

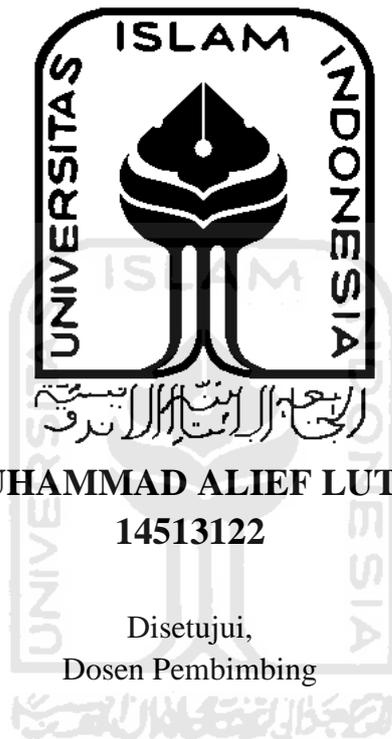
TUGAS AKHIR
EVALUASI KENYAMANAN TERMAL DI SEKOLAH
MENENGAH PERTAMA MUHAMMADIYAH 5
YOGYAKARTA



DISUSUN OLEH :
MUHAMMAD ALIEF LUTFI
(14513122)

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020

TUGAS AKHIR
EVALUASI KENYAMANAN TERMAL DI SEKOLAH
MENENGAH PERTAMA MUHAMMADIYAH 5
YOGYAKARTA
Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



MUHAMMAD ALIEF LUTFI
14513122

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Qorry Nugrahayu, S.T.,M.T.
NIK: 155131303
Tanggal:

Dr. Nur Aini Iswati H., S.T., M.Si.
NIK: 185130403
Tanggal:

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES, MSc, Ph.D.
NIK: 025100406
Tanggal:

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya peneliti telah diberi kemampuan untuk menyelesaikan tugas akhir, Evaluasi Kenyamanan Termal di Sekolah Menengah Pertama Muhammadiyah 5 Yogyakarta.

Penyusunan tugas akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan untuk memperoleh derajat sarjana strata satu Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan proposal penelitian ini peneliti banyak mendapatkan semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan UII, Bapak Eko Siswoyo S.T., M.Sc.ES., Ph.D
2. Dosen Pembimbing I, Ibu Qorry Nugrahayu, S.T., M.T
3. Dosen Pembimbing II, Ibu Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si..
4. Orangtua yang selalu memberikan dukungan moral dan mendoakan peneliti.
5. Teman-teman di Program Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah membantu peneliti dalam menyelesaikan laporan, Aji, Ical, Black, Sarah, Eya, Vandy, Hamidah, Alay Akhbel, Ica, Boy dan teman-teman luar kampus semuanya.
6. Pihak-pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Peneliti menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak terdapat berbagai kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi menyempurnakan proposal ini. Peneliti berharap semoga proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Yogyakarta, 12 Maret 2020

Penulis

ABSTRAK

MUHAMMAD ALIEF LUTFI. Evaluasi Kenyamanan Termal Di Sekolah Menengah Pertama Muhammadiyah 5 Yogyakarta. Dibimbing oleh Qorry Nugrahayu, S.T.,M.T dan Dr. Nur Aini Iswati H., S.T.,M.Si.

Kenyamanan termal secara umum dikenal sebagai rasa nyaman terhadap situasi panas di lingkungan sekitar tubuh, suasana kondisi kenyamanan termal selalu di hubungkan pada temperatur udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dan mengidentifikasi potensi peningkatan kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta. Analisis data menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel PMV kalkakulator dan kuisisioner. Perangkat lunak ini menghasilkan nilai PMV dan PPD. Meliputi data temperatur udara, temperatur radiant, kelembaban, kecepatan angin, nilai insulasi pakaian (CLO) dan nilai metabolisme manusia (MET). Hasil analisis kenyamanan termal di beberapa ruang kelas SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta menunjukkan nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) 1,0-1,6 dimana nilai indeks PMV tersebut masuk ke dalam kategori *Slightly Warm* dengan nilai *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) berkisar 46,05 %. Kuisisioner yang disebarakan ke murid yang ada di ruang kelas yang dilakukan bertujuan untuk mendukung nilai PPD. Hasil analisis rekapitulasi kuisisioner menunjukkan lebih dari 10% murid di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta merasa tidak nyaman. Dari nilai PMV,PPD dan Kuisisioner dapat disimpulkan kondisi kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta tidak nyaman. Dalam upaya peningkatan kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dapat dilakukan dengan penanaman pohon muda dalam pot, mengganti warna cat bangunan sekolah menjadi warna putih, mengganti ventilasi dengan bukaan 100%, dan mengganti besi pembatas kelas dengan tembok yang berwarna putih.

Kata Kunci : Kenyamanan termal, PMV, PPD, SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ABSTRACT

MUHAMMAD ALIEF LUTFI. *Evaluation of Thermal Comfort in Muhammadiyah 5 Yogyakarta Middle School. Supervised by Qorry Nugrahayu, S.T., M.T and Dr. Nur Aini Iswati H., S.T., M.Sc.*

Thermal comfort is generally known as a sense of comfort in hot situations in the environment around the body, the atmosphere of thermal comfort conditions is always connected to the temperature of the air. This study aims to determine the thermal conditions at SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta and identify the potential for increased thermal comfort at SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta. Data analysis using Microsoft Excel PMV calculators software. This software generates PMV and PPD values. Includes data on air temperature, radiant temperature, humidity, wind speed, insulation value (CLO) and human metabolic value (MET). The results of thermal comfort analysis in a number of classrooms at SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta show a Predicted Mean Vote (PMV) value of 1.0-1.6 where the PMV index value falls into the Slightly Warm category with a Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) value of around 46, 05%. The questionnaire distributed to students in the classroom conducted by the study aims to support the PPD grades. The results of the questionnaire recapitulation analysis showed that more than 10% of students in Muhammadiyah 5 Yogyakarta Middle School felt uncomfortable. From the PMV, PPD and Questionnaire values, it can be concluded that the condition of thermal comfort in SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta is uncomfortable. In an effort to improve thermal comfort in SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta, it can be done by planting young trees in pots, changing the paint color of school buildings to white, replacing ventilation with 100% openings, and replacing class boundary irons with white walls.

Keywords: Thermal comfort, PMV, PPD, SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kenyamanan Termal	5
2.2 Standar Kenyamanan Termal	9
2.3 Rekayasa Termal Bangunan	10
2.4 Studi Terdahulu	20
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Jenis Penelitian dan Kerangka Penelitian	25
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.3 Sumber Data	26
3.4 Pengumpulan Data dan Analisis Data	27
3.4.1 Pengukuran Faktor Lingkungan	27
3.4.2 Perhitungan Faktor Manusia	28
3.4.3 Rekayasa Termal Bangunan	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35

4.1	Gambaran Umum	35
4.2	Kondisi Lingkungan Termal	36
4.3	Analisis Kenyamanan Termal	37
4.4	Respon Kenyamanan Termal	41
4.5	Rekayasa Termal Bangunan	43
4.5.1	Kondisi Eksisting	43
4.5.2	Peningkatan Rekayasa Termal	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		51



DAFTAR TABEL

1. Nilai Insulasi Pakaian	7
2. Nilai MET	8
3. Batas Kenyamanan Termal Menurut SNI 03-6572-2001	9
4. Reflektivitas Kelembaban	11
5. Elemen Pelindung	15
6. Hasil Pengurangan Panas dari Radiasi Matahari	15
7. Shading Coefficient untuk Elemen Lanskap	16
8. Kecepatan Angin	17
9. Jenis Kaca	18
10. Radiasi Matahari dan Serapan Kalor	19
11. Koefisien Serapan Kalor Berdasarkan Warna	19
12. Studi Terdahulu	20
13. Opsi Peningkatan Kenyamanan Termal	32
14. Rekapitulasi Data Keseluruhan	39
15. Data Nilai Insulasi Pakaian	39
16. Hasil Perhitungan PMV Rata-rata di Ruang Kelas	40
17. Hasil Perhitungan PPD Rata-rata di Ruang Kelas	41
18. Rekapitulasi Data Kuisisioner Hasil Pagi Hari	41
19. Rekapitulasi Data Kuisisioner Hasil Siang Hari	42
20. Kondisi Eksisting	43
21. Peningkatan Rekayasa Termal	45

DAFTAR GAMBAR

1. Permukaan Tanah Akan Menentukan Perolehan Panas	11
2. Perbedaan Dimensi Inlet dan Outlet	12
3. Elemen Arsitektur sebagai Pelindung Radiasi Matahari	14
4. Jarak Pohon	16
5. Proses Konduksi	18
6. Diagram Aliran	25
7. Denah Lokasi	26
8. Titik Pengambilan	28
9. Anemometer	28
10. PMV Calculator V2	30
11. Hubungan PMV dan PPD	31
12. Data BMKG	36
13. Rekapitulasi Data Temperatur Udara	37
14. Rekapitulasi Data Temperatur Radiant	38
15. Rekapitulasi Data Kelembaban Relatif	38
16. Rekapitulasi Kuisisioner	42

DAFTAR LAMPIRAN

1. Skala Penelitian Kuisisioner	53
2. Hasil Pengukuran Pada Pagi Hari	54
3. Hasil Pengukuran Pada Siang Hari	55
4. Hasil Pengukuran Keseluruhan	56
5. Perhitungan CLO	57
6. Hasil PMV dan PPD	58
7. Hasil Data Skala Penelitian Kuisisioner Pada Pagi Hari	59
8. Hasil Data Skala Penelitian Kuisisioner Pada Siang Hari	61



DAFTAR SINGKATAN

1. SMP : Sekolah Menengah Pertama
2. TE : Temperatur
3. AC : *Air Conditioning*
4. PMV : *Predivtead Mean Vote*
5. PPD : *Predicted Percentage pf Dissafied*
6. AD : Agak Dingin
7. N : Netral
8. AP : Agak Panas
9. P : Panas
10. SP : Sangat Panas
11. SNI : Standar Nasional Indonesia
12. BMKG : Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
13. MET : *Metabolic Equivalent of Task*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenyamanan merupakan interaksi dan reaksi manusia dengan lingkungan yang terhindar dari rasa negatif dan bersifat individual. Kenyamanan terdiri dari kenyamanan psikis dan kenyamanan fisik. Kenyamanan psikis yaitu kenyamanan kejiwaan yang (nyaman, damai, bahagia, dan lain-lain) terukur secara subyektif (kualitatif). Kenyamanan fisik dapat terukur secara obyektif (kuantitatif) yang meliputi kenyamanan termal. Istilah kenyamanan termal yang paling bias sampai yang tidak bias, mulai dari gerah, nyaman, panas, segar dan dingin (Sugini, 2004). Kenyamanan termal sendiri secara umum dikenal sebagai rasa nyaman terhadap situasi panas di lingkungan sekitar tubuh, suasana kondisi kenyamanan termal selalu di hubungkan pada temperatur udara (Sangkertadi, 2013). Lippsmeir (1994) menambahkan pantulan atau penyerapan dan radiasi matahari sebagai faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal. Tingkat kenyamanan termal yang dirasakan oleh manusia, sangat dipengaruhi oleh iklim, lingkungan sekitarnya, desain bangunan, dan bagaimana manusia itu sendiri mengekspresikan kenyamanan dari kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya.

Kenyamanan termal adalah salah satu hal sangat dibutuhkan tubuh agar manusia dapat beraktifitas dengan baik selain faktor kenyamanan lainnya yaitu kenyamanan visual, kenyamanan audio dan *indoor air quality* (rumah, sekolah ataupun kantor dan tempat bekerja). Menurut Szokolay (1973), kenyamanan tergantung pada variabel iklim (matahari/radiasinya, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin) dan beberapa faktor individual/subyektif seperti pakaian, aklimatisasi, usia dan jenis kelamin, tingkat kegemukan, tingkat kesehatan, jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi, serta warna kulit. Sensasi ketidaknyamanan timbul bila keadaan atau suasana di luar kenormalan, bisa meningkat mulai dari terasa mengganggu sampai menimbulkan rasa sakit tergantung dari seberapa jauh keseimbangan terganggu. Sensasi kenyamanan

terjaga dengan meningkatkan metabolisme, merubah level aktivitas otot, atau menggunakan pakaian, bisa juga dengan memodifikasi lingkungan dengan bantuan alat atau teknologi. Ketidaknyamanan dapat menimbulkan perubahan fungsional yang bisa mempengaruhi seluruh tubuh. Panas berlebih menyebabkan kelelahan meningkat, rasa kantuk, keadaan fisik menurun dan meningkatkan kemungkinan kesalahan. Perbaikan kondisi kenyamanan di dalam ruangan sangat penting untuk kesehatan dan keadaan secara maksimal (Kroemer dan Grandjean, 1982).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29 Tahun 2006 mensyaratkan beberapa kriteria kenyamanan suatu gedung, di antaranya adalah kenyamanan ruang gerak, kenyamanan termal, kenyamanan visual dan kenyamanan audial. Faktor suhu sebagai indikator kenyamanan termal menjadi hal yang penting ketika membahas tingkat kenyamanan gedung. Gedung yang terlalu panas atau terlalu dingin akan menyebabkan penghuninya merasa tidak nyaman. Banyak ahli yang telah menjelaskan dampak negatif dari kondisi ruangan yang buruk terhadap performa penghuninya seperti kondisi ruang kerja yang tidak nyaman akan berpengaruh terhadap produktivitas kerja. Kondisi ruangan yang baik akan berdampak langsung terhadap performa dari orang-orang yang berada di dalamnya (Kwok, 1997). Kondisi ruangan yang baik adalah kondisi dimana sekurang-kurangnya 80% penghuninya merasa nyaman berada di dalam ruangan itu.

Kegiatan pendidikan merupakan proses dalam belajar mengajar antara pendidik dan murid dalam ruang-ruang belajar. Ruang sekolah haruslah memperhatikan tingkat kenyamanan agar pendidik dan murid merasa nyaman untuk melaksanakan proses belajar mengajar (Kwok, 1997). Menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2013 sekolah adiwiyata adalah sekolah yang telah menerapkan sistem dengan maksud untuk mewujudkan warga sekolah yang bertanggung jawab dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup melalui tata kelola sekolah yang baik. Sekolah adiwiyata merupakan lingkungan yang banyak pepohonan yang dapat mempengaruhi temperatur udara di dalam ruangan kelas. Kenyamanan termal di SMP

Muhammadiyah 5 Yogyakarta perlu dikaji mengingat sekolah tersebut belum memiliki program adiwiyata. Peluang peningkatan kenyamanan termal di SMP tersebut perlu dievaluasi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam perencanaan ini adalah :

1. Bagaimana kondisi termal yang ada di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta ?
2. Bagaimana potensi meningkatkan kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui kondisi termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta.
2. Mengidentifikasi potensi meningkatkan kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini, peneliti mengharapkan sesuatu yang dapat dimanfaatkan tidak untuk satu pihak, namun juga beberapa pihak yang terkait yaitu sekolah, pembaca, dan peneliti selanjutnya.

1. Bagi sekolah yang terkait
Memberikan masukan kepada sekolah SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta berkenaan dengan kegiatan kenyamanan termal serta manfaat dari hasil penelitian ini adalah sebagai informasi dan masukan mengenai standarisasi kenyamanan, sehingga dapat diketahui hal yang perlu disiapkan dan diperbaiki untuk meningkatkan keefektifan proses saat belajar.
2. Bagi instansi dinas pendidikan Yogyakarta
Meningkatkan kemampuan mahasiswa selaku peneliti dalam melakukan analisis kenyamanan termal di suatu tempat serta sebagai ilmu tambahan

3. Bagi masyarakat
Memberikan informasi mengenai kenyamanan termal serta kondisi termal di sekolah tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penelitian ini hanya sebatas meneliti temperatur, kelembaban udara dan kecepatan udara di dalam kelas untuk menentukan nilai kenyamanan termal.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan suatu kondisi dari pikiran manusia yang menunjukkan kepuasan dengan lingkungan termal (Nugroho, 2011). Menurut Karyono (2001), kenyamanan hubungannya dengan bangunan dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan dimana dapat memberikan perasaan yang nyaman dan menyenangkan bagi penghuninya. Kenyamanan termal merupakan suatu keadaan yang berhubungan dengan alam yang dapat mempengaruhi manusia dan dapat dikendalikan oleh arsitektur (Snyder, 1989). Sementara itu, menurut McIntyre (1980), manusia dikatakan nyaman secara termal ketika ia tidak merasa perlu untuk meningkatkan ataupun menurunkan suhu dalam ruangan. Olgyay (1963) mendefinisikan zona kenyamanan sebagai suatu zona dimana manusia dapat mereduksi tenaga yang harus dikeluarkan dari tubuh untuk mengadaptasikan dirinya terhadap lingkungan sekitarnya.

Menurut Auliciems dan Szokolay (2007), kenyamanan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban udara, radiasi, faktor subyektif, seperti pakaian, makanan dan minuman, bentuk tubuh, serta usia dan jenis kelamin. Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu, suhu udara, temperatur radiant, kelembaban udara, kecepatan angin, insulasi pakaian, serta aktivitas manusia.

1. Suhu Udara

Suhu udara berhubungan dengan kalor. Kalor tercipta karena adanya perbedaan suhu. Kalor mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah. Suhu udara dapat dibedakan menjadi dua, yaitu suhu udara normal dan suhu udara rata-rata ($MRT = \text{Mean radiant temperature}$) yang merupakan suhu rata-rata lingkungan sekitar seseorang. MRT dapat mempengaruhi tubuh seseorang sebesar 66%. Kenyamanan termal tercipta jika perbedaan antara MRT dan suhu udara normal kurang dari 5° . Kenyamanan termal pada

manusia adalah pada suhu tubuh 37°C dan jika naik sampai 5° atau turun sampai 2° maka akan timbul ketidaknyamanan atau bahkan kematian. Sedangkan suhu udara lingkungan dikatakan nyaman pada suhu sekitar 25°C , diatas 26°C maka tubuh manusia sudah berkeringat. Maka dari itu, selain kemampuan tubuh manusia untuk mempertahankan suhu diperlukan juga pengondisian untuk lingkungan yang optimal. Seperti penggunaan pakaian yang tebal di daerah dingin atau pemakaian kipas angin atau pakaian yang tipis pada daerah yang panas (Purnomo, dan Rizal, 2000).

2. Temperatur Radiant

Temperatur radiant adalah panas yang berasal dari radiasi objek yang mengeluarkan panas, salah satunya adalah radiasi matahari. (Laksitoadi, 2008)

3. Kelembaban Udara

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada di udara. Kelembaban udara dapat mempengaruhi pelepasan kalor dari tubuh manusia. Kelembaban udara yang tinggi akan menyebabkan kalor di dalam tubuh manusia sulit dilepaskan mengakibatkan timbulnya ketidaknyamanan. Begitupun dengan kelembaban udara yang rendah akan banyak mengambil kalor dari tubuh sehingga akan timbul kulit kering dan sebagainya. (Purnomo dan Rizal, 2000)

4. Kecepatan Angin

Kecepatan angin merupakan faktor yang penting dalam kenyamanan termal. Hal ini di karenakan udara tidak berputar di dalam ruangan yang tertutup akan menyebabkan pengguna ruangan merasa gerah ataupun berkeringat. Kecepatan angin berpengaruh terhadap kenyamanan dalam ruangan terdapat pada batas-batas kecepatan antara 0,1 m/detik sampai dengan 0,5 m/detik. Apabila melebihi batas tersebut maka dapat dikatakan ruangan tersebut tidak nyaman. (Piranto & Depecker, 2002)

5. Insulasi Pakaian

Kalor yang dilepaskan seseorang ke lingkungan dapat dipengaruhi oleh pakaian yang dikenakan. Ketika pakaian yang dikenakan adalah pakaian yang tipis maka pelepasan kalor akan banyak terjadi. Hal ini biasanya dilakukan di daerah dengan suhu udara yang tinggi. Sebaliknya jika pakaian yang dipakai adalah pakaian tebal maka pelepasan kalor dari kulit akan minimum. Biasanya pakaian seperti ini dipakai di daerah dengan suhu rendah. (ASHRAE, 1989). Nilai insulasi pakaian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Insulasi Pakaian

Garment Description	clo	Garment Description	clo
Underwear		Celana dan Baju	
Celana Laki	0,04	Celana Pendek	0,06
Celana dalam	0,05	Celana Pendek Berjalan	0,08
BH	0,01	Frousers Lurus Tipis	0,15
Kaos	0,08	Frousers Lurus Tebal	0,24
Slip Penuh	0,16	Sweat Pants	0,28
Slip Setengah	0,14	Gaun dan Rok	
Alas Kaki		Rok tipis	0,11
Kaos Kaki Panjang	0,01	Rok Tebal	0,23
Kaos Kaki Sedang	0,03	Kemeja Lengan Panjang	0,22
Kaos Kaki Pendek	0,06	Kemeja Lengan Pendek	0,47
Sendal	0,02	Kerah Pendek	0,23
Sepatu	0,04	Kerah Panjang	0,27
Baju dan Blus		Sweaters	
Baju tak berlengan	0,12	Rompi Lengan Pendek	0,13
Baju Lengan Pendek	0,19	Rompi Lengan Panjang	0,22
Baju Lengan Panjang	0,25		

6. Aktivitas Manusia

Aktivitas manusia pada umumnya menghasilkan kalor yang akan dilepaskan ke lingkungan. Kalor ini beragam untuk setiap aktivitas. Aktivitas berat seperti berolahraga, angkat beban dan pekerjaan berat lain yang memerlukan energi yang besar akan menghasilkan kalor

yang besar juga. Sedangkan aktivitas seperti istirahat atau tidur menghasilkan kalor yang kecil (ASHRAE, 1989). Tingkat metabolisme merupakan panas yang dihasilkan di dalam tubuh sepanjang beraktivitas. Semakin banyak melakukan aktivitas berupa fisik, semakin banyak panas yang dibuat. Semakin banyak panas yang dihasilkan tubuh, semakin banyak panas yang perlu dihilangkan agar tubuh tidak mengalami overheat. Manusia dewasa normal memiliki permukaan kulit 1,7 m² dan orang dalam kenyamanan termal dengan tingkat aktivitas 1 MET akan memiliki heat loss kira-kira 100W

Berikut Tabel 2 Nilai MET.

Tabel 2. Nilai MET berbagai Aktifitas

Jenis Aktivitas	W/m ²	met
Beristirahat		
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
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: Susanti dan Aulia, 2013)

2.2 Standar Kenyamanan Termal

Lippsmeier (1997), menyatakan bahwa batas kenyamanan untuk kondisi khatulistiwa berkisar antara 19°C TE-26°C TE dengan pembagian berikut:

1. Suhu 26°C TE : Umumnya penghuni sudah mulai berkeringat.
2. Suhu 26°C TE–30°C TE : Daya tahan dan kemampuan kerja penghuni mulai menurun.
3. Suhu 30,5°C TE–35,5 °C TE : Kondisi lingkungan yang mulai sukar.
4. Suhu 35°C TE–36°C TE : Kondisi lingkungan yang tidak memungkinkan lagi.

Temperatur dalam ruangan yang baik berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 261/MENKES/SK/II/1998 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja adalah temperatur ruangan yang berkisar antara 18°C-26°C. Selain itu, berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6572- 2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung dan sekolah termasuk bangunan umum kelas 9b, tingkatan temperatur udara yang nyaman untuk orang Indonesia ada tiga bagian batas kenyamanan termal yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Batas Kenyamanan Termal Menurut SNI 03-6572-2001

	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 2001

2.3 Rekayasa Termal Bangunan

Kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor klimatis dan fisiologis penghuni ruang, selain itu kenyamanan termal dapat dipengaruhi oleh kondisi dalam ruang maupun luar ruang, ketika sensasi termal dalam ruangan semakin bertambah menuju tidak nyaman, kondisi kegiatan dalam ruangan menjadi tidak kondusif. Kondisi termal dalam ruang yang semakin memburuk dapat dikendalikan dengan pendekatan mekanis yaitu menggunakan AC (*Air Conditioning*), namun untuk menggunakan AC memerlukan biaya operasional yang tidak sedikit. Pendekatan selanjutnya dengan mengkondisikan lingkungan di luar ruangan dan ventilasi bangunan secara alami dengan pendekatan arsitektural.

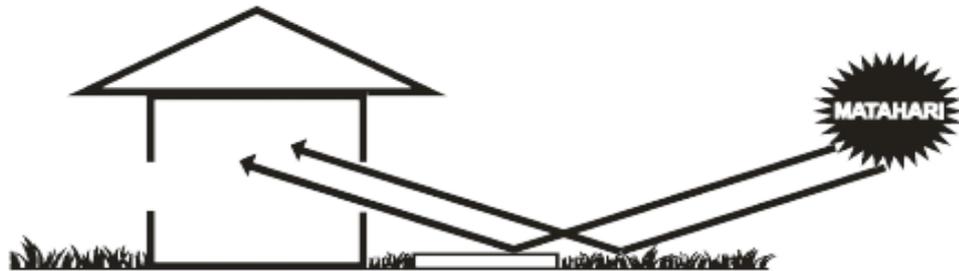
1. Orientasi Bangunan

- Pelindung Radiasi Matahari

Posisi bangunan pada arah barat dan timur tidak dapat dihindari, maka posisi jendela pada arah timur dan barat harus dihindari, karena radiasi matahari yang langsung masuk ke dalam ruangan (melalui bukaan/kaca) akan memanaskan ruangan dan menaikkan temperatur udara di dalam ruangan. Setelah itu efek silau dari sinar matahari yang muncul pada saat sudut matahari rendah juga sangat mengganggu aktivitas di dalam ruangan dan elemen arsitektur yang sering digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari.

- Penutup Tanah

Penutup tanah sangat penting untuk menentukan kualitas pada iklim site. Hal ini disebabkan penutup tanah dapat mempengaruhi reflektivitas radiasi matahari yang mengarah ke site. Pada akhirnya reflektivitas radiasi matahari menyebabkan naik turunnya temperatur udara di sekitar bangunan. Besaran reflektivitas penutup tanah mempengaruhi kondisi termal sekitar bangunan. Semakin besar reflektivitas penutup tanah yang dilakukan maka semakin besar pula pengaruhnya terhadap kondisi termal. Reflektivitas kelembaban tanah dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 1. Permukaan Tanah Akan Menentukan Perolehan Panas Ruang Atau Bangunan. Sumber: (Sugini, 2014)

Tabel 4 Reflektivitas kelembaban

No	Material	Reflektivitas dalam %
1	Permukaan air laut	3-10
2	Daun Hijau	25-32
3	Lapangan Rumput	3-15
4	Rumput Kering	32
5	Tanah Berpasir	15-40
6	Kayu	5-20
7	Beton	30-50
8	Batu Bata	23-48
9	Batu	18
10	Salju Putih	75-95

Catatan: Reflektivitas ini tetap akan berbeda bila kelembaban dan sudut radiasi berbeda Sumber: (Evan, 1980)

(Basaria, 2005) penelitian di Afrika selatan, pada ketinggian 1m di atas permukaan (beton) menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi sekitar 4°C dibandingkan temperatur udara dengan ketinggian yang sama di atas permukaan rumput. Perbedaan ini menjadi sekitar 5°C apabila rumput terlindungi dari radiasi dan intensitas cahaya matahari.

2. Ventilasi

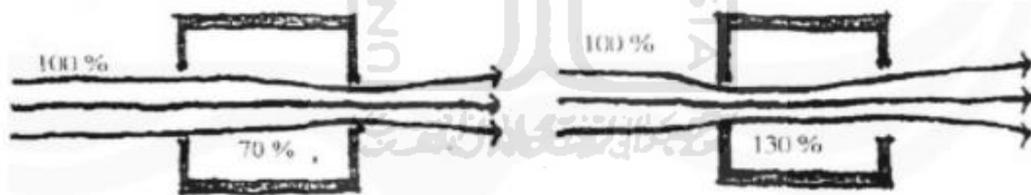
- Orientasi lubang ventilasi

Lubang ventilasi sebaiknya ditempatkan menghadap arah angin utama menuju bangunan. Penempatan arah bukaan inlet terletak pada zona yang bertekanan positif dan bukaan outlet terletak pada zona yang bertekanan negatif dalam rangka untuk mengoptimalkan pergerakan udara pada sebuah bangunan.

Perletakan dan arah bukaan Inlet tidak hanya mempengaruhi kecepatan udara dalam ruangan, tetapi juga pola aliran udara dalam ruangan, sedangkan lokasi outlet hanya memiliki pengaruh kecil dalam kecepatan dan pola aliran udara.

- Posisi lubang ventilasi

Posisi lubang ventilasi berfungsi untuk memasukkan udara seharusnya ditempatkan dengan ketinggian manusia saat beraktifitas. Salah satu syarat untuk bukaan ventilasi yang baik yaitu harus terjadi *cross ventilation*. Dengan memberikan bukaan ventilasi pada kedua sisi ruang maka akan memberikan peluang untuk udara dapat mengalir masuk dan keluar ruangan. Sementara lubang ventilasi berfungsi mengeluarkan udara (*outlet*) sebaiknya diletakkan sedikit lebih tinggi (di atas ketinggian aktivitas manusia) agar udara panas yang ada dalam ruangan dapat dikeluarkan dengan mudah tanpa tercampur lagi dengan udara segar dari luar yang masuk ke dalam ruangan melalui inlet. Posisi lubang ventilasi semakin besar ukurannya semakin banyak jumlah udara masuk, maka semakin besar fungsi ventilasi terhadap bangunan tersebut. Rasio dimensi antara inlet dan outlet akan sangat berpengaruh dalam proses ventilasi terlihat pada Gambar 2.



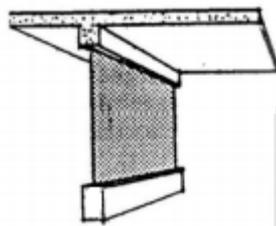
Gambar 2. Perbedaan Dimensi Inlet dan Outlet Mempengaruhi Kecepatan Angin Pada Bangunan Sumber: (Mediastika, 2003)

Untuk menurunkan nilai temperatur udara di dalam ruangan diperlukan pergerakan angin yang kencang dan kuat, dengan adanya perbedaan bukaan antara inlet dan outlet, tekanan udara diluar dan dalam ruangan berubah, sehingga udara luar dapat masuk ke dalam ruangan. Berlaku juga untuk menaikkan temperatur udara di dalam ruangan dengan menutup pergerakan angin dari luar ruangan, sehingga udara yang masuk dari luar tidak terlalu banyak.

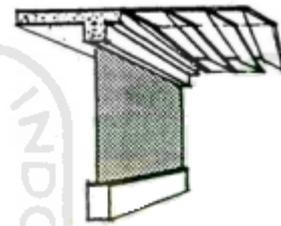
3. Elemen Arsitektur

- Pelindung matahari

Apabila posisi bangunan pada arah Barat dan Timur tidak dapat dihindari, maka posisi jendela pada sisi Barat dan Timur ini harus dihindari karena radiasi panas yang langsung masuk ke dalam bangunan dan ruangan dapat memanaskan ruang dan menaikkan temperatur udara di dalam ruangan. Di samping itu efek silau yang muncul dari sinar matahari juga sangat mengganggu. Gambar 3 di bawah adalah elemen arsitektur yang sering digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari (*solar shading devices*).

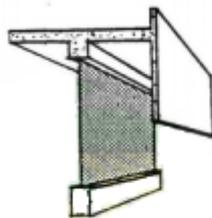


(1) *Cantilever*

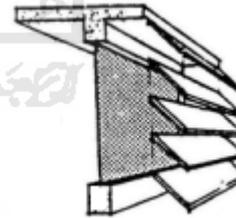


(2) *Louver Overhang Horizontal*

Keterangan: (1) dan (2) Efektif digunakan pada bidang bangunan yang menghadap Utara-Selatan



(3) *Panels*



(4) *Horizontal Louver Screen*

Keterangan:(3) dan (4) Efektif digunakan pada bangunan yang menghadap Barat-Timur (mengurangi efek silau pada saat sudut matahari rendah).

(5) *Egg Crate*

(elemen horizontal dan vertikal)

(6) *Vertical Louver*

(bisa diputar arahnya)

Keterangan: (5) dan (6) Paling Efektif digunakan pada bidang bangunan yang menghadap Timur-Barat. Berfungsi juga sebagai 'Windbreak', penting untuk daerah yang mempunyai banyak angin.

Gambar 3. Elemen Arsitektur sebagai Pelindung Radiasi Cahaya Matahari

Sumber:(Egan, 1975)

Efektifitas pelindung matahari dinilai dengan angka *shading coefficient* (S.C) yang menunjukkan besarnya energi matahari yang ditransmisikan ke dalam bangunan dan ruangan. Secara teori angka yang ditunjukkan pada angka 1,0 (seluruh energi matahari ditransmisikan, misalnya: penggunaan kaca jendela tanpa pelindung) sampai 0 (tidak ada energi matahari yang ditranmisikan). Di samping jenis pelindung yang digunakan, material serta warna yang digunakan pada bangunan, juga berperan dalam menentukan angka *shading coefficient*. Egan menunjukkan angka *shading coefficient* berdasarkan jenis pelindung pada Tabel 5.

Tabel 5. Elemen Pelindung

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> (moevable)	0,15-0,10

Sumber: (Egan, 1975)

Angka-angka tersebut di atas menunjukkan *Egg-Crate* dan *Vertical Louver* paling efektif digunakan sebagai pelindung matahari, hanya 10% energi matahari yang ditransmisikan ke dalam bangunan. Hasil pengurangan radiasi matahari dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengurangan Panas dari Radiasi Matahari Masuk Melalui Jendela Kaca, Berkat Pembayang.

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	25%
4. Jalusi model ' <i>Venetian Blinds</i> ' di bagian dalam jendela. Kisi-kisi menghalangi penyinaran langsung. Bahan: aluminium yang memantulkan sinar secara difus.	45%
5. Penutup jendela, putih atau krem	55%
6. Penutup jendela rapat berwarna gelap	80%

Sumber: (Mangunwijaya, 1988)

4. Elemen Lansekap

- Vegetasi

Di samping elemen arsitektur mengenai pelindung matahari, elemen lansekap seperti pohon dan vegetasi juga dapat digunakan sebagai pelindung

terhadap radiasi matahari. Keberadaan pohon secara langsung/tidak langsung dapat menurunkan temperatur udara di sekitarnya, karena radiasi matahari akan diserap oleh daun yang ada pada vegetasi untuk proses fotosintesa dan penguapan. Efek bayangan oleh vegetasi akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan untuk menurunkan temperatur udara pada bangunan.

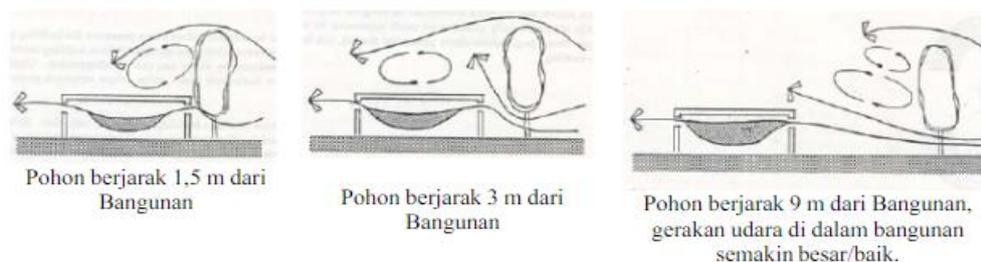
Lippsmeier memperlihatkan suatu hasil penelitian di Afrika selatan, pada ketinggian 1m di atas permukaan perkerasan (beton) menunjukkan temperatur yang lebih tinggi sekitar 4°C dibandingkan temperatur pada ketinggian yang sama di atas permukaan rumput. Perbedaan ini menjadi sekitar 5°C apabila rumput tersebut terlindung dari radiasi matahari. Efektifitas pemanfaatan pohon sebagai pelindung matahari juga dapat digambarkan dengan angka *shading coefficient* seperti Tabel 7.

Tabel 7. *Shading Coefficient* untuk Elemen Lansekap

No	Elemen Pelindung	<i>Shading Coefficient</i>
1	Elemen Lansekap 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)

Pohon dan tanaman dapat dimanfaatkan untuk mengatur aliran udara ke dalam bangunan. Penempatan pohon dan tanaman yang kurang tepat dapat menghilangkan udara sejuk yang diinginkan terutama pada periode puncak panas. Menurut White R.F (dalam *Concept in Thermal Comfort*, Egan) kedekatan pohon terhadap bangunan mempengaruhi ventilasi alami dalam bangunan.



Gambar 4. Jarak Pohon

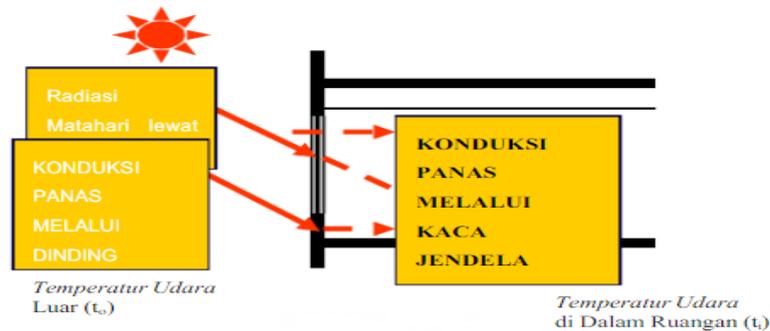
Untuk bangunan tinggi, pengujian dengan menggunakan model bangunan yang berskala untuk memprediksi kekuatan bangunan terhadap kecepatan angin harus dilakukan dengan menggunakan terowongan angin (*wind tunnels*). Di bawah ini menunjukkan bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap manusia pada Tabel 8.

Tabel 8. 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

5. Material/Bahan Bangunan

Panas masuk ke dalam bangunan melalui proses konduksi (lewat dinding, atap, jendela kaca) dan radiasi matahari yang ditransmisikan melalui jendela/kaca. Temperatur udara luar yang memiliki radiasi matahari dan konduksi panas dari dinding masuk ke dalam ruangan melalui kaca jendela yang mengakibatkan temperatur udara di dalam ruangan terpengaruh oleh temperatur dari udara luar. Proses konduksi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses konduksi

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 9.

Tabel 9. Jenis Kaca

No	Jenis Kaca			Shading Confident
	Jenis Kaca	Warna	Tebal	
1	Kaca Bening		1/4 inci	0,95
			3/8 inci	0,9
2	Heat Aborsing Glass	Abu-abu, bronze, hijau.	1/16 inci	0,75
		Abu-abu gelap		
3	Revlective Glass	Abu-abu terang	1/2 inci	0,5

(Sumber: Egan, 1975)

Radiasi matahari yang jatuh pada selubung bangunan dipantulkan kembali dan sebagian diserap. Panas yang terserap akan dikumpulkan dan diteruskan ke bagian sisi yang dingin (sisi dalam bangunan). Masing-masing bahan bangunan mempunyai angka koefisien serapan kalor (%) seperti terlihat pada Tabel 10. Semakin besar serapan kalor, semakin besar panas yang diteruskan ke ruangan.

Tabel 10. Radiasi Matahari dan Serapan Kalor

Permukaan Bahan	%
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
II. Solulose cat putih	18
Solulosa cat hijau	88
Solulosa cat merah	57
Solulosa cat hitam	94
Solulosa cat kelabu hitam	90

Sumber: (Mangunwijaya, 1988)

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 yang paling sedikit (10%-15%), sebaliknya warna hitam dengan permukaan tekstur kasar dapat menyerap kalor sampai 95% seperti terlihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Koefisien serapan kalor berdasarkan warna

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

Sumber: (Mangunwijaya, 1988)

Pengkondisian lingkungan di dalam bangunan secara arsitektural dapat dilakukan dengan mempertimbangkan perletakan bangunan (orientasi bangunan terhadap matahari dan angin), pemanfaatan elemen-elemen arsitektur dan

lansekap serta pemakaian material/bahan bangunan yang sesuai dengan karakter iklim tropis.

2.4 Studi Terdahulu

Daftar penelitian-penelitian terdahulu yang telah di lakukan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Studi Terdahulu

No	Peneliti	Topik	Tujuan	Hasil
1	Talarosha (2005)	Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan	Secara geografis Indonesia berada dalam garis khatulistiwa atau tropis, namun secara thermis (suhu) tidak semua wilayah Indonesia merupakan daerah tropis. Suhu nyaman thermal untuk orang Indonesia berada pada rentang suhu 22,8°C - 25,8°C dengan kelembaban 70%. Langkah yang paling mudah untuk mengakomodasi kenyamanan tersebut adalah dengan melakukan pengkondisian secara mekanis (penggunaan AC) di dalam bangunan.	Kondisi ideal yang harus dibuat untuk menciptakan bangunan nyaman secara termal adalah sebagai berikut : Teritis atap atau <i>Overhang</i> cukup lebar, selubung bangunan (atap dan dinding) berwarna, ventilasi silang pada bidang atap. Penyinaran langsung dari matahari dihalangi untuk menghalangi panas dan silau.
2	Rilatupa (2008)	Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan peran arsitektur dalam desain bangunan yang harus memperhatikan kondisi iklim dan alam untuk meminimalkan kondisi ketidaknyamanan.	Dari hasil pengukuran data diperoleh suhu efektif dari diagram suhu efektif dan kelembaban relatif dari diagram psikometri.

Lanjutan Tabel 12.

No	Peneliti	Topik	Tujuan	Hasil
3	Lapisa (2019)	Analisis Pengaruh Karakteristik Thermal Material Atap Terhadap Kenyamanan Ruang	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh berbagai jenis material atap; ijuk, seng dan bambu terhadap kenyamanan ruangan. Pengukuran temperatur dilakukan pada tiga buah prototipe bangunan dengan material atap yang berbeda dengan menggunakan termokopel yang terintegrasi dalam sebuah data logger.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa material ijuk memberikan performa yang lebih baik dalam menurunkan suhu ruangan.
4	Mustika (2008)	Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam	Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi sebaran kondisi termal, mengetahui tingkat pengaruh elemen ruang luar terhadap kondisi termal, dan sejauh mana pengaruh pola penataan taman air dengan konsep Arsitektur Tradisional Bali terhadap kenyamanan termal. Sehingga hasil penelitian ini dapat dijadikan landasan bagi arsitek dalam mengembangkan dan merancang Taman Air yang dapat berfungsi secara optimal.	Dalam penelitian ini menggunakan metode komparasi dan simulasi untuk melihat visualisasi kondisi kenyamanan termal dalam obyek penelitian. Dari hasil simulasi tersebut dapat digunakan mengidentifikasi pengaruh elemen ruang luar dan konsep Arsitektur Tradisional Bali terhadap kenyamanan termal pada obyek penelitian.

Lanjutan Tabel 12.

No	Peneliti	Topik	Tujuan	Hasil
5	Humphreys (2002)	Kenyamanan Termal Adaptif dan Standar Termal Berkelanjutan Untuk Bangunan	Asal dan pengembangan pendekatan adaptif untuk kenyamanan termal. Sejumlah perkembangan terbaru dalam penerapan teori dipertimbangkan asal mula perbedaan antara kenyamanan termal adaptif dan indeks rasional dieksplorasi.	Penerapan pendekatan adaptif terhadap standar kenyamanan termal dipertimbangkan dan rekomendasi dibuat untuk suhu kenyamanan terbaik.
6	Fanger (1973)	Penilaian Kenyamanan Termal Dalam Praktik	Ulasan diberikan tentang pengetahuan yang ada mengenai kondisi untuk kenyamanan termal, kedua kenyamanan fisiologis dan lingkungan.	Kondisi kenyamanan termal di pengaruhi oleh usia, adaptasi, jenis kelamin, ritme musiman dan pemanasan atau pendinginan tubuh. Hasil penelitian menunjukkan Ruang Perpustakaan dan Ruang Kelas 1 memiliki kondisi nyaman, sedangkan untuk Ruang Kelas II dan Ruang Sekretariat mahasiswa kondisinya kurang atau tidak nyaman

Lanjutan Tabel 12.

No	Peneliti	Topik	Tujuan	Hasil
7	Dobbelstein (2013)	Ulasan Kenyamanan Termal Di Gedung	Ada dua pendekatan utama untuk kenyamanan termal : model <i>steady-state</i> dan model adaptif.	Perbedaan utama dalam kenyamanan termal adalah persamaan untuk batas atas dan batas bawah, suhu referensi, dan rentang suhu yang



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

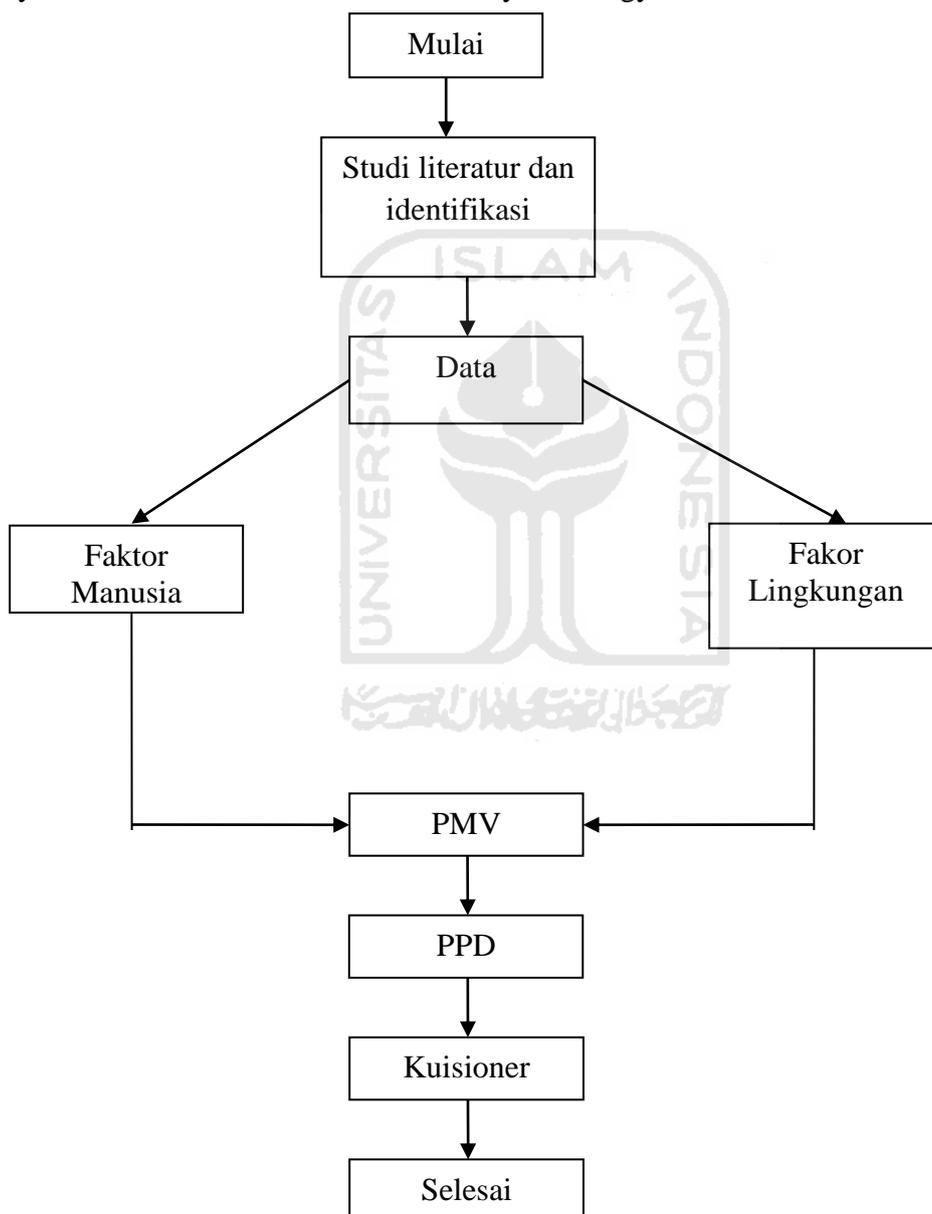


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Kerangka Penelitian

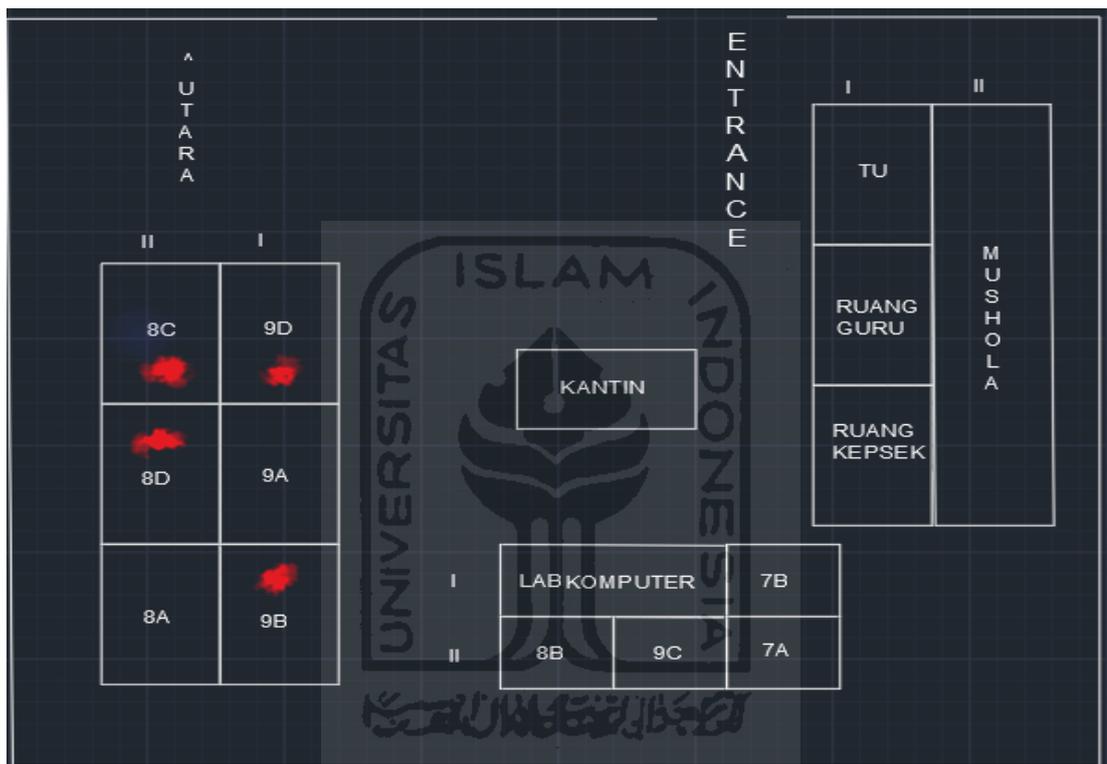
Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif dengan analisa kuantitatif. Terdapat metode yang dilaksanakan secara sistematis untuk menganalisis kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta Gambar 6.



Gambar 6. Diagram aliran

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi subjek penelitian di SMP 5 Muhammadiyah Yogyakarta Jl. Patehan Lor No.25, Patehan, Kraton, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55133. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada 26 Agustus – 30 Agustus 2019 sampai seminar hasil. Penelitian dilakukan pada kelas 9D, kelas 9B, kelas 8C dan kelas 8D. Berikut denah lokasi Gambar 7.



Gambar 7. Denah Lokasi

3.3 Sumber Data

Data yang di dapatkan berdasarkan sumbernya sebagai berikut:

1. Peta wilayah sekolah SMP 5 Muhammdiyah Yogyakarta berdasarkan google maps yang ada di website.
2. Ruangan kelas yang dilakukan pengukuran terdapat 4 kelas yang di ukur pada 3 titik (depan, tengah dan belakang) untuk mendapatkan temperatur, kelembaban udara dan kecepatan udara.

3.4 Pengumpulan Data dan Analisis Data

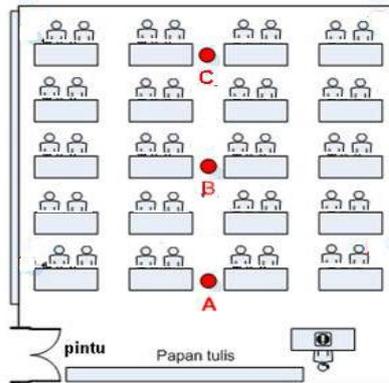
Tahapan pengumpulan data dan analisis data dikelompokkan sebagai berikut:

3.4.1 Pengukuran Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan yang diperlukan untuk mengambil data di SMP 5 Muhammadiyah Yogyakarta untuk pengukuran adalah:

1. Data Temperatur Udara
Data temperatur udara didapatkan dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur anemometer.
2. Data Kelembaban Radiasi
Data temperatur radiasi didapatkan dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan perhitungan di excel.
3. Data Kelembaban Relatif atau Kelembaban Udara
Data kelembapan udara di sekolah didapatkan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur anemometer.
4. Data Kecepatan Angin
Data kecepatan angin di sekolah didapatkan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur anemometer.

Penelitian ini menggunakan teknik pengukuran dengan 3 titik dalam satu ruang kelas di saat musim kemarau pada waktu dinyatakan pagi (05:00 – 10:59) dan siang (11:00 – 14:00) dan dilakukan pengukuran selama 5 hari berturut-turut yang dilaksanakan pada waktu pagi (07:30 - 08:30) dan siang (13:00 – 14:00) untuk mendapatkan data yang optimal. Penentuan titik pengambilan dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Titik Pengambilan

Keterangan : A : Titik Pengambilan Depan
 B : Titik Pengambilan Tengah
 C : Titik Pengambilan Belakang

Alat Anemometer digunakan untuk mengukur temperatur, kelembapan udara dan kecepatan udara. Penggunaan Alat Anemometer dilakukan dengan ketinggian 1,5 Meter di atas permukaan lantai dan pengambilan data disetiap angka berhenti lama untuk setiap pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Anemometer

3.4.2 Perhitungan Faktor Manusia

Faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu :

1. Insulasi

Satuan yang biasa digunakan untuk pengukuran insulasi pakaian adalah Clo. Batas nyaman untuk pakaian adalah $n \leq 0,5$ Clo. Total nilai Clo bisa dihitung dengan menjumlahkan nilai Clo untuk setiap jenis pakaian

2. *Metabolic Equivalent of Task (MET)*

Dalam menilai tingkat metabolisme, penting untuk menggunakan rata-rata aktivitas manusia di dalam ruangan kelas di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta. Nilai MET yang di gunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

3. PMV & PPD

A. PMV

Nilai *Predicted Mean Vote (PMV)* adalah menentukan jangkauan sensasi yang dirasakan orang terhadap lingkungan. Indeks PMV ini berkisar dari -3 (sangat dingin) sampai dengan +3 (sangat panas). Nilai nol adalah netralitas termal tapi bukan berarti kenyamanan termal. Temperatur operatif dikenal sebagai temperatur resultan atau temperatur resultan kering, tetapi berganti nama untuk menyelaraskan dengan ASHRAE dan standar ISO. Hal ini dapat berguna dalam menilai kemungkinan kenyamanan termal dari penghuni sebuah bangunan. Kenyamanan termal aktual tergantung pada faktor lingkungan, seperti temperatur udara, kecepatan udara, kelembaban relatif dan keseragaman kondisi, serta faktor pribadi seperti pakaian, metabolisme panas, acclimatisation, keadaan kesehatan, harapan, dan bahkan akses terhadap makanan dan minuman. Untuk menghitung persamaan PMV membutuhkan program computer PMV *calculator V2 Modified by Håkan Nilsson Department of Technology and Built Environment Laboratory of Ventilation and Air Quality University of Gävle*. Program ini menghasilkan nilai PMV dan PPD berdasarkan data-data yang dimasukkan perangkat lunak Microsoft Excel yang sudah di input formula persamaan PMV yang dapat dilihat pada Gambar 10.

Choose "Tools-Macro-Security-Mean".
 This version is scanned with Symantec
 Antivirus Definition File 2005-09-15 rev.
 23

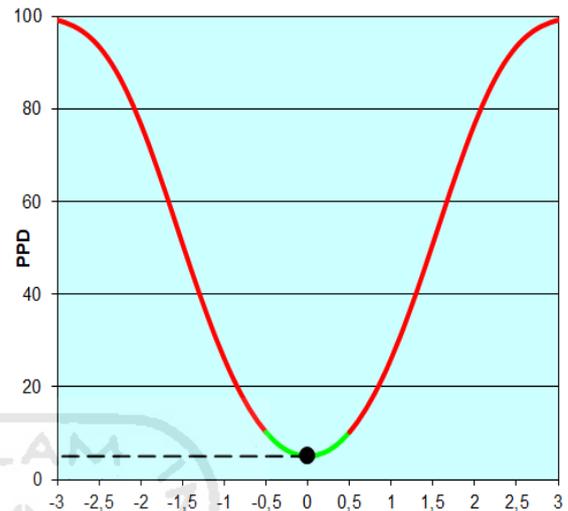
Parameter	Input	
Clothing (clo)	1,10	[0 to 2clo]
Air temp. (°C)	24,0	[10 to 30°C]
Mean radiant temp. (°C)	22,0	[10 to 40°C]
Activity (met)	1,0	[0.8 to 4met]
Air speed (m/s)	0,15	[0 to 1m/s]
Relative humidity (%)	50,0	[30 to 70%]

Calculate PMV

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	23
PMV	0,0
PPD	5,0

Number of iterations: 7

Modified by Håkan Nilsson
 Department of Technology and Built Environment
 Laboratory of Ventilation and Air Quality
 University of Gävle



Gambar 10. PMV Calculator V2

B. PPD

Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) merupakan banyaknya orang dalam presentase yang tidak puas terhadap lingkungan. Semakin besar presentase PPD makin banyak yang tidak puas. Fanger (1982) menghubungkan nilai PMV dan PPD seperti formula berikut :

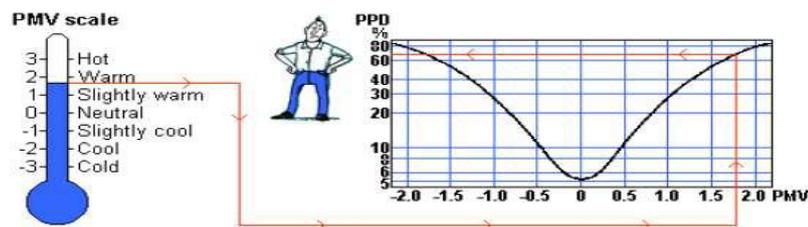
$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp \left(- \left(-0,03353 PMV^4 - 0,2179 PMV^2 \right) \right)$$

Dimana : TPO (*Temperature Operative*)

Jika $Vel < 0,2$, maka: $TPO = 0,5 \times TA + 0,5 \times TR$

Tetapi jika $Vel < 0,6$, maka: $TPO = 0,6 \times TA + 0,4 \times TR$

Kemudian, jika $vel > 0,6$ $TPO = 0,7 \times TA + 0,3 \times TR$



Hubungan antara PMV dan PPD

(Sumber:Innova,1997)

Gambar 11. Hubungan PMV dan PPD

4. Kuisisioner

Kuisisioner penelitian kenyamanan termal bertujuan untuk mendapatkan data pendapat murid tentang kenyamanan termal yang ada di dalam kelas, kuisisioner terlampir dilampiran. Kuisisioner terdiri dari 5 pertanyaan dan 5 jawaban tentang kenyamanan termal yang berada di kelas dan dibagikan kepada murid (Moniaga, 2008). (AD) agak dingin, (N) netral, (AP) agak panas, (P) panas dan (SP) sangat panas. Kuisisioner di bagikan pada pagi dan siang hari. Berikut rumus perhitungan kuisisioner : $((\text{Total jawaban pertanyaan 1} + \text{Total jawaban pertanyaan 2} + \text{total jawaban pertanyaan 3} + \text{Total jawaban pertanyaan 4} + \text{Total jawaban pertanyaan 5}) / 5 \times \text{jumlah siswa}) \times 100\%$

5. Observasi Rekayasa Termal

Observasi merupakan suatu aktivitas pengamatan terhadap suatu objek secara cermat dan langsung di lokasi peneliti, serta mencatat secara sistematis mengenai gejala yang diteliti. Observasi pengamatan kondisi eksisting, dilakukan untuk mengetahui keadaan kondisi fisik pada bangunan, kondisi lingkungan sekolah, dan kondisi ruang kelas yang mempengaruhi peningkatan kenyamanan termal. Dari hasil pengamatan tersebut kemudian dapat menentukan pilihan peningkatan kenyamanan yang dapat dikerjakan dengan melakukan dimensi ruang yang cukup, cahaya

cukup, bidang pembentuk ruang (plafon, dinding dan lantai), terkait dengan laju aliran udara di dalam ruangan yang terkait dengan tingkat kelembaban udara.

3.4.3 Rekayasa Termal Bangunan

Menurut SNI 03-6572-2001 kenyamanan termal, maka temperatur yang kita butuhkan agar dapat beraktifitas dengan baik adalah temperatur nyaman optimal ($22,8^{\circ}\text{C}$ - $25,8^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban 70%). Angka ini berada di bawah kondisi temperatur udara di Indonesia yang dapat mencapai angka 35°C dengan kelembaban 80%. Beberapa cara memperoleh kenyamanan termal dengan cara pendekatan mekanis yaitu menggunakan AC membutuhkan biaya operasional yang tidak sedikit. Dalam penelitian ini, rekayasa termal yang akan dilakukan penambahan vegetasi pohon muda, mengganti warna bangunan menjadi warna putih dan mengganti besi pembatas kelas 8C dan 8D dengan tembok. Berikut opsi-opsi untuk peningkatan kenyamanan termal terlihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Opsi Peningkatan Kenyamanan Termal

No	Rekayasa Komponen	Potensi Peningkatan	Temperatur			PMV Value			Keterangan
			Kelas	Nilai	Hasil	Kelas	Nilai	Hasil	
1	Vegetasi	Pohon Muda di dalam pot turun 4°C	9B	$29,2^{\circ}\text{C}$	$25,2^{\circ}\text{C}$	9B	1,0	-0,5	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C <i>Warm</i> (1,6) turun hingga <i>neutral</i> (0,0) dan kelas 9B dengan 9D <i>slightly warm</i> (1,0 dan 1,4) turun menjadi (-0,5 dan -0,2) <i>neutral</i>
			8D	$30,7^{\circ}\text{C}$	$26,7^{\circ}\text{C}$	8D	1,6	0,0	
			9D	$30,3^{\circ}\text{C}$	$26,3^{\circ}\text{C}$	9D	1,4	-0,2	
			8C	$30,7^{\circ}\text{C}$	$26,7^{\circ}\text{C}$	8C	1,6	0,0	
2	Warna Bangunan	Cat Putih turun 2°C	9B	$29,2^{\circ}\text{C}$	$27,2^{\circ}\text{C}$	9B	1,0	0,2	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C <i>Warm</i> (1,6) turun hingga <i>slightly warm</i> (0,8) dan kelas 9B dengan 9D <i>slightly warm</i> (1,0 dan 1,4) turun menjadi (0,2 dan 0,5) <i>neutral</i>
			8D	$30,7^{\circ}\text{C}$	$28,7^{\circ}\text{C}$	8D	1,6	0,8	
			9D	$30,3^{\circ}\text{C}$	$28,3^{\circ}\text{C}$	9D	1,4	0,5	
			8C	$30,7^{\circ}\text{C}$	$28,7^{\circ}\text{C}$	8C	1,6	0,8	
3	Bahan Bangunan	Besi pembatas di ganti tembok turun 2°C	8C	$30,7^{\circ}\text{C}$	$25,2^{\circ}\text{C}$	8C	1,6	0,8	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C <i>Warm</i> (1,6) turun hingga <i>slightly warm</i> (0,8)
			8D	$30,7^{\circ}\text{C}$	$26,7^{\circ}\text{C}$	8D	1,6	0,8	

Lanjutan Tabel 13.

4	Penutupan Tanah	Lapangan Rumput	turun 4°C	9B	29,2°C	25,2°C	9B	1,0	-0,5	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C <i>Warm</i> (1,6) turun hingga <i>neutral</i> (0,0) dan kelas 9B dengan 9D <i>slightly warm</i> (1,0 dan 1,4) turun menjadi (-0,5 dan -0,2) <i>neutral</i>
				8D	30,7°C	26,7°C	8D	1,6	0,0	
				9D	30,3°C	26,3°C	9D	1,4	-0,2	
				8C	30,7°C	26,7°C	8C	1,6	0,0	
5	Penutupan Tanah	Daun Hijau	turun 4°C	9B	29,2°C	25,2°C	9B	1,0	-0,5	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C <i>Warm</i> (1,6) turun hingga <i>neutral</i> (0,0) dan kelas 9B dengan 9D <i>slightly warm</i> (1,0 dan 1,4) turun menjadi (-0,5 dan -0,2) <i>neutral</i>
				8D	30,7°C	26,7°C	8D	1,6	0,0	
				9D	30,3°C	26,3°C	9D	1,4	-0,2	
				8C	30,7°C	26,7°C	8C	1,6	0,0	
6	Penutupan Tanah	Rumput Kering	turun 4°C	9B	29,2°C	25,2°C	9B	1,0	-0,5	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C <i>Warm</i> (1,6) turun hingga <i>neutral</i> (0,0) dan kelas 9B dengan 9D <i>slightly warm</i> (1,0 dan 1,4) turun menjadi (-0,5 dan -0,2) <i>neutral</i>
				8D	30,7°C	26,7°C	8D	1,6	0,0	
				9D	30,3°C	26,3°C	9D	1,4	-0,2	
				8C	30,7°C	26,7°C	8C	1,6	0,0	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum

SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta didirikan pada tanggal 26 Februari 1958 oleh Pimpinan pengurus Ranting Muhammadiyah Yogyakarta dan memiliki SK Operasional Izin Operasional belajar mengajar pada 01 Agustus 1983. SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta berstatus sekolah Swasta dibawah naungan Muhammadiyah Yogyakarta. Berdasarkan data yang di dapat oleh peneliti menunjukkan jika luas bangunan tanah milik sekolah tersebut sebesar 577 m².

Posisi bangunan SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta ini secara umum menghadap ke utara. Bangunan secara umum terbagi menjadi ruang-ruang yang digunakan sebagai ruang kelas untuk proses belajar. Ruang sekolah haruslah memperhatikan tingkat kenyamanan agar murid merasa nyaman untuk melaksanakan proses belajar mengajar (Kwok, 1997).

Lokasi SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta berada di Jalan Raya Patehan NO.25. Lokasi sekolah ini berdekatan dengan tempat pariwisata yaitu, Taman Sari Yogyakarta. Jalanan menuju SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta selalu rame di saat pagi hingga sore karena lokasi berdekatan dengan salah satu tempat pariwisata yang populer di Yogyakarta.

SMP Muhammdiyah 5 Yogyakarta memiliki murid putra sebanyak 171 dan murid putri sebanyak 135 dengan jumlah keseluruhan sebanyak 306 murid. Pada saat proses penelitian jumlah responden yang di ambil sebanyak 93 murid dari 306 murid dimana 24 murid kelas 9B, 23 murid kelas 8D, 24 murid kelas 9D dan 22 murid kelas 8C dan jumlah 93 murid tersebut sudah mewakili karakteristik dari penelitian kenyamanan termal.

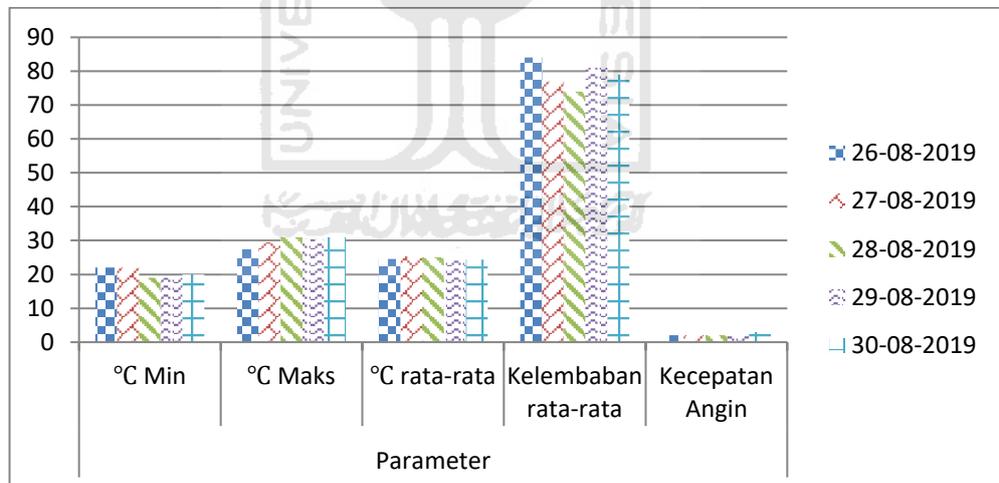
Seragam yang dipakai oleh murid merupakan pakaian yang dipakai pada umumnya yaitu seragam putih biru dengan lengan panjang serta rok panjang pada

pakaian perempuan pada hari senin hingga selasa untuk hari rabu hingga jum'at pakaian yang di pakai merupakan pakaian batik. Selain itu, semua murid perempuan menggunakan jilbab.

Penelitian kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dilakukan pemilihan ruangan kelas yang terkena paparan matahari berbeda-beda untuk dapat membandingkan hasil dari tingkat kenyamanan termal pada masing - masing ruang kelas. Pada proses melakukan penelitian di ambil kelas 9B dan 9D pada lantai satu dengan perbedaan paparan matahari yang berbeda dan untuk lantai 2 kelas 8C dan 8D dengan paparan matahari yang berbeda juga.

4.2. Kondisi Lingkungan Termal

Berdasarkan data BMKG Stasiun Klimatologi Mlati yang didapatkan data harian temperatur, kecepatan angin dan kelembaban di luar ruang sekolah. Data BMKG Mlati 26 Agustus - 30 Agustus (Senin- Jum'at) dapat dilihat pada Gambar 12.



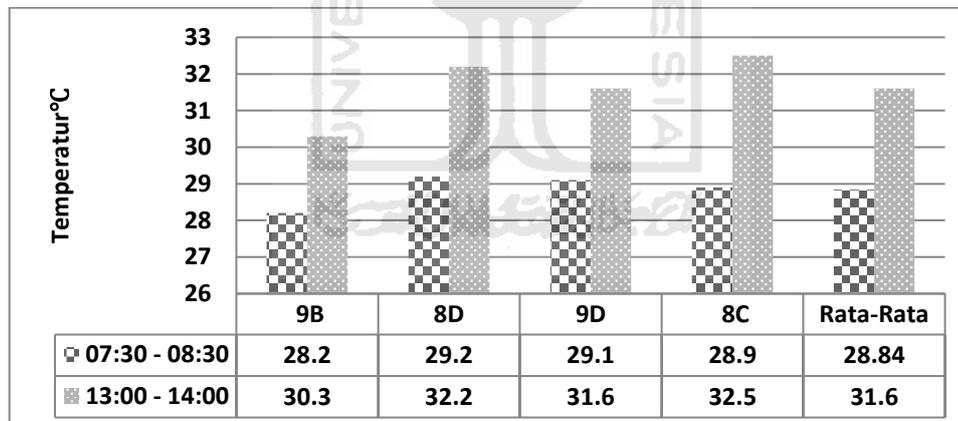
Gambar 12. Data BMKG

Pengambilan data BMKG Stasiun Klimatologi Mlati dilakukan untuk membandingkan temperatur udara di luar ruangan SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dengan temperatur udara di dalam ruangan. Dari Gambar 12 dapat dilihat temperatur udara di luar yang memiliki kelembaban tertinggi dan temperatur terendah pada hari Senin. Data BMKG sebagai data pendukung dari penelitian di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta.

Pada saat pengukuran di empat ruang kelas pada temperatur udara mengalami pertambahan dari pagi hingga siang, sehingga kelembaban mengalami penurunan. Pada pagi hari (07:30 WIB) temperatur rata-rata di ruang kelas 28,8°C dan kelembaban 65,8%. Siang hari (13:00 WIB) temperatur mengalami kenaikan menjadi 31,6°C sehingga kelembaban turun menjadi 54,6%. Situasi ini terjadi karena lamanya penyinaran dan intensitas matahari yang dapat mempengaruhi temperatur dan kelembaban.

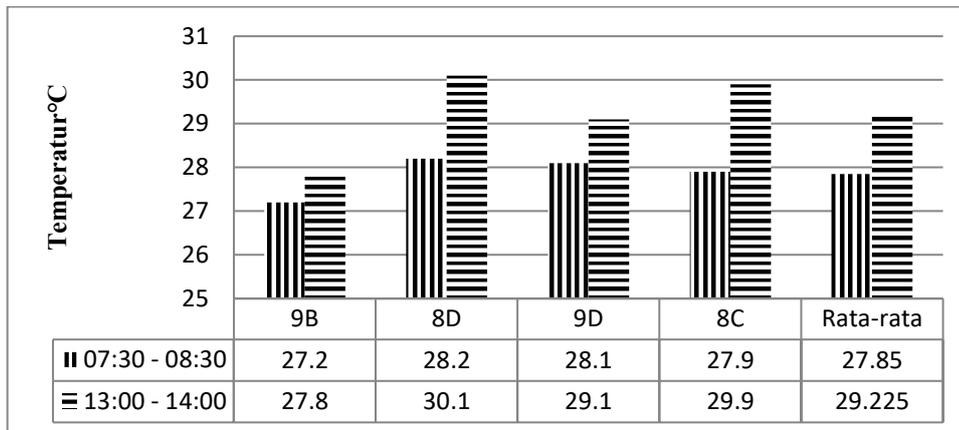
4.3. Analisis Kenyamanan Termal

Ruang kelas yang dijadikan sebagai tempat penelitian pada SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta memiliki intensitas dan durasi penyinaran matahari yang berbeda-beda. Setiap ruang kelas memiliki fasilitas pendingin yang sama yaitu satu unit kipas angin dan pengukuran kecepatan angin pada semua ruang kelas didapatkan nilai 0 m/s. Pada Gambar 13-15 menunjukkan hasil pengukuran pada masing-masing kelas di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta.



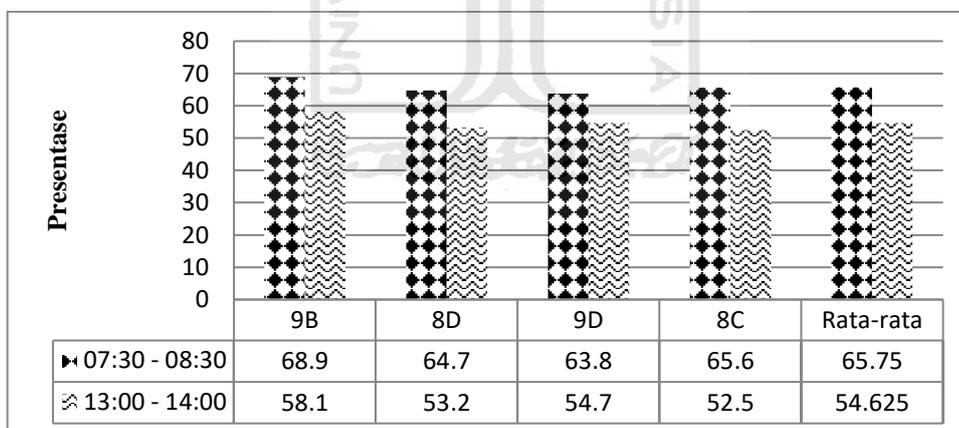
Gambar 13. Rekapitulasi Data Hasil Perhitungan Variabel Temperatur Udara

Berdasarkan hasil data temperatur udara kelas 8D dinyatakan kelas terpanas di saat pagi hari dan kelas 8C kelas terpanas di saat siang hari. Kelas 9B terdingin karena di saat pagi hari sinar matahari dari arah timur tidak mengenai seutuhnya terhadap kelas 9B yang tertutup oleh bangunan lain. Temperatur terendah sesuai dengan data BMKG pada hari Senin terlihat pada Lampiran 2 dan 3.



Gambar 14. Rekapitulasi Data Hasil Perhitungan Variabel Temperatur Radiant

Berdasarkan hasil data temperatur radiant kelas 8D dinyatakan kelas terpanas karena memiliki nilai temperatur radiant tertinggi dari kelas-kelas yang lain karena ruangnya langsung terkena sinar matahari. Kelas 9B memiliki temperatur radiant terendah dari kelas-kelas yang lain karena ruangnya tertutup bangunan kelas yang lain.



Gambar 15. Rekapitulasi Data Hasil Perhitungan Variabel Kelembaban Relatif

Berdasarkan hasil data kelembaban relatif kelas 9B dinyatakan kelas paling lembab karena memiliki suhu terendah dari kelas-kelas yang lain. Namun tingkat kelembaban tertinggi tidak sesuai dengan data BMKG, karena faktor jumlah manusia dan perbedaan luas pengukuran. Berdasarkan hasil data harian saat

melakukan pengukuran didapatkan hasil rekapitulasi data keseluruhan, terlihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi Data Keseluruhan.

Parameter	Rata-rata	Min	Max
Temperatur (°C)	30,2	28,2	32,5
Kelembaban Relatif (%)	60,1	52,5	68,9
Kecepatan Angin (m/s)	0,0	0,0	0,0
Temperatur Radiant Pendugaan (°C)	28,5	27,2	30,1

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Pengambilan data nilai insulasi pakaian dan metabolisme di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dilakukan observasi, terlihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Data Nilai Insulasi Pakaian

pria		wanita		Sumber
pakaian dalam	0,05	pakaian dalam	0,05	Hasil analisis berdasarkan SNI (2001)
kemeja ringan, lengan panjang	0,22	kemeja ringan, lengan panjang	0,22	
celana panjang lurus tipis	0,15	rok ringan, di bawah dengkul	0,11	
kaos kaki panjang	0,01	kaos kaki panjang	0,01	
sepatu	0,04	sepatu	0,04	
		kerudung	0,03	
total	0,47	total	0,43	
clo	0,45	clo	0,38	
clo max		0,45		
MET (menulis, membaca)			1,0 MET	Susanti dan Aulia (2013)

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Insulasi pakaian yang digunakan siswa di dapat dari hasil pengamatan secara langsung di ruang kelas dengan cara melihat jenis pakaian yang digunakan, kemudian membandingkan hasil pengamatan dengan standar peraturan tentang nilai insulasi pakaian pada tabel. Nilai Clo yang di pakai adalah 0,45 dapat dilihat pada Lampiran 5.

Nilai metabolisme siswa didapatkan dari hasil pengamatan secara langsung di ruang kelas dengan cara melihat aktivitas siswa dan membandingkan dengan standar peraturan nilai metabolisme pada Tabel 14.

Hasil pengukuran kenyamanan termal pada ruang kelas sekolah dengan nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) terlihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Perhitungan PMV Rata-rata di ruang kelas

Kelas	PMV Rata-rata
9B	1,0
8D	1,6
9D	1,4
8C	1,6
Rata-rata	1,4

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Hasil PMV untuk kelas 9B dan 9D sebesar 1,0 dan 1,4. Menurut skala sensasi termal ASHRAE nilai tersebut masuk ke dalam kategori *Slightly Warm* dan untuk kelas 8D dan 8C dengan nilai PMV 1,6 termasuk dalam kategori *Warm* dalam ruangan kelas. Dalam kondisi tersebut murid merasa tidak nyaman dalam proses belajar mengajar dengan kondisi yang berkeringat dan gerah akibat ruangan yang tidak nyaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah kondisi ruangan kelas menjadi nyaman kategori *Neutral* dengan nilai indeks PMV -0,5 – 0,5. Proses perhitungan PMV dapat dilihat pada Lampiran 6.

Hasil PMV SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta sedikit lebih panas dengan nilai PMV dari Penelitian Susanti dan Aulia (2013) di SMA Negeri 4 Padang dengan nilai PMV 1,13. Ada beberapa hal yang perlu di tinjau dari fenomena nilai PMV yang membuat kondisi murid tidak nyaman. Dari faktor lokasi kelas 8D dan 8C terletak di lantai 2 sedangkan kelas 9B dan 9D terletak pada lantai 1 yang dapat mempengaruhi tingkat temperatur suhu di ruangan. Letak bangunan yang tinggi membuat kelas 8D dan 8C langsung menerima paparan matahari lebih intensif sehingga membuatnya lebih panas. Dari faktor elemen lansekap, bangunan SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta ruangan kelasnya tidak memiliki pohon dan vegetasi yang dapat digunakan sebagai pelindung dari sinar cahaya matahari. Faktor-faktor tersebut yang dapat memungkinkan nilai PMV menjadi tidak nyaman.

4.4. Respon Kenyamanan Termal

Respon murid terhadap kondisi temperatur dalam ruangan kelas di sekolah dilakukan penyebaran kuisioner pada pagi dan siang hari di kelas 9B, 8D, 9D dan 8C. Nilai *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) tersebut dikonfirmasi dengan respon murid terhadap kenyamanan termal dan dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil Perhitungan PPD Rata-rata di ruang kelas

Kelas	PPD Rata-rata (%)
9B	26,1
8D	56,3
9D	45,5
8C	56,3
Rata-rata	46,05

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Nilai PPD 46,05% yang diduga bahwa hanya 46,05% murid merasa tidak nyaman dengan kondisi ruangan kelas dan dapat disimpulkan bahwa kondisi kenyamanan termal di ruang kelas SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta agak panas.

Pada pagi hari di ruang kelas menunjukkan bahwa kebanyakan responden 30% memilih (N) netral, diikuti oleh 29% (AP) agak panas, 17% (AD) agak dingin, 16% (P) panas dan 8% (SP) sangat panas. Hal ini menunjukkan responden kebanyakan merasa temperatur di ruang kelas terasa (N) netral dan dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18 . Rekapitulasi Data Hasil Kuesioner Pagi Hari

Kelas	AD	N	AP	P	SP
9B	28%	33%	20%	18%	2%
8D	10%	36%	36%	11%	8%
9D	15%	29%	24%	25%	7%
8C	14%	21%	38%	10%	17%
Rata-rata	17%	30%	29%	16%	8%

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Pada siang hari di ruang kelas menunjukkan bahwa kebanyakan responden 35% memilih (P) panas, diikuti oleh 28% (AP) agak panas, 22% (N) netral, 13% (SP) sangat panas dan 2% (AD) agak dingin. Hal ini menunjukkan responden

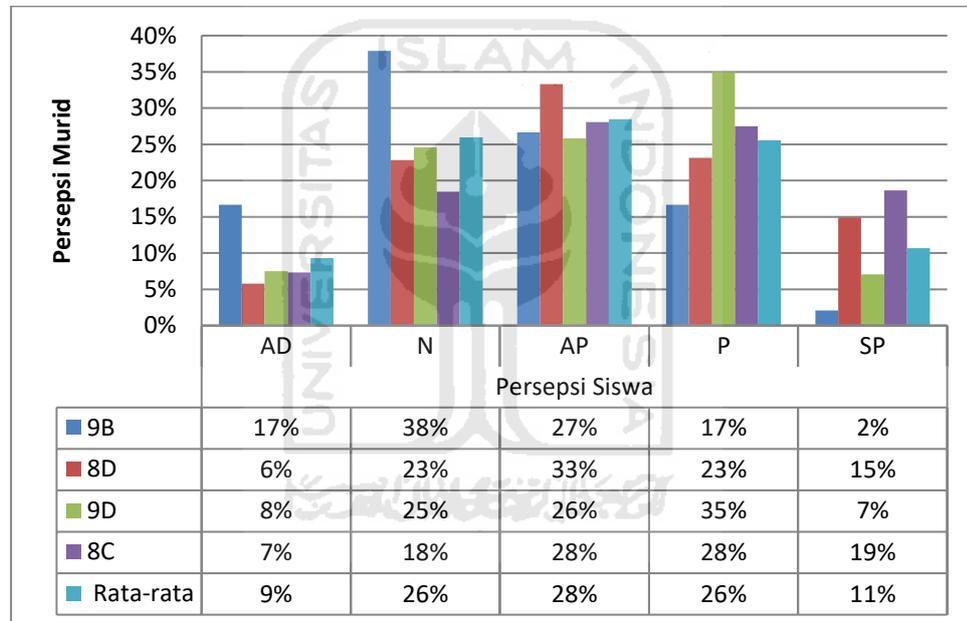
kebanyakan merasa temperatur di ruang kelas terasa (P) panas dan dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Rekapitulasi Data Hasil Kuesioner Siang Hari

Kelas	AD	N	AP	P	SP
9B	6%	43%	33%	16%	3%
8D	2%	10%	31%	35%	22%
9D	0%	20%	28%	45%	8%
8C	1%	16%	18%	45%	20%
Rata-rata	2%	22%	28%	35%	13%

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Hasil dari rekapitulasi keseluruhan data pagi dan siang hari dapat dilihat pada Gambar 16.



Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Gambar 16. Rekapitulasi Kuisisioner

Hasil rekapitulasi kuisisioner menunjukkan nilai (AP) paling banyak yaitu 28% disusul oleh (P) dan (N) 26%, (SP) 11% dan (AD) 9%. Dalam hal ini menyatakan kondisi kenyamanan termal murid di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta tidak nyaman. Standard Kenyamanan Termal (ASHRAE) mengatakan kenyamanan termal sebagai perasaan dalam pikiran manusia yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termalnya. Dalam standard ini juga disyaratkan bahwa kondisi dinyatakan nyaman apabila tidak kurang dari 90%

responden yang diukur menyatakan nyaman secara termal. Hal ini sesuai pada nilai PPD hasil kalkulator pada Tabel 17 bahwa 46,05% murid merasa tidak nyaman. Perhitungan kuisioner dapat dilihat pada Lampiran 7 dan 8.

Dari hasil kuisioner dapat dilihat kelas 9B responden banyak yang memilih *neutral* yang berarti nyaman. Hal ini disebabkan kelas 9B terletak di lantai 1 dan ruangnya terhalang dengan struktur bangunan yang lain sehingga menghalangi masuknya sinar matahari dari luar untuk masuk ke dalam ruangan, yang menyebabkan ruangan 9B memiliki temperatur rendah dan membuat responden ruangan tersebut merasa lebih nyaman dari kelas yang lain.

4.5. Rekayasa Termal Bangunan

4.5.1 Kondisi Eksisting

Kenyamanan termal sangat dibutuhkan tubuh manusia untuk dapat beraktivitas dengan baik di rumah, sekolah dan di tempat lainnya. Gambaran kondisi eksisting bangunan SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Kondisi Eksisting

Aspek	Kondisi Eksisting	Keterangan
Ventilasi		Penerapan ventilasi terbuka pada bangunan sekolah tersebut belum sesuai Berdasarkan SNI 03-6572-2001 luas bukaan belum 100% baru 80%. Ventilasi semestinya di ganti dengan bukaan 100% agar angin masuk lebih banyak dan menurunkan temperatur ruang kelas.

Lanjutan Tabel 20.

Warna
Bangunan



Penggunaan warna muda pada bangunan warna putih memiliki angka serapan kalor yang paling sedikit dari warna lain (10% -15%) yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal (Mangunwijaya, 1988). Namun, ruangan kelas di SMP 5 Muhammadiyah Yogyakarta menggunakan warna biru.

Plafon



Tinggi plafon sekolah adalah 2,5 meter dari lantai. Hal tersebut telah sesuai dengan SNI 03-1733-2004 tentang Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan.

Vegetasi



Pohon dan vegetasi dapat dimanfaatkan untuk mengatur aliran udara ke dalam bangunan (Egan, 1975). Kurangnya vegetasi di depan ruang kelas, sebaiknya tanaman yang tinggi di dalam pot dan posisi di depan kelas.

Lanjutan Tabel 20.

Bahan
Bangunan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa radiasi matahari adalah penyumbang jumlah panas terbesar yang masuk ke dalam bangunan (Pengantar Fisika Bangunan, Mangunwijaya). Pembatas kelas dari kelas 8D dan kelas 8C adalah seng, sebaiknya pembatas tersebut diganti dengan tembok dan di cat warna putih.

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

4.5.2 Peningkatan Rekayasa Termal

Dalam upaya peningkatan kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dapat dilakukan dengan penanaman pohon muda dalam pot, mengganti warna cat bangunan sekolah menjadi warna putih, mengganti ventilasi dengan bukaan 100%, dan mengganti pembatas kelas 8D dan 8C dengan tembok yang berwarna putih. Untuk plafon tidak dilakukan peningkatan rekayasa termal karena tinggi minimal plafon 2,5 meter dari lantai, telah sesuai dengan SNI 03-1733-2004 tentang Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan. Peningkatan kenyamanan dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21. Peningkatan Rekayasa Termal

No	Rekayasa Komponen	Potensi Peningkatan	Temperatur			PMV Value			Keterangan	
			Kelas	Nilai	Hasil	Kelas	Nilai	Hasil		
1	Vegetasi	Pohon Muda di dalam pot	turun 4°C	9B	29,2°C	25,2°C	9B	1,0	-0,5	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C Warm (1,6) turun hingga neutral (0,0) dan kelas 9B dengan 9D <i>slightly warm</i> (1,0 dan 1,4) turun menjadi (-0,5 dan -0,2) <i>neutral</i>
				8D	30,7°C	26,7°C	8D	1,6	0,0	
				9D	30,3°C	26,3°C	9D	1,4	-0,2	
				8C	30,7°C	26,7°C	8C	1,6	0,0	
2	Warna Bangunan	Cat Putih	turun 2°C	9B	29,2°C	27,2°C	9B	1,0	0,2	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C Warm (1,6) turun hingga <i>slightly warm</i> (0,8) dan kelas 9B dengan 9D <i>slightly warm</i> (1,0 dan 1,4) turun menjadi (0,2 dan 0,5) <i>neutral</i>
				8D	30,7°C	28,7°C	8D	1,6	0,8	
				9D	30,3°C	28,3°C	9D	1,4	0,5	
				8C	30,7°C	28,7°C	8C	1,6	0,8	
3	Bahan Bangunan	Besi pembatas di ganti tembok	turun 2°C	8C	30,7°C	25,2°C	8C	1,6	0,8	Terjadi perubahan pada nilai PMV pada kelas 8D dan 8C Warm(1,6) turun hingga <i>slightly warm</i> (0,8)
				8D	30,7°C	26,7°C	8D	1,6	0,8	

Sumber : (Hasil Analisis, 2019)

Hasil rekayasa peningkatan termal menunjukkan pada warna bangunan dan bahan bangunan kelas 8C dan 8D belum menjadi *neutral*, dalam hal ini agar kelas 8D dan 8C menjadi *neutral* perlu untuk memperbaiki warna bangunan dan tembok pembatas antar kelas.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengukuran kenyamanan termal pada beberapa ruang kelas di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta didapatkan nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) pada kelas 9B (1,0), 8D (1,6), 9D (1,4) dan 8C (1,6). Menurut standard kenyamanan termal ASHRAE nilai tersebut masuk ke dalam kategori *slightly warm* (kelas 9B,9D) dan *warm* (kelas 8C,8D) dengan nilai *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) 46,05%. Dengan kondisi tersebut dapat disimpulkan kondisi kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta terbilang tidak nyaman dan tidak dapat di terima oleh beberapa murid. Hal tersebut sesuai dengan data kuisisioner yang menyatakan > 10% merasa tidak nyaman secara termal.
2. Pemilihan penambahan vegetasi, mengubah warna gedung menjadi putih dan mengganti dinding pembatas kelas 8C dengan 8D untuk meningkatkan potensi kenyamanan termal di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta. Karena nilai PMV di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta termasuk kategori *Slightly Warm*. Apabila rekomendasi rekayasa termal tersebut dilakukan berpotensi menurunkan skala tingkat kenyamanan ke *neutral* yang berarti nyaman.

5.2 Saran

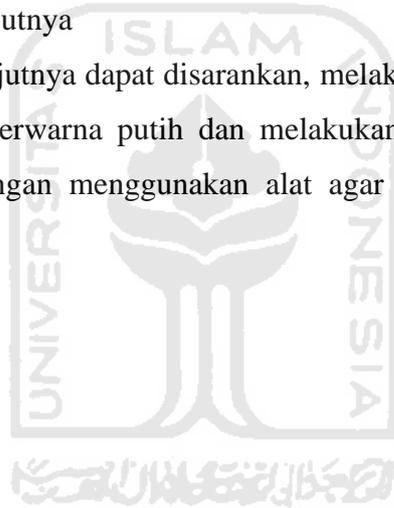
Berdasarkan kesimpulan dan pembahasan diatas maka saran yang dapat diberikan adalah:

1. Bagi pihak SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta

Karena, murid di SMP Muhammadiyah 5 merasa tidak nyaman menurut hasil data PPD dan di dukung oleh hasil kuisioner yang telah di lakukan. Potensi peningkatan kenyamanan termal dalam ruang kelas di SMP Muhammadiyah 5 Yogyakarta dapat dilakukan dengan penambahan vegetasi tanaman pot tinggi, cat warna putih dan seng pembatas kelas di ganti dengan tembok yang menciptakan temperatur menjadi nyaman.

2. Bagi peneliti selanjutnya

Pada peneliti selanjutnya dapat disarankan, melakukan penelitian langsung di sekolah yang berwarna putih dan melakukan pengukuran temperatur udara di luar ruangan menggunakan alat agar mendapatkan data yang optimal.

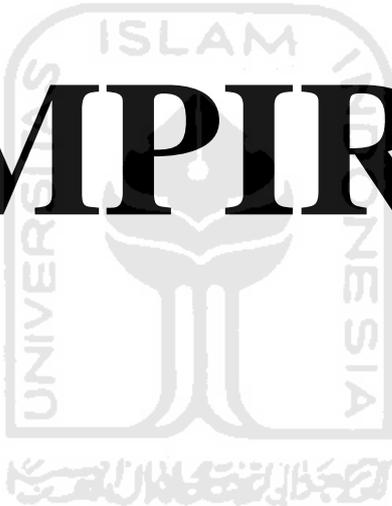


DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Handbook of Fundamental Chapter 8. *Physiological Principles, Comfort, and Health*. ASHRAE. USA. 1989.
- Auliciems, A. dan Szokolay, S.V. 2007. Thermal Comfort. PLEA (*Passive and Low Energy Architecture International*). Australia.
- De Dear dan G.S.Brager. 2002. *Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings*. Jurnal. Energy and Buildings.
- Egan, M. D. 1975. *Concept in Thermal Comfort*, London: Prentice-Hall International.
- Karyono, T. H. 2010. *Green Arsitektur- Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*. Jakarta.
- Keputusan Menteri Kesehatan No. 261/MENKES/SK/II/1998 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja.
- Kroemer dan Grandjean, E. 1982. *Fitting the Task to the Man, 4th ed.* Taylor & Francis Inc. London.
- Kwok, A. G. 1997. *Thermal comfort in naturally-ventilated and air-conditioned classrooms in the tropics*. University of California.
- Laksitoadi, B. 2008. *Kenyamanan Termis Gedung Olahraga Ditinjau dari Aliran Udara* (Studi Kasus: Gor Bulungan dan Gymnasium UI), FT UI, 2008.
- Lippsmeir, G. 1994, *Bangunan Tropis*, Erlangga, Jakarta.
- Lippsmeier, G. 1997. *Tropenbau: Building in the Tropics*. Munchen: Callwey.
- Mangunwijaya, Y.B. 1988. *Pengantar Fisika Bangunan*. Jakarta: Djambatan
- McIntyre, D.A. 1980. *Indoor Climate*. Applied Science Publishers LTD. London.
- Moniaga, S. 2018. *Investigasi Kenyamanan Termal Pada Bangunan Sekolah di Kabupaten Minahasa Selatan*. Universitas Sam Ratulangi
- Nugroho, M.A. 2011. *A Preliminary Study of Thermal Environment in Malaysia's Terraced Houses*. Journal and Economic Engeneering: 2 (1), 25-28.

- Olgay, V. 1963. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press. Princeton.
- Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2013 Tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 Tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung
- Prianto, E. dan Depecker, P. 2002. "Characteristic of Air Flow as The Effect of Balcony, Opening Design and Internal Division on Indoor Velocity" *Energy and Buildings*, Volume 34, Issue 4, : 401409.
- Purnomo, H., dan Rizal, 2000. *Pengaruh Kelembaban Temperatur Udara dan Beban Kerja terhadap Kondisi Faal Tubuh Manusia*. LOGIKA, Vol. 4. No. 5. 2000. ISSN: 1410-2315: 35-47.
- Purwanto, L.M.F. 2007. *Pengaruh Disain Arsitektur Tropis Terhadap Usaha Efisiensi Beban Energi Bangunan*. II:4.
- Sangkertadi. 2013. "Kenyamanan Termis di Ruang Luar Beriklim Tropis Lembab".
- SNI 03-6572-2001. *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Snyder, J. C. dan Catanese, A. J. 1989; *Introduction to Architecture*; Jakarta; Erlangga.
- Sugini. 2004. *Pemaknaan Istilah-Istilah Kualitas Kenyamanan Thermal Ruang Dalam Kaitan Dengan Variabel Iklim Ruang*. Jurnal LOGIKA, Vol. 1, No. 2, Juli 2004, ISSN: 1410-2315.
- Susanti, L. dan Aulia, N. 2013. *Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang*. Padang: Universitas Andalas.
- Szokolay. 1973 *Manual of Tropical Housing and Building*. India: Orient Longman.
- Wong, N.H. S, S, Khoo. 2002. *Thermal comfort in classrooms in the tropics*, *Energy and Buildings*. 35:337-35.

LAMPIRAN

The image features a large, bold, black serif title "LAMPIRAN" centered on the page. Behind the title is a faint, light gray watermark of the logo for Universitas Islam Indonesia. The logo consists of a shield-shaped emblem with a stylized open book and a flame-like element above it. The text "UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA" is written around the emblem, and there is Arabic calligraphy at the bottom.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Lampiran 1 Skala Penelitian (Kuesioner)

KUESIONER PENELITIAN KENYAMANAN TERMAL SMP MUHAMMADIYAH 5 YOGYAKARTA

Identitas responden

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

PETUNJUK PENGISIAN:

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

Keterangan:

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

No	Daftar Pertanyaan	Alternatif Jawaban				
		AD	N	AP	P	SP
		1	1	1	1	1
1	Ketika anda memasuki ruang kelas, pendapat anda terhadap termperatur udara ruang kelas?					
2	Bagaimana kondisi sirkulasi udara di ruang kelas?					
3	Ketika anda berada di dalam ruangan (duduk belajar), apakah yang anda rasakan?					
4	Apakah yang anda rasakan saat menggunakan pakaian seragam sekolah saat di dalam kelas?					
5	Ketika anda melakukan aktivitas (duduk belajar) dalam ruang kelas, bagaimana pendapat anda terhadap termperatur udara ruang kelas?					

Lampiran 2 Hasil Pengukuran Pada Pagi Hari

Kelas 9B	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jumat			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	27,7	28,0	28,1	28,4	28,4	28,4	28,7	28,7	28,7	28,3	28,3	28,4	27,4	27,5	27,5	28,2
	Kelembaban (%)	78,0	76,3	76,0	62,0	62,0	62,0	64,2	64,0	64,0	64,8	64,6	64,9	78,4	76,5	76,4	68,9
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	24,7	24,9	25	22,9	22,9	22,9	23,5	23,5	23,5	23,3	23,3	23,4	22,4	22,5	22,5	23,4

Kelas 8D	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jumat			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	28,4	28,4	28,4	28,6	28,6	28,6	29,7	29,7	29,7	30,5	30,4	30,1	29,0	29,0	29,0	29,2
	Kelembaban (%)	63,4	63,1	63,3	63,0	63,0	63,0	65,8	65,9	66,2	63,1	68,0	66,7	66,0	65,5	65,2	64,7
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	23,4	23,4	23,4	23,6	23,6	23,6	24,7	24,7	24,7	25,5	25,4	25,1	24,0	24,0	24,0	24,2

Kelas 9D	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jumat			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	28,3	28,3	28,3	28,7	28,7	28,7	29,8	29,8	29,8	30,0	30,1	30,2	28,3	28,4	28,4	29,1
	Kelembaban (%)	63,7	63,7	63,7	63,0	63,0	63,0	65,3	65,3	65,4	63,7	63,7	63,8	63,1	63,1	63,3	63,8
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	23,3	23,3	23,3	23,7	23,7	23,7	24,8	26,3	26,3	24,5	24,6	25,2	23,3	23,4	23,4	24,2

Kelas 8C	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jumat			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	28,6	28,6	28,6	26,4	26,3	26,3	30,1	30,1	30,0	30,7	30,7	30,8	29,5	29,6	29,6	28,9
	Kelembaban (%)	65,8	65,0	65,0	66,7	66,5	66,5	64,9	64,7	64,5	66,1	62,9	63,8	67,1	66,9	67,3	65,6
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	23,6	23,6	23,6	21,4	21,3	21,3	25,1	25,1	25,0	25,7	25,7	25,8	24,5	24,6	24,6	23,9

Lampiran 3 Hasil Pengukuran Pada Siang Hari

Kelas 9B	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jum'at			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}$ C)	30,5	30,5	30,6	30,2	30,2	30,2	30,3	30,3	30,4	30,0	30,0	30,0	31,2	31,2	31,3	30,3
	Kelembaban (%)	57,4	57,6	57,8	58,0	58,6	58,6	58,0	58,0	58,0	58,5	58,5	58,5	56,0	56,0	56,0	58,1
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}$ C)	23,0	23,0	23,1	23,2	23,2	23,2	23,3	23,3	23,4	23,0	23,0	23,0	24,2	24,2	24,3	23,1

Kelas 8D	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jum'at			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}$ C)	31,7	31,7	31,8	32,0	32,0	32,0	32,8	32,8	32,8	32,5	32,4	32,4	31,8	31,9	31,9	32,2
	Kelembaban (%)	54,0	54,0	54,0	53,6	53,5	53,5	52,0	52,3	52,3	53,1	53,2	53,2	53,8	53,8	53,8	53,2
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}$ C)	24,7	24,7	24,8	25,0	25,0	25,0	25,8	25,8	25,8	26,0	24,9	24,9	24,3	24,4	24,4	25,2

Kelas 9D	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jum'at			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}$ C)	31,0	31,0	31,0	31,5	31,5	31,5	32,0	32,0	32,0	31,8	31,7	31,7	31,0	31,1	31,1	31,6
	Kelembaban (%)	55,5	55,5	55,5	54,1	54,0	54,0	53,6	53,7	53,7	55,3	55,6	55,6	55,6	55,5	55,5	54,7
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}$ C)	23,5	23,5	23,5	24,0	24,0	24,0	24,5	24,5	24,5	24,8	24,7	24,7	24,0	24,1	24,1	24,2

Kelas 8C	Parameter	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jum'at			Rata-rata
		depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	depan	tengah	belakang	
	Temperatur ($^{\circ}$ C)	32,0	32,0	32,0	32,3	32,3	32,1	33,0	33,0	33,0	32,8	32,8	32,8	32,3	32,3	32,3	32,5
	Kelembaban (%)	53,6	53,6	53,6	52,5	52,5	52,6	51,8	51,7	51,7	52,0	52,1	52,1	52,0	52,2	52,2	52,5
	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	0,0	0,0	0,0
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}$ C)	24,5	24,5	24,5	24,8	24,8	24,6	25,0	25,0	25,0	24,8	24,8	24,8	24,3	24,3	24,3	24,8

Lampiran 4 Hasil Pengukuran Keseluruhan

Kelas 9B	Parameter	Pagi (07.30-08.30)	Siang (13.00-14.00)	Rata-rata dalam 5 Hari	Sumber
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	28,2	30,3	29,2	Hasil analisis (2019)
	Kelembaban (%)	68,9	58,1	63,5	
	Kecepatan angin (m/s)	0,0	0,0	0,0	
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	23,4	23,1	23,3	
	Temperatur radian pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	27,2	27,8	27,5	Hasil analisis pada pendugaan berdasarkan Turco <i>et al.</i> (2013)

Kelas 8D	Parameter	Pagi (07.30-08.30)	Siang (13.00-14.00)	Rata-rata dalam 5 Hari	Sumber
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	29,2	32,2	30,7	Hasil analisis (2019)
	Kelembaban (%)	64,7	53,2	59,0	
	Kecepatan angin (m/s)	0,0	0,0	0,0	
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	24,2	25,2	24,7	
	Temperatur radian pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	28,2	30,1	29,1	Hasil analisis pada pendugaan berdasarkan Turco <i>et al.</i> (2013)

Kelas 9D	Parameter	Pagi (07.30-08.30)	Siang (13.00-14.00)	Rata-rata dalam 5 Hari	Sumber
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	29,1	31,6	30,3	Hasil analisis (2019)
	Kelembaban (%)	63,8	54,7	59,2	
	Kecepatan angin (m/s)	0,0	0,0	0,0	
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	24,2	24,2	24,2	
	Temperatur radian pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	28,1	29,1	28,6	Hasil analisis pada pendugaan berdasarkan Turco <i>et al.</i> (2013)

Kelas 8C	Parameter	Pagi (07.30-08.30)	Siang (13.00-14.00)	Rata-rata dalam 5 Hari	Sumber
	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	28,9	32,5	30,7	Hasil analisis (2019)
	Kelembaban (%)	65,6	52,5	59,0	
	Kecepatan angin (m/s)	0,0	0,0	0,0	
	Temperatur basah pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	23,9	24,8	24,3	
	Temperatur radian pendugaan ($^{\circ}\text{C}$)	27,9	29,9	28,9	Hasil analisis pada pendugaan berdasarkan Turco <i>et al.</i> (2013)

Lampiran 5 Perhitungan CLO

pria		wanita		Sumber
pakaian dalam	0,05	pakaian dalam	0,05	Hasil analisis berdasarkan SNI (2001)
kemeja ringan, lengan panjang	0,22	kemeja ringan, lengan panjang	0,22	
celana panjang lurus tipis	0,15	rok ringan, di bawah dengkul	0,11	
kaos kaki panjang	0,01	kaos kaki panjang	0,01	
sepatu	0,04	sepatu	0,04	
		kerudung	0,03	
total	0,47	total	0,43	
clo	0,45	clo	0,38	
clo max		0,45		
MET (menulis, membaca)		1,0 MET		

Untuk Pria

$$\text{Nilai CLO} = 0,727 (\text{masing-masing CLO}) + 0,113$$

Untuk Wanita

$$\text{Nilai CLO} = 0,770 (\text{masing-masing CLO}) + 0,050$$

Dimana:

$$\text{Nilai CLO pria} = 0,727 (0,05+0,22+0,15+0,01+0,04) + 0,113 = 0,45$$

$$\text{Nilai CLO wanita} = 0,770 (0,05+0,22+0,11+0,01+0,04+0,03) + 0,050 = 0,38$$

Nilai yang diambil merupakan nilai clo tertinggi, yaitu 0,45

Lampiran 6 Hasil PMV dan PPD

9B

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	28,35
PMV	1,0
PPD	26,1

8D

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	29,9
PMV	1,6
PPD	56,3

9D

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	29,45
PMV	1,4
PPD	45,5

8C

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	29,8
PMV	1,6
PPD	56,3

Rata-rata

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	29,37
PMV	1,4
PPD	46,05

Lampiran 7 Hasil Data Skala Penelitian Kuesioner Pada Pagi Hari

98

No	Nama	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	
1	Abrar Rakha Putra		1				1					1					1					1					
2	Ahmad Bintang	1					1					1					1					1					
3	Alfino Akbar			1						1					1							1					
4	Amanda Dwi Fatika Sari	1					1							1							1						
5	Amelia Dela Puspita		1				1							1							1						1
6	Andi Saputro		1				1							1							1						1
7	Azizah Monyx Styfanny		1							1				1							1						1
8	Clara Fitri A	1								1				1							1						1
9	Dhea Almyra		1				1							1							1						1
10	Fadhil Sahasika	1								1				1							1						1
11	Fahrizal					1				1				1							1						1
12	Ferdin Airnando					1				1				1							1						1
13	Ferro A.D.P	1					1							1							1						1
14	Fhaiz Aji K	1								1				1							1						1
15	Firstia Dian A		1							1				1							1						1
16	Galuh Ayu		1							1				1							1						1
17	Indiana Chiesa Chrisma Putri	1								1				1							1						1
18	Isnawan Rifai Saputra	1								1				1							1						1
19	Mariyanto Ferdiansyah		1							1				1							1						1
20	Muh Rizal		1							1				1							1						1
21	Noventree Ajeng Fidya W	1								1				1							1						1
22	Raniangraini Pratiwi	1								1				1							1						1
23	Rizky S		1							1				1							1						1
24	Wantoro Alan		1							1				1							1						1
Total		10	11	1	2	0	11	6	4	3	0	4	12	7	1	0	2	5	8	8	1	6	6	4	7	1	
Persentase		41,7%	45,8%	4,2%	8,3%	0,0%	45,8%	25,0%	16,7%	12,50%	0,0%	16,7%	50,0%	29,2%	4,2%	0,0%	8,3%	20,8%	33,33%	33,33%	4,2%	25,0%	25,0%	16,7%	29,2%	4,2%	

80

No	Nama	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	
1	Adel Kurniawati Devi		1				1							1						1							1
2	Ahmad Eka Putra W		1							1				1							1						1
3	Aldio Zidan P			1			1							1							1						1
4	Aifinodeo			1						1				1							1						1
5	Alfian Bramasta P		1							1				1							1						1
6	Arditya Wijaya S		1							1				1							1						1
7	Athifah N H		1							1				1							1						1
8	Deta Embun Salsabila	1								1				1							1						1
9	Dinda Febriana	1								1				1							1						1
10	Dwi Angger W			1						1				1							1						1
11	Eifan Zulliano			1						1				1							1						1
12	Fauzi Doni F		1							1				1							1						1
13	Kewer Diaz R	1								1				1							1						1
14	Larasati Indah A	1								1				1							1						1
15	Nesha Eka	1								1				1							1						1
16	Rahma Putra		1							1				1							1						1
17	Raihan Fajar			1						1				1							1						1
18	Rizqi Rahadyan			1						1				1							1						1
19	Wahyu Nurrohman		1							1				1							1						1
20	Yasmin		1							1				1							1						1
21	Yudis					1				1				1							1						1
22	Yuhanada Allicia		1							1				1							1						1
23	Zika Cahaya		1							1				1							1						1
Total		5	11	6	0	1	2	11	6	4	0	3	6	11	3	0	1	6	12	0	4	0	7	6	6	4	
		22%	48%	26%	0%	4%	9%	48%	26%	17%	0%	13%	26%	48%	13%	0%	4%	26%	52%	0%	17%	0%	30%	26%	26%	17%	
		23					23					23					23					23					

9D

No	Nama	Pertanyaan 1					Pertanyaan 2					Pertanyaan 3					Pertanyaan 4					Pertanyaan 5						
1	Aditya Dimas N				1					1					1					1					1			
2	Alamanda		1							1					1					1								1
3	Arnathan Dhimas		1							1					1					1					1			
4	Asiva Mandha	1								1					1					1						1		
5	Auliya Hanifa		1							1					1					1								1
6	Choirul Aldianto		1							1					1					1								1
7	Derry M					1				1					1					1								1
8	Desta Wulan		1							1					1					1								1
9	Diska AF				1					1					1					1								1
10	Fadilla Fitriani			1						1					1					1						1		
11	Fajar Nurrahman				1					1					1					1								1
12	Faris		1							1					1					1						1		
13	Herpaty Pudiyo L		1							1					1					1								1
14	Julia Ekti Rahmawati	1								1					1					1					1			
15	Latif Anggrif P		1							1					1					1								1
16	Maereta Shalsabilaw	1								1					1					1					1			
17	Marcel Andreas		1							1					1					1							1	
18	Muh Galang Pradita Putra	1								1					1					1							1	
19	Muhammad Sibly				1					1					1					1					1			
20	Nabila Azzahra	1								1					1					1					1			
21	Reihan Febriany	1								1					1					1					1			
22	Syalsa Hasna Adelia S	1								1					1					1					1			
23	Tegar Athaya Farid		1							1					1					1						1		
24	Yelfa Ahmad S				1					1					1					1								1
	Total	7	10	1	5	1	5	9	5	4	1	3	7	7	6	1	0	5	9	7	3	3	4	7	8	2		
		24					24					24					24					24						

8C

No	Nama	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		
1	Adinda Tri Astuti		1				1					1					1							1				
2	Anggasta Vastiara			1					1					1						1					1			
3	Amreta N P			1					1					1						1					1			
4	Audry Eva			1					1					1						1					1			
5	Auisha Dian N			1					1					1						1					1			
6	Azara Pramesti Putri				1					1					1					1					1			
7	Erit Damarta					1									1					1					1			
8	Erwin				1					1					1					1					1			
9	Lyla Syafirah Alfa SS		1							1					1					1					1			
10	Maulana Fadli		1							1					1					1					1			
11	Mira Nur Pawaransyah		1							1					1					1					1			
12	Mirza Arya S		1							1					1					1					1			
13	Muhammad Farizal H					1									1					1					1			
14	Muhammad Nur Aditya	1								1					1					1					1			
15	Novan Zogi A		1							1					1					1					1			
16	Ramadhan Eko Putra				1					1					1					1					1			
17	Rani Anggraini Pratiwi	1								1					1					1					1			
18	Rengga Yudha S			1						1					1					1					1			
19	Restu Agis Aji P		1							1					1					1					1			
20	Rizky Dwi Riyanto					1									1					1					1			
21	Rustam Mahzuz Afandhi	1								1					1					1					1			
22	Salsabila			1						1					1					1					1			
	Total	3	7	6	3	3	5	5	7	2	3	5	2	8	3	4	1	5	9	3	4	1	4	12	0	5		
		22					22					22					22					22						

Lampiran 8 Hasil Data Skala Penelitian Kuesioner Pada Siang Hari

9B

No	Nama	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	
1	Abrar Rakha Putra		1					1					1							1							
2	Ahmad Bintang		1				1					1								1				1			
3	Alfino Akbar			1					1					1							1				1		
4	Amanda Dwi Fatika Sari		1					1					1								1				1		
5	Amelia Dela Puspita		1						1				1								1				1		
6	Andi Saputro				1				1					1							1					1	
7	Azizah Monyx Styfanny				1				1				1								1					1	
8	Clara Fitri A		1					1					1								1				1		
9	Dhea Almyra				1				1				1								1				1		
10	Fadhil Sahasika		1					1					1								1				1		
11	Fahrizal			1				1					1								1				1		
12	Ferdin Airnando			1					1				1								1				1		
13	Ferro A.D.P	1					1					1									1				1		
14	Fhaiz Aji K			1					1					1								1				1	
15	Firstia Dian A		1					1					1								1				1		
16	Galuh Ayu			1					1				1								1				1		
17	Indiana Chiesa Chrisma Putri		1						1				1								1				1		
18	Isnawan Rifai Saputra		1						1				1								1				1		
19	Mariyanto Ferdiansyah				1				1				1								1				1		
20	Muh Rizal		1					1					1								1				1		
21	Noventree Ajeng Fidya W		1					1					1								1				1		
22	Raniangraini Pratiwi			1					1				1								1				1		
23	Rizky S		1						1				1								1				1		
24	Wantoro Alan			1					1				1								1				1		
	Total	1	12	8	3	0	2	9	10	3	0	2	12	7	3	0	0	9	8	5	2	2	9	7	5	1	
		4%	50%	33%	13%	0%	8%	38%	42%	13%	0%	8%	50%	29%	13%	0%	0%	38%	33%	21%	8%	8%	38%	29%	21%	4%	

8D

No	Nama	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	
1	Adel Kurniawati Devi			1				1					1							1					1		
2	Ahmad Eka Putra W					1			1					1							1					1	
3	Aldio Zidan P			1					1					1							1					1	
4	Aifinodeo					1				1				1							1					1	
5	Alfian Bramasta P				1				1				1								1					1	
6	Arditya Wijaya S			1					1				1								1					1	
7	Athifah N H				1				1				1								1					1	
8	Deta Embun Salsabila			1					1				1								1					1	
9	Dinda Febrina		1						1				1								1					1	
10	Dwi Angger W		1					1					1								1					1	
11	Eifan Zuliano					1				1				1							1					1	
12	Fauzi Doni F					1				1				1							1					1	
13	Kewer Diaz R	1						1						1							1					1	
14	Larasati Indah A			1					1					1							1					1	
15	Nesha Eka			1					1					1							1					1	
16	Rahma Putra		1							1					1						1					1	
17	Raihan Fajar			1					1					1							1					1	
18	Rizqi Rahadyan			1					1					1							1					1	
19	Wahyu Nurrohman			1					1					1							1					1	
20	Yasmin			1					1					1							1					1	
21	Yudis					1				1					1						1					1	
22	Yuhanadz Allicia					1				1					1						1					1	
23	Zika Cahaya			1					1					1							1					1	
	Total	1	3	11	4	4	0	3	8	9	3	1	3	4	7	8	0	2	5	11	5	0	1	8	9	5	
				23					23					23						23					23		

9D

No	Nama	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	
1	Aditya Dimas N				1				1					1						1						1	
2	Alamanda		1					1						1						1				1			
3	Arnathan Dhimas		1						1					1						1				1			
4	Asiva Mandha			1					1					1						1					1		
5	Auliya Hanifa				1				1					1						1					1		
6	Choirul Aldianto		1						1					1						1				1			
7	Derry M				1				1					1						1					1		
8	Desta Wulan				1				1					1						1					1		
9	Diska AF				1				1					1						1					1		
10	Fadilla Fitriani			1					1					1						1				1			
11	Fajar Nurrahman				1				1					1						1					1		
12	Faris				1				1					1						1					1		
13	Herpaty Pudiyo L		1					1						1						1					1		
14	Julia Ekti Rahmawati		1						1					1						1					1		
15	Latif Anggiff P				1				1					1						1					1		
16	Maereta Shalsabillaw			1					1					1						1					1		
17	Marcel Andreas			1					1					1						1					1		
18	Muh Galang Pradita Putra		1					1						1						1					1		
19	Muhammad Sibly				1				1					1						1					1		
20	Nabila Azzahra			1					1					1						1					1		
21	Reihan Febriany		1					1					1							1					1		
22	Syalsa Hasna Adela S				1			1					1							1				1			
23	Tegar Athaya Farid		1					1					1							1				1			
24	Yelfa Ahmad S				1				1					1						1					1		1
	Total	0	8	5	11	0	0	6	8	7	3	0	5	9	10	0	0	2	7	10	5	0	3	4	16	1	
				24					24					24						24							24

8C

No	Nama	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	
1	Adinda Tri Astuti		1				1							1						1					1		
2	Anggasta Vastiara			1					1					1						1					1		
3	Amreta N P				1				1					1						1					1		
4	Audry Eva				1				1					1						1					1		
5	Auisha Dian N				1				1					1						1					1		
6	Azara Pramesti Putri				1				1					1						1					1		
7	Erit Damarta					1				1					1						1					1	
8	Erwin					1				1					1						1					1	
9	Lyla Syafirah Alfa SS		1					1					1							1				1			
10	Maulana Fadli			1				1					1							1				1			
11	Mira Nur Pawaransyah		1						1					1						1				1			
12	Mirza Arya S			1				1						1						1				1			
13	Muhammad Farizal H					1				1					1						1					1	
14	Muhammad Nur Aditya			1					1					1							1				1		
15	Novan Zogi A		1						1					1							1				1		
16	Ramadhan Eko Putra					1				1					1						1					1	
17	Rani Anggraini Pratiwi				1				1					1							1				1		
18	Rengga Yudha S			1					1					1							1				1		
19	Restu Agis Aji P				1				1					1							1			1			
20	Rizky Dwi Riyanto			1					1					1							1			1			
21	Rustam Mahzuz Afandhi			1				1					1							1				1			
22	Salsabila				1				1					1							1				1		
	Total	0	3	8	7	4	1	4	2	12	3	0	4	3	11	4	0	3	4	8	7	0	4	3	11	4	
				22					22					22						22							22

