75,4	75,6	76,09	
	Kecepatan Angin (m/s)	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0,02	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	24					27					0					25					27					20,60	
	Temperatur Basah Pendugaan ($^{\circ}$ C)	23,3	23,4	23,3	23,5	23,4	23,4	23,6	23,6	23,7	23,8	23,9	24,1	23,6	23,8	23,5	23,1	22,8	22,8	23,1	23	22,9	22,6	23,1	22,7	22,6	23,30	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)
VIP	Temperatur ($^{\circ}$ C)	27,1	27,2	27,4	27,6	27,7	27,5	27,5	27,6	27,2	27,7	26,8	26,9	27,1	27	26,9	26,6	26,4	26,9	26,7	26,5	27,2	27	27,4	27	27,2	27,12	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelembaban (%)	70,4	69,9	69,7	69,5	70	71,2	71,3	71	71,5	71	73,8	74,2	73,9	74	74,4	74,2	74,4	73,9	74,1	74,3	73,5	73,9	73,3	73,8	73,6	72,59	
	Kecepatan Angin (m/s)	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0,02	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	24					20					0					26					23					18,60	
	Temperatur Basah Pendugaan ($^{\circ}$ C)	22,9	23	23,2	23,4	23,5	23,3	23,3	23,4	23	23,5	23,1	23,2	23,4	23,3	23,2	22,9	22,7	23,2	23	22,8	23,5	23,3	23,7	23,3	23,5	23,22	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)

Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
III/8	Temperatur ($^{\circ}$ C)	28,1	28,3	28,3	28,2	28,4	28,4	28,7	28,5	28,8	28,9	29,3	29,2	28,9	29	29,2	27,2	27,1	27,4	27,3	27,2	27,4	27,3	27,5	27,2	27,3	28,12	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelembaban (%)	74,5	73,8	73,9	74,3	74,2	71,9	71,5	71,7	71,4	71,2	75,2	74,9	75,6	75,8	75,4	73,3	73,8	73,2	73,4	73,4	72,7	72,8	72,6	72,9	72,8	73,45	
	Kecepatan Angin (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	29					26					0					27					29					22,20	
	Temperatur Basah Pendugaan ($^{\circ}$ C)	24,4	24,6	24,6	24,5	24,7	24,4	24,7	24,5	24,8	24,9	25,5	25,4	25,1	25,2	25,4	23,4	23,3	23,6	23,5	23,4	23,6	23,5	23,7	23,4	23,5	24,30	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)
Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
III/14	Temperatur ($^{\circ}$ C)	26,8	26,6	26,5	26,6	26,7	27,2	27,1	27,4	27,5	27,4	27,5	27,7	27,4	28	28,1	27	27,2	27	27,1	27,2	26,6	26,5	26,6	26,7	26,6	27,08	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelembaban (%)	77,8	77	77,2	77	77,9	74,5	74,8	74,2	74,1	74,2	76,5	76,3	76	76,7	76,7	76,6	76,3	76,6	76,5	76,3	75,3	75,5	75	75,2	75,3	75,98	
	Kecepatan Angin (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	24					20					0					26					23					18,60	
	Temperatur Basah Pendugaan ($^{\circ}$ C)	23,6	23,4	23,3	23,4	23,5	23,4	23,3	23,6	23,7	23,6	24,3	24,5	24,2	24,8	24,9	23,8	24	23,8	23,9	24	23,1	23	23,1	23,2	23,1	23,70	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)

Lampiran 3 Hasil Pengukuran Siang Hari (13:30-14:30)

Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
II/3	Temperatur (⁰ C)	30,3	30,3	30,5	30,4	30,6	30,7	30,9	30,8	30,5	30,9	31,2	31,4	30,9	31,2	31,1	28,9	28,7	28,5	28,5	28,5	30,6	30,4	30,5	30,8	31	30,32	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelambaban (%)	68,9	68,8	68,5	68,6	68,2	70,8	70,5	70,8	70,9	70,5	67,1	66,8	66,7	67,1	67,3	76,9	76,3	77	77	77,1	68,9	69,2	69	68,5	68,2	70,38	
	Kecepatan angin (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	25					26					30					19					23					24,60	
	Temperatur basah pendugaan (⁰ C)	25,8	25,8	26	25,9	26,1	26,7	26,9	26,8	26,5	26,9	26,9	27,1	26,6	26,9	26,8	25,9	25,5	25,5	25,7	25,7	25,9	25,7	25,8	26,1	26,3	26,23	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)

Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
II/8	Temperatur (⁰ C)	28,9	28,9	29	28,9	29	29,4	29,3	29,2	29,1	29,2	29,4	29,2	29,3	29,4	29,2	28,3	28,8	28,6	28,5	28,4	29,6	29,6	29,5	29,5	29,3	29,1	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelambaban (%)	72,4	72,8	72,6	72,7	72,6	70,2	70,3	70,5	70,7	70,5	69,6	69,8	69,7	69,6	69,8	77,9	77,7	78,5	79	79,9	71,5	71,6	71,7	71,6	71,9	72,60	
	Kecepatan angin (m/s)	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0,02	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	38					21					0					14					17					18,00	
	Temperatur basah pendugaan (⁰ C)	25,1	25,1	25,2	25,1	25,2	25,1	25	24,9	24,8	24,9	24,9	24,7	24,8	24,9	24,7	25	25,5	25,6	25,5	25,4	25,4	25,4	25,3	25,3	25,1	25,12	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)

Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
VIP	Temperatur (⁰ C)	30,8	30,7	31,1	31	30,9	30,7	30,9	30,9	30,8	30,8	31,5	31,3	31,6	31,5	31,6	29,6	29,6	29,5	29,4	29,3	31	30,9	31,1	31	31,1	30,74	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelambaban (%)	67	67,5	67,5	67,6	67,7	67,7	67,3	67,3	67,5	67,5	68,2	68,5	68	68,2	68	78,9	79	79,2	79,5	79,7	67,7	67,9	67,5	67,7	67,6	70,01	
	Kecepatan angin (m/s)	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0,02	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	30					21					0					30					24					21,00	
	Temperatur basah pendugaan (⁰ C)	25,8	25,7	26,1	26	25,9	25,9	26,1	26,1	26	26	26,5	26,3	26,6	26,5	26,6	26,6	26,8	26,7	26,6	26,5	26,2	26,1	26,3	26,2	26,3	26,26	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)

Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
III/8	Temperatur ($^{\circ}$ C)	30,6	30,8	30,6	30,7	30,9	31,3	31,2	31,2	31	31	31,8	31,7	31,7	31,6	31,6	29,3	29,1	28,9	28,7	28,6	30,5	30,6	30,3	30,4	30,4	30,58	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelembaban (%)	68,5	68,2	68,5	68,3	67,8	69,6	69,9	70,2	70,4	70,2	71	71,1	71,1	71,3	71,3	75,9	76,2	76,3	76,5	76,7	70,6	70,4	70,8	70,5	70,5	71,27	
	Kecepatan angin (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	26					26					0					23					27					20,40	
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}$ C)	25,8	26	25,8	25,9	26,1	26,8	26,7	26,7	26,5	26,5	27,3	27,2	27,2	27,1	27,1	25,8	25,6	25,4	25,2	25,1	26,2	26,3	26	26,1	26,1	26,26	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)
Ruangan Kuliah	Parameter	Senin					Selasa					Rabu					Kamis					Jumat					Rata-Rata	Sumber
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
III/14	Temperatur ($^{\circ}$ C)	27,8	27,9	27,9	27,9	27,9	30,6	30,5	30,5	30,6	30,5	30,6	30,5	30,5	30,7	30,7	29,5	29,6	29,5	29,4	29,2	29,7	29,4	29,5	29,3	29,3	29,58	Hasil Pengukuran (2020)
	Kelembaban (%)	72,3	73,4	72,8	73,2	72,9	67,5	68,1	68	67,7	68,2	70,2	70,3	70	70,1	76,4	76,3	76,5	76,8	77,1	71,4	71,7	71,5	71,8	71,8	71,85		
	Kecepatan angin (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Jumlah Mahasiswa (Orang)	37					6					0					14					27					16,80	
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}$ C)	24	24,1	24,1	24,1	24,1	25,8	25,7	25,7	25,8	25,7	26,1	26	26	26,2	26,2	26,2	26,3	26,2	26,1	25,9	25,7	25,4	25,5	25,3	25,3	25,50	Hasil pendugaan berdasarkan Anonim (2004)

Lampiran 4 Nilai Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)

Ruang Kuliah (Waktu Pengukuran)	Nilai PMV	Skala PMV	PPD	Grafik
II/3 (Pagi)	+1	Slightly warm	26,10%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p> <p>The graph shows a parabolic curve representing the relationship between PMV (x-axis, ranging from -3 to 3) and PPD (y-axis, ranging from 0 to 100). A black dot is plotted at PMV = +1, corresponding to a PPD of 26.10%.</p>
II/3 (Siang)	+2	Warm	76,80%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p> <p>The graph shows a parabolic curve representing the relationship between PMV (x-axis, ranging from -3 to 3) and PPD (y-axis, ranging from 0 to 100). A black dot is plotted at PMV = +2, corresponding to a PPD of 76.80%.</p>
II/3 (Rata-Rata)	+1,5	Slightly warm	49,60%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p> <p>The graph shows a parabolic curve representing the relationship between PMV (x-axis, ranging from -3 to 3) and PPD (y-axis, ranging from 0 to 100). A black dot is plotted at PMV = +1.5, corresponding to a PPD of 49.60%.</p>
II/8 (Pagi)	+0,7	Slightly warm	15,30%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p> <p>The graph shows a parabolic curve representing the relationship between PMV (x-axis, ranging from -3 to 3) and PPD (y-axis, ranging from 0 to 100). A black dot is plotted at PMV = +0.7, corresponding to a PPD of 15.30%.</p>

II/8 (Siang)	+1,5	Slightly warm	50,90%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
II/8 (Rata-Rata)	+1,1	Slightly warm	31,60%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
VIP (Pagi)	+0,8	Slightly warm	18,50%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
VIP (Siang)	+2,1	Warm	81,10%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
VIP (Rata-Rata)	+1,4	Slightly warm	46,80%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>

III/8 (Pagi)	+1,2	Slightly warm	35,20%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
III/8 (Siang)	+2	Warm	76,80%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
III/8 (Rata-Rata)	+1,6	Warm	56,50%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
III/14 (Pagi)	+0,8	Slightly warm	18,50%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>
III/14 (Siang)	+1,7	Warm	61,80%	<p>HASIL ANALISIS PMV DAN PPD</p>

III/14 (Rata-Rata)	+1,3	Slightly warm	38,30%	
--------------------	------	---------------	--------	--

Contoh Perhitungan PMV dan PPD di Ruang II/3 pada pagi hari:

$$\begin{aligned}
 PMV \text{ Value} &= TS + (M - HL_1 - HL_2 - HL_3 - HL_4 - HL_5 - HL_6) \\
 &= -0,61 + (58,15 - 16,22 - 0 - 5,8 - 0,53 - 22,82 - 15,45) \\
 &= +1
 \end{aligned}$$

Dimana:

T_s (Thermal sensation to skin tran coef)

$$TS = 0,303 \exp(-0,036(58,15)) + 0,028 = -1,69$$

$$M = 1 \times 58,15 = 58,15$$

$$TA = \text{Temperatur Udara} = 27,54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$RH = \text{Kelembapan Relatif} = 74,64 \%$$

$$FNPS = \exp(16,6536 - 4030,183 \div (27,54 + 235)) = 1,29$$

$$PA = 74,64\% \times 10 \times 1,29 = 9,63$$

HL_1 (Skin diss Loss)

$$HL_1 = 3,05 \times 0,001 \times (5733 - 6,99 \times 58,15 - 9,63) = 16,22$$

HL_2 (Sweat loss)

$HL_2 =$ ada 2 kemungkinan, kalau nilai $M \geq 58,15$ maka :

$$HL_2 = 0,42 \times (M - 58,15) \text{ selain itu } HL_2 = 0$$

HL_3 (Latent respiration loss)

$$HL_3 = 1,7 \times 0,00001 \times 58,15(5867 - 9,63) = 5,8$$

HL_4 (Dry respiration loss)

$$HL_4 = 0,0014 \times 58,15 \times (34 - 27,54) = 0,53$$

$$CLO = \text{Total Insulasi Kombinasi Pakaian} = 0,59$$

Untuk mencari FCL dibutuhkan ICL

$$ICL = 0,155 \times 0,59 = 0,09$$

Bila $ICL < 0,078$ Maka $FCL = 1 + 1,29 \times ICL$

selain itu kalau $\geq 0,078$ ialah $1,05 + 0,645 \times ICL$

$$FCL = 1,05 + 0,645 \times 0,09 = 1,11$$

T_r = Temperatur Radiasi = 27,31 °C

T_{RA} = 27,31 °C + 273 = 300,31

T_{CLA} = 300,31 + (35,5 - 27,54) : (3,5 x (6,45 x 0,09 + 0,1)) = 303,65

X_N = 303,65 ÷ 100 = 3,04

HL_5 (*Radiation loss*)

$$HL_5 = 3,96 \times 1,11 \times \left(3,04^2 - \frac{300,31}{100}\right)^2 = 22,82$$

HL_6 (*Convection loss*)

$$HL_6 = 1,11 \times 11,644 \times (303,65 - 27,54 + 300) = 15,45$$

Untuk mengetahui nilai HC harus mengetahui HCF dan HCN

Vel = Kecepatan udara = 0,02 m/s

$$HCF = 12,1 \times 0,02^{1/2} + 9,95 = 11,644$$

$$HCN = 2,38 \times \text{abs}(100 \times 6,07 - 300,31)^{0,25} = 9,95$$

$$HC = 11,644$$

$$XF = \frac{303,65}{50} = 6,07$$

Bila $HCF > HCN$ maka $HC = HCF$

bila $< HCN$ maka $HC = HCN$

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp - (10,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)$$

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp - (10,03353 \times 1^4 + 0,2179 \times 1^2) = 26,1\%$$

Ruang Kuliah II/8 Sampling Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	0	7	12	3	2	7	4	10	2	1	3	7	8	4	2	3	5	11	5	0	3	10	7	3	1
	Jumlah Siswa	24																								
	Persentase (%)	0%	29%	50%	13%	8%	29%	17%	42%	8%	4%	13%	29%	33%	17%	8%	13%	21%	46%	21%	0%	13%	42%	29%	13%	4%
Selasa	Total Jawaban	0	6	14	5	2	4	7	12	3	1	1	8	10	5	4	2	4	15	3	2	1	4	14	5	3
	Jumlah Siswa	27																								
	Persentase (%)	0%	22%	52%	19%	7%	15%	26%	44%	11%	4%	4%	30%	37%	19%	15%	7%	15%	56%	11%	7%	4%	15%	52%	19%	11%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	3	13	5	4	0	2	12	6	4	1	3	4	12	3	3	5	8	9	1	2	7	3	10	4	1
	Jumlah Siswa	25																								
	Persentase (%)	12%	52%	20%	16%	0%	8%	48%	24%	16%	4%	12%	16%	48%	12%	12%	20%	32%	36%	4%	8%	28%	12%	40%	16%	4%
Jumat	Total Jawaban	4	7	10	4	2	3	9	12	2	1	3	7	10	4	3	2	12	9	3	1	5	5	13	2	2
	Jumlah Siswa	27																								
	Persentase (%)	15%	26%	37%	15%	7%	11%	33%	44%	7%	4%	11%	26%	37%	15%	11%	7%	44%	33%	11%	4%	19%	19%	48%	7%	7%
Rata-Rata Persentase (%)		7%	32%	40%	15%	6%	16%	31%	39%	11%	4%	10%	25%	39%	16%	12%	12%	28%	43%	12%	5%	16%	22%	42%	14%	7%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah II/8 Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB) Berdasarkan Kuisioner																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	13,33%	27,50%					40,00%					14,17%					5,00%									
Selasa	5,93%	21,48%					48,15%					15,56%					8,89%									
Rabu																										
Kamis	16,00%	32,00%					33,60%					12,80%					5,60%									
Jumat	12,59%	29,63%					40,00%					11,11%					6,67%									
Rata-Rata	11,96%	27,65%					40,44%					13,41%					6,54%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	103																									

Ruang Kuliah VIP Sampling Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	0	15	7	2	0	8	14	0	2	0	1	4	14	4	1	0	2	10	8	4	2	10	8	3	1
	Jumlah Siswa	24																								
	Persentase (%)	0%	63%	29%	8%	0%	33%	58%	0%	8%	0%	4%	17%	58%	17%	4%	0%	8%	42%	33%	17%	8%	42%	33%	13%	4%
Selasa	Total Jawaban	0	5	5	10	0	1	9	8	2	0	0	1	5	10	4	0	0	4	8	8	0	4	6	9	1
	Jumlah Siswa	20																								
	Persentase (%)	0%	25%	25%	50%	0%	5%	45%	40%	10%	0%	0%	5%	25%	50%	20%	0%	0%	20%	40%	40%	0%	20%	30%	45%	5%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	1	9	8	4	4	3	6	6	7	4	4	8	5	6	3	2	5	6	8	5	2	4	8	9	3
	Jumlah Siswa	26																								
	Persentase (%)	4%	35%	31%	15%	15%	12%	23%	23%	27%	15%	15%	31%	19%	23%	12%	8%	19%	23%	31%	19%	8%	15%	31%	35%	12%
Jumat	Total Jawaban	1	8	5	6	3	3	7	5	4	4	8	6	4	3	2	4	5	10	2	2	3	5	12	2	1
	Jumlah Siswa	23																								
	Persentase (%)	4%	35%	22%	26%	13%	13%	30%	22%	17%	17%	35%	26%	17%	13%	9%	17%	22%	43%	9%	9%	13%	22%	52%	9%	4%
Rata-Rata Persentase (%)		2%	39%	27%	25%	7%	16%	39%	21%	16%	8%	14%	20%	30%	26%	11%	6%	12%	32%	28%	21%	7%	25%	37%	25%	6%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah VIP Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB) Berdasarkan Kuisioner																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	9,17%	37,50%					32,50%					15,83%					5,00%									
Selasa	1,00%	19,00%					28,00%					39,00%					13,00%									
Rabu																										
Kamis	9,23%	24,62%					25,38%					26,15%					14,62%									
Jumat	16,52%	26,96%					31,30%					14,78%					10,43%									
Rata-Rata	8,98%	27,02%					29,30%					23,94%					10,76%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	93																									

Ruang Kuliah III/8 Sampling Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	2	16	7	4	0	5	14	10	0	0	0	6	7	13	3	0	3	7	12	7	0	7	10	12	0
	Jumlah Siswa	29																								
	Persentase (%)	7%	55%	24%	14%	0%	17%	48%	34%	0%	0%	0%	21%	24%	45%	10%	0%	10%	24%	41%	24%	0%	24%	34%	41%	0%
Selasa	Total Jawaban	1	3	7	10	5	1	4	8	9	4	1	4	4	9	8	1	2	5	12	6	0	5	6	8	7
	Jumlah Siswa	26																								
	Persentase (%)	4%	12%	27%	38%	19%	4%	15%	31%	35%	15%	4%	15%	15%	35%	31%	4%	8%	19%	46%	23%	0%	19%	23%	31%	27%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	4	7	12	3	1	6	6	11	2	2	3	3	10	9	2	6	3	5	10	3	3	8	9	6	1
	Jumlah Siswa	27																								
	Persentase (%)	15%	26%	44%	11%	4%	22%	22%	41%	7%	7%	11%	11%	37%	33%	7%	22%	11%	19%	37%	11%	11%	30%	33%	22%	4%
Jumat	Total Jawaban	8	8	8	3	2	2	5	12	5	5	4	7	6	9	3	3	2	8	9	7	4	9	10	5	1
	Jumlah Siswa	29																								
	Persentase (%)	28%	28%	28%	10%	7%	7%	17%	41%	17%	17%	14%	24%	21%	31%	10%	10%	7%	28%	31%	24%	14%	31%	34%	17%	3%
Rata-Rata Persentase (%)		13%	30%	31%	18%	7%	13%	26%	37%	15%	10%	7%	18%	24%	36%	15%	9%	9%	22%	39%	21%	6%	26%	31%	28%	9%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah III/8 Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB) Berdasarkan Kuisisioner																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	4,83%	31,72%					28,28%					28,28%					6,90%									
Selasa	3,08%	13,85%					23,08%					36,92%					23,08%									
Rabu																										
Kamis	16,30%	20,00%					34,81%					22,22%					6,67%									
Jumat	14,48%	21,38%					30,34%					21,38%					12,41%									
Rata-Rata	9,67%	21,74%					29,13%					27,20%					12,26%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	111																									

Ruang Kuliah III/14 Sampling Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	2	9	10	2	1	3	9	7	3	2	1	4	11	4	4	4	4	12	4	0	2	10	8	3	1
	Jumlah Siswa	24																								
	Persentase (%)	8%	38%	42%	8%	4%	13%	38%	29%	13%	8%	4%	17%	46%	17%	17%	17%	17%	50%	17%	0%	8%	42%	33%	13%	4%
Selasa	Total Jawaban	1	5	8	4	2	1	7	8	4	0	1	10	6	3	0	3	7	6	3	1	2	4	11	2	1
	Jumlah Siswa	20																								
	Persentase (%)	5%	25%	40%	20%	10%	5%	35%	40%	20%	0%	5%	50%	30%	15%	0%	15%	35%	30%	15%	5%	10%	20%	55%	10%	5%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	1	9	8	4	4	5	5	9	4	3	4	10	5	6	1	4	6	11	3	2	4	10	9	1	2
	Jumlah Siswa	26																								
	Persentase (%)	4%	35%	31%	15%	15%	19%	19%	35%	15%	12%	15%	38%	19%	23%	4%	15%	23%	42%	12%	8%	15%	38%	35%	4%	8%
Jumat	Total Jawaban	1	9	8	5	0	5	10	6	1	1	3	12	4	2	2	4	10	5	1	3	3	7	8	4	1
	Jumlah Siswa	23																								
	Persentase (%)	4%	39%	35%	22%	0%	22%	43%	26%	4%	4%	13%	52%	17%	9%	9%	17%	43%	22%	4%	13%	13%	30%	35%	17%	4%
Rata-Rata Persentase (%)		5%	34%	37%	16%	7%	15%	34%	32%	13%	6%	9%	39%	28%	16%	7%	16%	30%	36%	12%	6%	12%	33%	39%	11%	5%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah III/14 Pagi (09:30 WIB-10:30 WIB) Berdasarkan Kuisisioner																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	10,00%	30,00%					40,00%					13,33%					6,67%									
Selasa	8,00%	33,00%					39,00%					16,00%					4,00%									
Rabu																										
Kamis	13,85%	30,77%					32,31%					13,85%					9,23%									
Jumat	13,91%	41,74%					26,96%					11,30%					6,09%									
Rata-Rata	11,44%	33,88%					34,57%					13,62%					6,50%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	93																									

Lampiran 6 Hasil Kuisiener Siang hari

Ruang Kuliah II/3 Sampling Siang (13:30 WIB-14:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	2	6	5	6	6	0	5	9	7	4	1	5	7	9	3	2	2	7	9	5	1	2	10	8	4
	Jumlah Siswa	25																								
	Persentase (%)	8%	24%	20%	24%	24%	0%	20%	36%	28%	16%	4%	20%	28%	36%	12%	8%	8%	28%	36%	20%	4%	8%	40%	32%	16%
Selasa	Total Jawaban	1	1	11	8	5	2	3	9	6	6	0	5	8	9	4	0	7	9	10	0	3	3	9	8	3
	Jumlah Siswa	26																								
	Persentase (%)	4%	4%	42%	31%	19%	8%	12%	35%	23%	23%	0%	19%	31%	35%	15%	0%	27%	35%	38%	0%	12%	12%	35%	31%	12%
Rabu	Total Jawaban	1	5	12	6	6	4	5	8	12	1	3	6	8	8	5	2	4	13	9	2	1	7	10	7	5
	Jumlah Siswa	30																								
	Persentase (%)	3%	17%	40%	20%	20%	13%	17%	27%	40%	3%	10%	20%	27%	27%	17%	7%	13%	43%	30%	7%	3%	23%	33%	23%	17%
Kamis	Total Jawaban	2	11	5	1	0	8	8	2	1	0	0	5	8	5	1	0	1	8	5	5	0	7	7	4	1
	Jumlah Siswa	19																								
	Persentase (%)	11%	58%	26%	5%	0%	42%	42%	11%	5%	0%	0%	26%	42%	26%	5%	0%	5%	42%	26%	26%	0%	37%	37%	21%	5%
Jumat	Total Jawaban	0	5	6	7	5	1	2	8	8	4	3	3	6	5	6	2	1	9	9	2	0	4	10	6	3
	Jumlah Siswa	23																								
	Persentase (%)	0%	22%	26%	30%	22%	4%	9%	35%	35%	17%	13%	13%	26%	22%	26%	9%	4%	39%	39%	9%	0%	17%	43%	26%	13%
Rata-Rata Persentase (%)		5%	25%	31%	22%	17%	13%	20%	29%	26%	12%	5%	20%	31%	29%	15%	5%	12%	37%	34%	12%	4%	19%	38%	27%	13%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah II/3 Siang (13:30 WIB-14:30 WIB) Berdasarkan Kuisiener																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	4,80%	16,00%					30,40%					31,20%					17,60%									
Selasa	4,62%	14,62%					35,38%					31,54%					13,85%									
Rabu	7,33%	18,00%					34,00%					28,00%					12,67%									
Kamis	10,53%	33,68%					31,58%					16,84%					7,37%									
Jumat	5,22%	13,04%					33,91%					30,43%					17,39%									
Rata-Rata	6,50%	19,07%					33,06%					27,60%					13,77%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	123																									

Ruang Kuliah II/8 Sampling Siang (13:30 WIB-14:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	0	7	13	14	4	2	13	16	7	0	0	1	4	17	16	0	0	3	16	19	0	3	16	15	4
	Jumlah Siswa	38																								
	Persentase (%)	0%	18%	34%	37%	11%	5%	34%	42%	18%	0%	0%	3%	11%	45%	42%	0%	0%	8%	42%	50%	0%	8%	42%	39%	11%
Selasa	Total Jawaban	1	7	6	4	3	0	5	4	9	3	0	3	7	10	1	3	5	7	3	3	2	2	6	8	3
	Jumlah Siswa	21																								
	Persentase (%)	5%	33%	29%	19%	14%	0%	24%	19%	43%	14%	0%	14%	33%	48%	5%	14%	24%	33%	14%	14%	10%	10%	29%	38%	14%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	0	12	1	1	0	8	5	1	0	0	0	1	9	3	1	0	0	11	3	0	2	6	6	0	0
	Jumlah Siswa	14																								
	Persentase (%)	0%	86%	7%	7%	0%	57%	36%	7%	0%	0%	0%	7%	64%	21%	7%	0%	0%	79%	21%	0%	14%	43%	43%	0%	0%
Jumat	Total Jawaban	1	3	7	4	2	1	2	8	3	3	3	5	5	2	2	2	2	8	2	3	0	7	5	4	1
	Jumlah Siswa	17																								
	Persentase (%)	6%	18%	41%	24%	12%	6%	12%	47%	18%	18%	18%	29%	29%	12%	12%	12%	12%	47%	12%	18%	0%	41%	29%	24%	6%
Rata-Rata Persentase (%)		3%	39%	28%	22%	9%	17%	26%	29%	20%	8%	4%	13%	34%	31%	16%	7%	9%	42%	22%	20%	6%	25%	36%	25%	8%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah II/8 Siang (13:30 WIB-14:30 WIB) Berdasarkan Kuisisioner																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	1,05%	12,63%					27,37%					36,32%					22,63%									
Selasa	5,71%	20,95%					28,57%					32,38%					12,38%									
Rabu																										
Kamis	14,29%	34,29%					40,00%					10,00%					1,43%									
Jumat	8,24%	22,35%					38,82%					17,65%					12,94%									
Rata-Rata	7,32%	22,56%					33,69%					24,09%					12,35%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	90																									

Ruang Kuliah VIP Sampling Siang (13:30 WIB-14:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	0	11	16	2	1	5	18	5	1	1	0	0	13	9	8	0	3	3	15	9	2	8	15	3	2
	Jumlah Siswa	30																								
	Persentase (%)	0%	37%	53%	7%	3%	17%	60%	17%	3%	3%	0%	0%	43%	30%	27%	0%	10%	10%	50%	30%	7%	27%	50%	10%	7%
Selasa	Total Jawaban	0	5	5	7	4	0	1	5	9	6	1	4	4	7	5	1	1	2	10	7	2	2	4	9	4
	Jumlah Siswa	21																								
	Persentase (%)	0%	24%	24%	33%	19%	0%	5%	24%	43%	29%	5%	19%	19%	33%	24%	5%	5%	10%	48%	33%	10%	10%	19%	43%	19%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	3	9	7	9	2	5	10	6	8	1	0	3	7	11	9	0	5	4	8	13	4	2	7	11	6
	Jumlah Siswa	30																								
	Persentase (%)	10%	30%	23%	30%	7%	17%	33%	20%	27%	3%	0%	10%	23%	37%	30%	0%	17%	13%	27%	43%	13%	7%	23%	37%	20%
Jumat	Total Jawaban	0	1	5	12	6	0	5	5	7	7	1	3	7	6	7	1	2	9	8	4	2	4	9	5	4
	Jumlah Siswa	24																								
	Persentase (%)	0%	4%	21%	50%	25%	0%	21%	21%	29%	29%	4%	13%	29%	25%	29%	4%	8%	38%	33%	17%	8%	17%	38%	21%	17%
Rata-Rata Persentase (%)		3%	24%	30%	30%	14%	8%	30%	20%	26%	16%	2%	10%	29%	31%	27%	2%	10%	18%	39%	31%	9%	15%	32%	28%	16%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah VIP Siang (13:30 WIB-14:30 WIB) Berdasarkan Kuisisioner																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	4,67%	26,67%					34,67%					20,00%					14,00%									
Selasa	3,81%	12,38%					19,05%					40,00%					24,76%									
Rabu																										
Kamis	8,00%	19,33%					20,67%					31,33%					20,67%									
Jumat	3,33%	12,50%					29,17%					31,67%					23,33%									
Rata-Rata	4,95%	17,72%					25,89%					30,75%					20,69%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	105																									

Ruang Kuliah III/8 Sampling Siang (13:30 WIB-14:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	0	7	10	5	4	5	8	7	5	1	0	4	3	6	13	2	2	4	13	5	0	5	10	5	6
	Jumlah Siswa	26																								
	Persentase (%)	0%	27%	38%	19%	15%	19%	31%	27%	19%	4%	0%	15%	12%	23%	50%	8%	8%	15%	50%	19%	0%	19%	38%	19%	23%
Selasa	Total Jawaban	0	10	7	5	4	4	9	10	0	3	0	4	4	7	11	0	0	6	6	14	0	5	8	6	7
	Jumlah Siswa	26																								
	Persentase (%)	0%	38%	27%	19%	15%	15%	35%	38%	0%	12%	0%	15%	15%	27%	42%	0%	0%	23%	23%	54%	0%	19%	31%	23%	27%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	1	8	5	6	3	5	10	6	1	1	0	2	4	11	6	0	0	5	8	10	0	6	7	8	2
	Jumlah Siswa	23																								
	Persentase (%)	4%	35%	22%	26%	13%	22%	43%	26%	4%	4%	0%	9%	17%	48%	26%	0%	0%	22%	35%	43%	0%	26%	30%	35%	9%
Jumat	Total Jawaban	1	8	9	6	3	5	8	7	4	3	2	4	3	10	8	3	3	4	4	13	2	7	7	5	6
	Jumlah Siswa	27																								
	Persentase (%)	4%	30%	33%	22%	11%	19%	30%	26%	15%	11%	7%	15%	11%	37%	30%	11%	11%	15%	15%	48%	7%	26%	26%	19%	22%
Rata-Rata Persentase (%)		2%	32%	30%	22%	14%	19%	35%	29%	10%	8%	2%	14%	14%	34%	37%	5%	5%	19%	31%	41%	2%	23%	31%	24%	20%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah III/8 Siang (13:30 WIB-14:30 WIB) Berdasarkan Kuisisioner																										
Hari		Agak Dingin					Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas				
Senin		5,38%					20,00%					26,15%					26,15%					22,31%				
Selasa		3,08%					21,54%					26,92%					18,46%					30,00%				
Rabu																										
Kamis		5,22%					22,61%					23,48%					29,57%					19,13%				
Jumat		9,63%					22,22%					22,22%					21,48%					24,44%				
Rata-Rata		5,83%					21,59%					24,69%					23,92%					23,97%				
Jumlah Mahasiswa/Responden		102																								

Ruang Kuliah III/14 Sampling Siang (13:30 WIB-14:30 WIB)																										
Hari		Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5				
		AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP	AD	N	AP	P	SP
Senin	Total Jawaban	0	14	8	12	3	8	12	9	5	3	0	4	8	8	17	0	0	9	14	14	2	7	11	13	4
	Jumlah Siswa	37																								
	Persentase (%)	0%	38%	22%	32%	8%	22%	32%	24%	14%	8%	0%	11%	22%	22%	46%	0%	0%	24%	38%	38%	5%	19%	30%	35%	11%
Selasa	Total Jawaban	1	1	2	1	1	1	2	2	1	0	0	2	1	0	3	0	1	0	3	2	1	1	2	1	1
	Jumlah Siswa	6																								
	Persentase (%)	17%	17%	33%	17%	17%	17%	33%	33%	17%	0%	0%	33%	17%	0%	50%	0%	17%	0%	50%	33%	17%	17%	33%	17%	17%
Rabu	Total Jawaban																									
	Jumlah Siswa																									
	Persentase (%)																									
Kamis	Total Jawaban	0	3	5	6	0	2	6	6	0	0	0	1	2	10	1	0	0	1	7	6	0	4	2	8	0
	Jumlah Siswa	14																								
	Persentase (%)	0%	21%	36%	43%	0%	14%	43%	43%	0%	0%	0%	7%	14%	71%	7%	0%	0%	7%	50%	43%	0%	29%	14%	57%	0%
Jumat	Total Jawaban	3	5	12	5	2	5	9	6	5	2	2	7	11	7	0	4	5	12	4	2	4	8	8	4	3
	Jumlah Siswa	27																								
	Persentase (%)	11%	19%	44%	19%	7%	19%	33%	22%	19%	7%	7%	26%	41%	26%	0%	15%	19%	44%	15%	7%	15%	30%	30%	15%	11%
Rata-Rata Persentase (%)		7%	24%	34%	28%	8%	18%	35%	31%	12%	4%	2%	19%	23%	30%	26%	4%	9%	19%	38%	30%	9%	23%	27%	31%	10%
Persentase Tingkat Kenyamanan Termal di Ruang Kuliah III/14 Siang (13:30 WIB-14:30 WIB) Berdasarkan Kuisisioner																										
Hari	Agak Dingin	Netral					Agak Panas					Panas					Sangat Panas									
Senin	5,41%	20,00%					24,32%					28,11%					22,16%									
Selasa	10,00%	23,33%					23,33%					20,00%					23,33%									
Rabu																										
Kamis	2,86%	20,00%					22,86%					44,29%					10,00%									
Jumat	13,33%	25,19%					36,30%					18,52%					6,67%									
Rata-Rata	7,90%	22,13%					26,70%					27,73%					15,54%									
Jumlah Mahasiswa/Responden	84																									