



**universitas
MALIKUSSALEH**

**ANALISIS TINGKAT KENYAMANAN TERMAL
DAN KEPUASAN PENGGUNA**

**(Studi Kasus: Gedung Laboratorium Teknik Mesin Universitas
Malikussaleh)**

SKRIPSI

**Disusun Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Arsitektur
Prodi Arsitektur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Malikussaleh**

DISUSUN OLEH:

NAMA : FAHDEA HELFIALNA

NIM : 190160021

PRODI : ARSITEKTUR

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
LHOKSEUMAWE
2023**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fahdea Helfialna
NIM : 190160021
Fakultas/ Prodi : Teknik / Prodi Arsitektur

Dengan ini menyatakan skripsi yang berjudul:

Analisis Tingkat Kenyamanan Termal dan Kepuasan Pengguna di Gedung Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh

Adalah hasil kerja tulisan saya sendiri didampingi dosen pembimbing bukan hasil plagiat dari karya ilmiah orang lain.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika dikemudian hari ternyata terbukti bahwa skripsi yang saya tulis adalah plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku, dan saya bertanggung jawab secara mandiri tidak ada sangkut pautnya dengan Dosen Pembimbing dan kelembagaan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Lhokseumawe, 20 Desember 2023

Penulis



Fahdea Helfialna

NIM. 190160021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Tingkat Kenyamanan Termal dan Kepuasan Pengguna di Gedung Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh
Nama Mahasiswa : Fahdea Helfialna
NIM : 190160021
Program Studi : S1 Arsitektur
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama : Adi Safyan, S.T., M.Sc.
Pembimbing Pendamping : Sisca Olivia, S.T., M.S.
Ketua Penguji : Armelia Dafrina, S.T., M.T.
Anggota Penguji : Dela Andriani S.T., M.T.

Lhokseumawe, 20 Desember 2023

Penulis,



Fahdea Helfialna
NIM 190160021

Menyetujui:

Pembimbing Utama,



Adi Safyan, S.T., M.Sc.
NIP 196501072003121001

Pembimbing Pendamping,



Sisca Olivia, S.T., M.S.
NIPPPK 198110242023212015

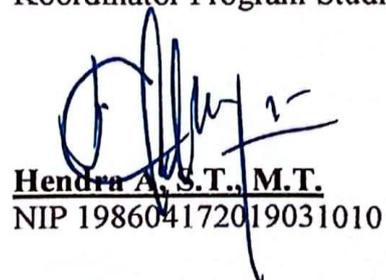
Mengetahui:

Sekretaris Jurusan,



Cut Azmah Fithri, S.T., M.T.
NIP 197211072008122001

Koordinator Program Studi,



Hendra A., S.T., M.T.
NIP 198604172019031010

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji syukur kehadiran Allah Swt. yang telah memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam penulis ucapkan kepada baginda besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa manusia dari zaman kebodohan hingga zaman penuh ilmu pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Analisis Tingkat Kenyamanan Termal dan Kepuasan Pengguna di Gedung Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh”** dengan baik sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Arsitektur Universitas Malikussaleh.

Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak terlepas dari doa, bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, ST., M.T., IPM., Asean. Eng. Selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Ibu Cut Azmah Fithri, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh
4. Bapak Hendra A, S.T., M.T selaku Kepala Prodi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan selaku dosen Akademik.
5. Bapak Adi Safyan Yahya, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Dosen Pembimbing yang bijaksana dan sabar telah memberi arahan, bimbingan, saran, dukungan serta meluangkan waktu dan ilmu kepada saya untuk melakukan proses penyusunan proposal skripsi dari awal hingga akhir.
6. Ibu Sisca Olivia, S.T., M.S selaku Dosen Pembimbing II sekaligus dosen pembimbing yang telah memberi arahan, bimbingan, saran, dukungan serta meluangkan waktu dalam proses penyusunan proposal skripsi.

7. Ibu Armelia Dafrina, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I yang telah membantu memberikan kritikan, saran dan masukan mengenai isi dan penulisan untuk kesempurnaan skripsi ini.
8. Ibu Dela Andriani S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah membantu memberikan kritikan, saran dan masukan mengenai isi dan penulisan untuk kesempurnaan skripsi ini.
9. Bapak dan ibu dosen serta staf laboratorium yang telah membantu penulis selama penelitian di Jurusan Teknik Mesin Universitas Malikussaleh.
10. Kedua orang tua penulis, Bapak Aldi Kaputra, dan Ibu Susi Eriyanti terima kasih atas segala doa, dukungan, pengorbanan, dan kasih sayang serta cinta yang berlimpah ruah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Kepada saudara/i penulis, Muhammad Andrial Israqi., S.E., Fakhrial Wahyudi, Frendika Muzawardi, Fazirdan Nazarman, Fatimah Rahmadhania, dan Friyona Defrialdi yang memberikan masukan, semangat, motivasi dan cinta kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Sahabat Penulis, yang menjadi semangat menjalani perkuliahan dari awal hingga akhir terima kasih atas dukungannya yang telah menemani penulis ketika penelitian, menemani masa suka dan duka perkuliahan, pengertian serta kebersamaan kalian.
13. Kepada teman-teman penulis, yang tidak dapat disebutkan oleh penulis, terima kasih telah menemani perjalanan perkuliahan baik suka maupun duka, yang senantiasa selalu memberikan *support*, candaan, kebersamaan dan rasa kekeluargaan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
14. Semua orang yang tidak dapat disebut satu persatu yang terlibat dan banyak membantu secara langsung maupun tidak langsung.
15. Terutama dan paling utama terima kasih untuk diri sendiri sudah bertahan, berjuang dan berusaha menjadi lebih baik hingga saat ini.

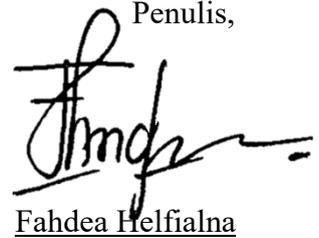
Penulis sudah berusaha menyelesaikan proposal skripsi ini dengan semaksimal mungkin, namun apabila terdapat kekurangan dalam penyusunan, bahasa maupun penulisan, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai acuan

penulis untuk lebih baik kedepannya. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi pengembangan kearah yang lebih baik.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Lhokseumawe, 20 Desember 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fahdea Helfialna', with a horizontal line extending to the right.

Fahdea Helfialna

**ANALISIS TINGKAT KENYAMANAN TERMAL DAN KEPUASAN
PENGGUNA
(Studi Kasus: Gedung Laboratorium Teknik Mesin Universitas
Malikussaleh)**

Nama : Fahdea Helfialna
Nim : 190160021
Pembimbing : 1. Adi Safyan, S.T., M.Sc.
: 2. Sisca Olivia, S.T., M.S.

ABSTRAK

Laboratorium merupakan tempat yang digunakan sebagai praktikum, penelitian, dan dapat menunjang proses belajar mengajar. Ruang laboratorium Teknik Mesin merupakan ruang yang paling penting dan sering digunakan untuk mendukung kegiatan studi Jurusan Teknik Mesin Unimal. Akan tetapi, kondisi laboratorium yang tidak menggunakan pendingin ruangan dan hanya mengandalkan penghawaan alami mengakibatkan tidak terpenuhinya kenyamanan termal bagi pengguna untuk mendukung aktivitas pengguna dengan nyaman. Selain itu, tingginya temperatur yang dihasilkan oleh panas melalui atap metal dari paparan sinar matahari, mesin peralatan yang mengeluarkan suhu panas, serta sedikitnya aliran udara masuk dan keluar yang menjadikan tujuan pemilihan objek pada penelitian ini. Kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu faktor eksternal, internal, serta desain bukaan udara. Penelitian ini menggunakan *mix methode* yaitu metode penelitian kualitatif dan kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Hasil penelitian berupa analisis yang menunjukkan laboratorium tidak memenuhi standar kenyamanan termal yang ditetapkan oleh ASHRAE dengan kondisi berada diatas zona nyaman dan indeks kenyamanan PMV tidak dapat dikatakan nyaman karena tidak adanya angin yang berhembus ke dalam bangunan.

Kata Kunci : Laboratorium, Kenyamanan Termal, PMV, PPD

ANALYSIS OF THERMAL COMFORT LEVEL AND USER SATISFACTION
(Case Study: Malikussaleh University Mechanical Engineering Laboratory
Building)

Nama : Fahdea Helfialna
Nim : 190160021
Pembimbing : 1. Adi Safyan, S.T., M.Sc.
: 2. Sisca Olivia, S.T., M.S.

ABSTRACT

The laboratory is a place used for practicum, research, and can support the teaching and learning process. The mechanical engineering laboratory space is the most important space and is often used to support study activities in the mechanical engineering department of the university. However, laboratory conditions that do not use air conditioning and only rely on natural ventilation result in the lack of thermal comfort for users to comfortably support user activities. Apart from that, the high temperatures produced by heat through metal roofs from exposure to sunlight, equipment machines that emit hot temperatures, as well as the small amount of incoming and outgoing air flow are the objectives of selecting objects in this research. Thermal comfort is influenced by several variables, namely external, internal factors and air opening design. This research uses a mix method, namely qualitative and quantitative research methods with a descriptive approach. The results of this research are in the form of an analysis which shows that the thermal conditions of the four laboratory rooms do not meet the thermal comfort standards set by ASHRAE with conditions being above the comfort zone and the PMV comfort index cannot be said to be comfortable because there is no wind blowing into the building.

Keyword : Laboratory, Thermal Comfort, PMV, PPD

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	4
1.6. Kerangka Pikir.....	5
1.7. Skematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Terminologi.....	7
2.2. Iklim dan Cuaca.....	8
2.2.1. Pengertian.....	8
2.2.2. Kondisi Iklim Indonesia.....	9
2.2.3. Kondisi Iklim Lhokseumawe	10
2.2.4. Pengaruh Iklim Terhadap Arsitektur.....	13
2.3. Teori Kenyamanan Termal	15
2.4. Indikator Kenyamanan Termal.....	16
2.4.1. Faktor Eksternal.....	16
2.4.2. Faktor Internal.....	18
2.5. Indeks Kenyamanan Termal.....	22
2.5.1. PMV-PPD Model.....	22
2.6. Batas Standar Kenyamanan Termal.....	25

2.7. Pengendali Termal.....	25
2.7.1. Pengendali Termal Secara Aktif.....	26
2.7.2. Pengendalian Termal Secara Pasif.....	26
2.8. Hubungan Iklim Terhadap Kenyamanan	26
2.8.1. <i>Bioclimatic Chart</i>	27
2.9. Rekayasa Kenyamanan Termal.....	29
2.9.1. Material.....	29
2.9.2. Ventilasi	31
2.9.3. Vegetasi.....	33
2.9.4. Orientasi Bangunan	34
2.10. Hubungan Gedung Laboratorium dengan Kenyamanan Termal.....	35
2.11. Penelitian Terdahulu.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1. Lokasi Penelitian	38
3.2. Metode Penelitian.....	39
3.3. Sumber Data	40
3.3.1. Waktu Penelitian.....	41
3.3.2. Tahapan Penelitian.....	41
3.4. Metode Pengumpulan Data	44
3.4.1. Observasi	45
3.4.2. Pengukuran.....	46
3.4.3. Dokumentasi	46
3.4.4. Wawancara	46
3.5. Sampel Penelitian.....	46
3.6. Variabel Penelitian	47
3.7. Teknik Analisis Data	47
3.7.1. Kenyamanan Termal.....	47
3.7.2. Survei Kenyamanan Termal	49
3.7.3. Perbaikan kenyamanan Termal	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1. Deskripsi Data	51

4.1.1. Site Plan Laboratorium Teknik Mesin Unimal.....	51
4.1.2. Denah Gedung Teknik Mesin Unimal.....	52
4.1.3. Titik Pengukuran.....	54
4.2. Hasil Observasi.....	56
4.2.1. Ventilasi	57
4.2.2. Vegetasi.....	58
4.2.3. Orientasi Bangunan	58
4.3. Keadaan Kenyamanan Termal Kota Lhokseumawe.....	59
4.4. Hasil Pengukuran	60
4.5. Analisis Pengukuran Kenyamanan Termal.....	63
4.5.1. Temperatur Udara	63
4.5.2. Kelembapan Udara	64
4.5.3. Kecepatan Angin.....	65
4.5.4. Nilai Insulasi Pakaian.....	68
4.5.5. Nilai MET.....	68
4.6. Analisis Nilai PMV	68
4.6.1. Pengukuran Pagi Hari	69
4.6.2. Pengukuran Siang Hari	71
4.6.3. Pengukuran Sore Hari	73
4.7. Analisis Survei Kenyamanan Termal dan PPD.....	75
4.8. Kesimpulan Analisis Kenyamanan Termal Laboratorium	77
4.9. Usulan Perbaikan Kenyamanan Termal.....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1. Kesimpulan	81
5.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
BIODATA MAHASISWA.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Alur Kerangka Pikir	5
Gambar 2. 1 Proses pemanasan matahari terhadap permukaan bumi	14
Gambar 2. 2 Pemanasan Matahari melalui Atmosfer	14
Gambar 2. 3 Zona Nyaman Termal	18
Gambar 2. 4 PMV dan PPD	24
Gambar 2. 5 <i>Schematic Bioclimotic Index</i>	28
Gambar 2. 6 Proses Masuknya Panas ke dalam Bangunan	30
Gambar 2. 7 Pantulan Sinar Matahari Terhadap Material Yang digunakan	30
Gambar 2. 8 Ventilasi Silang (Gambar bawah Lebih Efektif)	31
Gambar 2. 9 Posisi <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> Berpengaruh Terhadap Arah Angin di Dalam Ruang/Bangunan	32
Gambar 2.10 Perbedaan Dimensi <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> Mempengaruhi Kecepatan Angin Pada Bangunan	32
Gambar 2.11 Desain Bukaannya	33
Gambar 2.12 Perbedaan Bukaannya Udara Menggunakan Kanopi Tidak Menggunakan Kanopi	33
Gambar 2.13 Peneduh Vegetasi yang Tepat Pada Posisi yang Tepat	34
Gambar 2.14 Jarak Pohon Terhadap Bangunan dan Pengaruhnya Terhadap Ventilasi Alami	34
Gambar 2.15 Perbandingan Bangunan Terkait Orientasi Terhadap Matahari	35
Gambar 3. 1 Peta Kota Lhokseumawe, Aceh	38
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Gedung Teknik Mesin Unimal	39
Gambar 3. 3 Kamera <i>Handphone</i>	42
Gambar 3. 4 <i>Environmen mater Multifunction Krisbow KW06-291 4 in 1</i>	43
Gambar 3. 5 <i>Anemometer Benetech GM816</i>	43
Gambar 3. 6 <i>CBE Thermal Comfort Tools</i>	48
Gambar 3. 7 <i>Schematic bioclimotic index</i>	50
Gambar 4. 1 Site Plan Gedung Teknik Mesin Unimal	51
Gambar 4. 2 Denah Lantai 1 Teknik Mesin Universitas Malikussaleh.....	52

Gambar 4. 3 Denah Lantai 2 Teknik Mesin Universitas Malikussaleh.....	53
Gambar 4. 4 Isometri Perlantai Gedung Teknik Mesin Universitas Malikussaleh	56
Gambar 4. 5 Detail Ventilasi	57
Gambar 4. 6 Detail Jendela	58
Gambar 4. 7 Kondisi Lingkungan Gedung Teknik Mesin Unimal	59
Gambar 4. 8 Rata-rata Data Iklim BPS.....	60
Gambar 4. 9 Grafik Rata-Rata Pengukuran Temperatur Udara	63
Gambar 4. 10 Grafik Rata-Rata Pengukuran Kelembapan Udara	64
Gambar 4. 11 Grafik Rata-Rata Pengukuran Kecepatan Angin.....	66
Gambar 4. 12 Simulasi <i>CBE Thermal Comfort Tool</i> Pagi (08.00-10.00 WIB).....	70
Gambar 4. 13 <i>Simulasi CBE Thermal Comfort Tool</i> siang (12.00-14.00 WIB) ...	72
Gambar 4. 14 <i>Simulasi CBE Thermal Comfort Tool</i> Sore (15.00-17.00 WIB)	74
Gambar 4. 15 Grafik Presentasi Tingkat Kenyamanan Laboratorium Berdasarkan Wawancara	75
Gambar 4. 16 Grafik Zona Nyaman Titik Pengukuran 3 Waktu.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rata-rata Temperatur Maksimum dan Minimum Menurut Bulan di Kota Lhokseumawe	11
Tabel 2.2 Rata-rata Curah Hujan, Hari Hujan, Penyinaran Matahari Menurut Bulan di Kota Lhokseumawe	11
Tabel 2.3 Rata-rata Tekanan Udara dan Kelembapan Nisbi Menurut Bulan di Kota Lhokseumawe	12
Tabel 2.4 Arah Angin, Kecepatan Rata-rata dan Kecepatan Maksimum Menurut Bulan di Kota Lhokseumawe	13
Tabel 2. 5 Indikator Kenyamanan Termal	16
Tabel 2. 6 Standart Nilai Insulasi Pakaian	19
Tabel 2. 7 Nilai Tingkat Metabolisme Berdasarkan Aktivitas	21
Tabel 2. 8 Hubungan antara PMV, PDD, dan Sensasi Termal	23
Tabel 2. 9 Kategori Kenyamanan Termal PMV	24
Tabel 2. 10 Batas Kenyamanan Termal	25
Tabel 2. 11 Penelitian Terdahulu	36
Tabel 3. 1 Metode Pengumpulan Data	45
Tabel 3. 2 Variabel Penelitian	47
Tabel 4. 1 Titik Pengukuran Laboratorium Teknik Mesin	54
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Data Pengukuran Kelembapan, Suhu Udara dan Kecepatan Angin	61
Tabel 4. 3 Rata-rata Hasil Pengukuran Kelembapan, Suhu Udara dan Kecepatan Angin	62
Tabel 4. 4 Nilai Insulasi Pakaian	68
Tabel 4. 5 Nilai Metabolisme	68
Tabel 4. 6 Rata-Rata Parameter Kenyamanan Termal Pada Pagi Hari	69
Tabel 4. 7 PMV dan PPD pada Pagi (08.00-10.00 WIB)	70
Tabel 4. 8 Rata-Rata Parameter Kenyamanan Termal Pada Siang Hari	71
Tabel 4. 9 PMV dan PPD pada Siang (12.00-14.00 WIB)	72

Tabel 4. 10 Rata-Rata Parameter Kenyamanan Termal Pada Sore Hari	73
Tabel 4. 11 PMV dan PPD pada Sore (15.00-17.00 WIB).....	74
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Parameter Nilai PPD	76
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Hasil Sensasi PMV dan PPD.....	77
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Hasil Analisis Kenyamanan Termal Berdasarkan ASHRAE Standar 55-2017	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara umum sebuah bangunan berfungsi sebagaimana sebuah bangunan itu di rancang hingga dapat memberikan rasa aman serta ketenangan bagi pengguna. Idealnya sebuah bangunan mampu memberikan perlindungan dari gangguan alam maupun manusia/makhluk lain dengan menjamin kenyamanan. Saat berada di dalam bangunan, diinginkan agar tidak ada rasa kegelapan karena kekurangan pencahayaan, tidak terganggu oleh kebisingan yang berlebihan, dan tidak mengalami panas yang berlebihan. Paparan panas (*Heat Exposure*) terjadi ketika tubuh menyerap atau memproduksi panas lebih besar dari pada yang di terima melalui proses regulasi termal (*Thermoregulation Process*). Peningkatan pada suhu dalam tubuh yang berlebih dapat mengakibatkan penyakit dan kematian (Parsons, 1993). Panas berlebih di tubuh baik akibat proses metabolisme tubuh maupun paparan panas dari lingkungan kerja dapat menimbulkan masalah kesehatan (*heat strain*) dari yang sangat ringan seperti *heat rash*, *heat syncope*, *heat cramps*, *heat exhaustion* hingga yang serius yaitu *heat stroke*. Setiap bangunan diharapkan dapat memberikan kenyamanan visual, audio dan termal.

Untuk mencapai tingkat kenyamanan termal yang diinginkan, diperlukan pengendalian dan adaptasi oleh pengguna, termasuk mengatur sistem ventilasi, menggerakkan sirkulasi udara secara mekanik, memasang tirai di area bangunan yang terkena langsung sinar matahari, dan bahkan menyarankan desain perangkat perlindungan matahari untuk mengurangi panas dari radiasi (Santoso, 2012). Oleh karena itu, kenyamanan termal memegang peranan penting dalam semua jenis ruangan dan bangunan.

Ada banyak studi tentang berbagai cara menganalisis kenyamanan termal untuk mengetahui apakah lingkungan termal cocok untuk hidup nyaman sebagaimana dalam teori ASHRAE 55-2017. ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers*) 2017 dapat

mengidentifikasi pengukuran fisik dan memverifikasi variabel termal dalam jangkauan kenyamanan seperti parameter termal dalam ruangan.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum 29/PRT/M/2006 (2006), terdapat beberapa standar yang harus dipenuhi dalam suatu bangunan untuk mencapai kenyamanan, seperti kenyamanan ruang gerak, kenyamanan audial, kenyamanan visual dan kenyamanan termal. Ketika berbicara tentang tingkat kenyamanan suatu gedung, faktor eksternal dan internal dianggap sebagai indikator penting dalam kenyamanan termal. Bangunan yang baik merupakan bangunan yang dapat memwadhahi berbagai aktifitas bagi penggunanya serta dapat menciptakan suasana lingkungan yang kondusif dan hubungan yang baik dengan dunia luar. Salah satu contohnya ialah bangunan gedung perkantoran, gedung sekolah, rumah, pabrik, gedung kampus, dan lainnya. Seperti yang diketahui sekolah maupun kampus merupakan tempat untuk menuntut dan mencari ilmu sehingga diharapkan dapat menampung seluruh siswa dan mahasiswa dalam kegiatan akademik.

Untuk menciptakan lingkungan belajar yang mendukung serta hasil yang memuaskan bagi penghuninya merupakan keadaan mutlak dirasakan manusia ketika seseorang tersebut berada disuatu tempat disebuah lingkungan. Manusia secara sadar atau tidak sadar mampu beradaptasi terhadap perubahan termal yang terjadi. Berdasarkan Standar Nasional Pendidikan yang mencakup standar isi, standar proses, standar kompetensi lulusan, standar pendidikan dan tenaga kependidikan, standar sarana dan prasarana, standar pengolahan, standar pembiayaan, serta standar penilaian pendidikan (Pemerintah Indonesia, 2005). Aspek kenyamanan ruang laboratorium merupakan bagian dari standar sarana dan prasarana, perlunya memperhatikan kenyamanan pada setiap ruang laboratorium untuk mendukung kegiatan pembelajaran atau penelitian yang optimal dengan ketentuan yang sesuai dalam Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2005.

Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh terdapat beberapa jurusan yang ada di dalamnya serta masing-masing jurusannya terdapat laboratorium di tiap gedung berdasarkan jurusannya. Fakultas Teknik yang memiliki laboratorium dengan luas yang besar di Universitas Malikussaleh hanya pada jurusan Teknik Sipil dan Teknik Mesin Unimal. Laboratorium Teknik Mesin merupakan ruang yang digunakan

untuk proses praktik, penelitian, uji laboratorium dan sebagainya. Laboratorium ini merupakan ruang yang paling penting dan ruang yang aktif digunakan dalam mendukung kegiatan studi pada Jurusan Teknik Mesin. Berdasarkan aspek non fisik ruang tersebut sebaiknya dapat memenuhi kepuasan pengguna di dalamnya. Akan tetapi tersebut belum mencapai kepuasan pengguna dalam hal kenyamanan termal.

Laboratorium Teknik Mesin yang memiliki ruang cukup besar serta memiliki peralatan yang besar sehingga tidak menggunakan pendingin ruangan dan mengandalkan penghawaan alami. Kondisi ini mengakibatkan banyaknya pengguna yang menggunakan laboratorium tersebut merasakan ketidaknyamanan dalam melakukan aktivitas. Temperatur yang tinggi dihasilkan oleh kondisi ruangan, mesin ataupun peralatan di dalamnya dapat mengeluarkan suhu panas. Pada kondisi ini sumber panas dalam ruangan berasal dari panasnya peralatan mesin yang sering digunakan dan panas radiasi matahari melalui atap metal serta sangat sedikit aliran udara yang masuk sehingga dapat menambah beban panas pada ruang dalam laboratorium. Hal itu dikarenakan tidak adanya saluran pertukaran udara dalam dan udara luar (Sumamur P.K, 1984). Dengan sirkulasi udara yang memadai dan kenyamanan termal yang optimal, mahasiswa memiliki kemungkinan lebih besar untuk menjaga fokus saat beraktivitas, dan hal ini juga mendukung kenyamanan aktivitas mereka.

Berdasarkan permasalahan diatas, Laboratorium Teknik Mesin dapat dijadikan objek penelitian karena laboratorium merupakan ruang yang aktif digunakan bagi para mahasiswa, selain itu semakin banyak pengguna di dalam ruang laboratorium maka akan menimbulkan kenaikan suhu dan dapat mempengaruhi kenyamanan termal pada ruang tersebut. Melihat kondisi ini maka dilakukannya penelitian untuk mengetahui sejauh mana tingkat kenyamanan termal pada setiap ruang Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh.

1.2. Rumusan Masalah

Dari pembahasan latar belakang di atas, inti dari permasalahan di Laboratorium Teknik Mesin terkait kondisi kenyamanan termal yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat kenyamanan termal pada Laboratorium Teknik Mesin menurut teori ASHRAE?
2. Bagaimana tingkat kepuasan pengguna terhadap kondisi kenyamanan termal pada Laboratorium Teknik Mesin?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan di atas, maka tujuan yang dicapai dalam penelitian ini yaitu

1. Mengetahui tingkat kenyamanan termal pada Laboratorium Teknik Mesin
2. Mengetahui tingkat kepuasan pengguna terhadap kondisi kenyamanan termal pada Laboratorium Teknik Mesin

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini agar dapat memberikan informasi serta masukan mengenai standar kenyamanan bagi pengguna terhadap lingkungan termal, sehingga beberapa hal yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan ke efektifitas pada saat proses belajar.

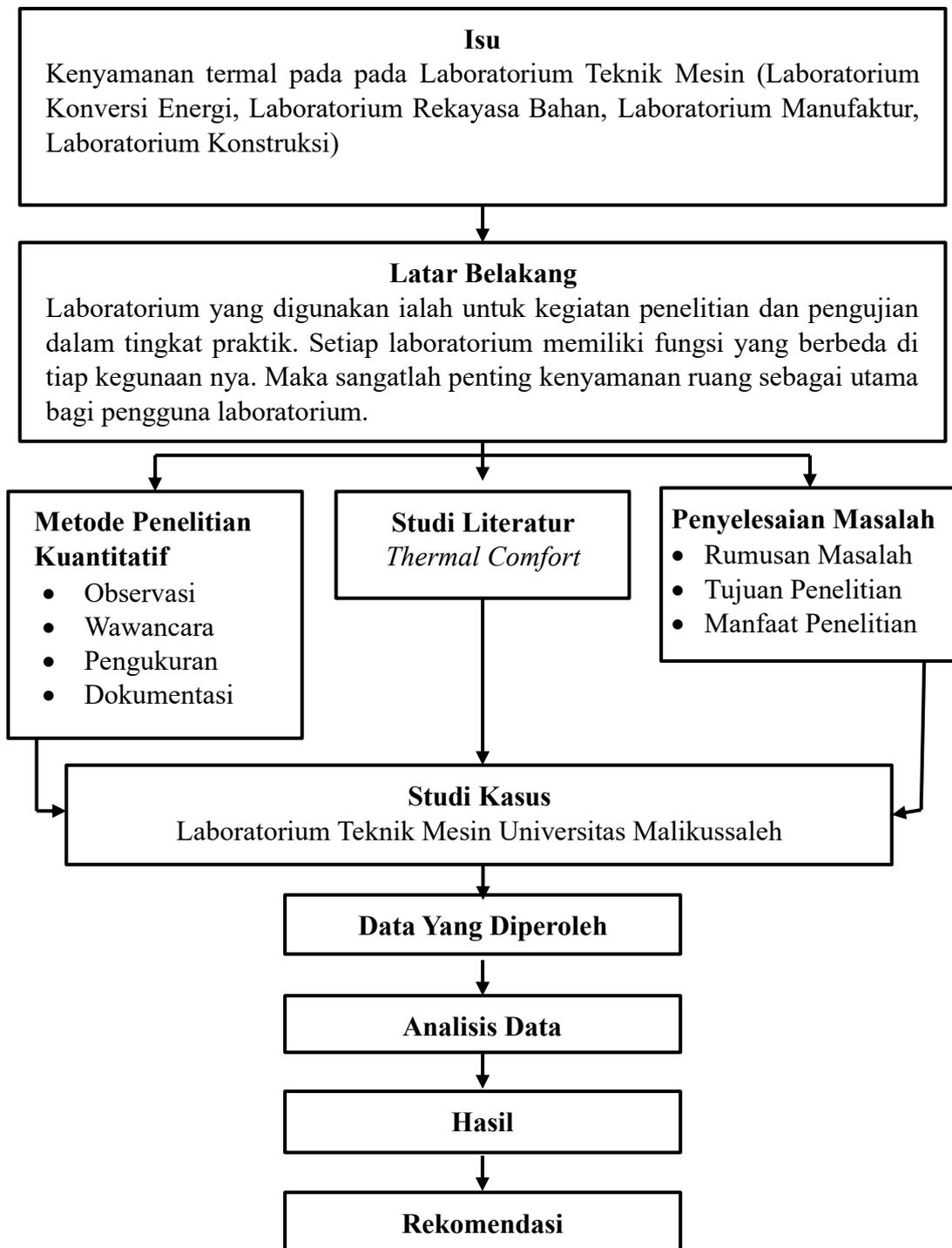
1.5. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini bermaksud agar mengetahui sejauh mana kenyamanan ruangan terhadap suhu, kelembapan dan angin. Memberikan pengarahan agar pemerintah lebih banyak memegang hak terhadap bangunan agar kondisi ruangan dalam bangunan yang dirasakan sekarang tidak semakin buruk kedepannya.

Penulis juga membatasi pembahasan yang dilakukan sesuai parameternya yaitu mencari tahu suhu kelembapan dan kecepatan angin pada Gedung Laboratorium Teknik Mesin (Laboratorium Konversi Energi, Laboratorium Rekayasa Bahan, Laboratorium Manufaktur, Laboratorium Konstruksi) agar mengetahui seberapa nyaman dan sesuai dengan standar (ASHRAE, 2017).

1.6. Kerangka Pikir

Kerangka pikir adalah sebuah diagram yang berisi tentang kerangka atau alur berpikir penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan logika penelitian secara sederhana dan sistematis, berikut diagram kerangka pikir



Gambar 1. 1 Alur Kerangka Pikir (Anallisa Penulis, 2023)

1.7. Skematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari beberapa bab yang masing-masing menguraikan tentang:

BAB 1: PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan dan manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang penulis gunakan sebagai landasan atas topik yang dibahas. Pada tinjauan pustaka menjelaskan tentang iklim dan cuaca, teori, indikator termal, indeks kenyamanan termal, batas standar kenyamanan termal, pengendali termal, hubungan iklim terhadap kenyamanan termal, rekayasa kenyamanan termal, dan hubungan laboratorium dengan kenyamanan termal.

BAB 3: METODE PENELITIAN

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang metode penelitian yang digunakan selama penelitian, metode pengumpulan data, tahapan penelitian, variabel penelitian, dan teknik analisis data.

BAB 4: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang pembahasan dari hasil penelitian yang meliputi deskripsi data, hasil observasi, keadaan termal Kota Lhokseumawe, hasil pengukuran parameter, analisis pengukuran, analisis nilai PMV, analisis survei dan PPD, kesimpulan analisis, dan usulan perbaikan kenyamanan termal.

BAB 5: PENUTUP

Pada bab ini penulis membahas kesimpulan penelitian dan saran yang diberikan agar dapat di pahami lebih lanjut

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Terminologi

Kenyamanan termal adalah konsep penting dalam ilmu lingkungan dan desain bangunan. Analisis tingkat kenyamanan termal secara terminologi dapat diartikan yaitu:

1. Analisis

Pada KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia) analisis dapat diartikan sebagai bagian dan penelaah serta hubungan antara bagian untuk mendapatkan arti yang tepat secara menyeluruh. Menurut Keraf (2004) analisis adalah suatu proses yang memungkinkan kita untuk membagi suatu masalah menjadi komponen-komponen yang saling terhubung. Demikian juga Majid (2013) mengatakan bahwa analisis ialah kemampuan dalam menguraikan sesuatu menjadi unit-unit yang terpisahkan dan sub-sub bagian tetapi dapat di bedakan mengenai perbedaan yang signifikan. Beberapa pandangan di atas menyiratkan bahwa analisis adalah pengungkapan informasi baru mengenai suatu objek yang sedang diteliti melalui pengumpulan bukti akurat terkait dengan objek tersebut.

2. Kenyamanan

Pada KBBI, nyaman berarti segar dan sehat. Sementara itu, kenyamanan merujuk pada keadaan yang memberikan perasaan nyaman, sejuk, dan segar. Definisi kenyamanan dapat bervariasi dalam penilaian subjektif, dengan respon yang berbeda-beda dari individu ke individu lainnya (Oborne, 1995 dalam Putranto, 2018)

3. Termal

Termal merupakan bentukan dari pemanasan permukaan bumi yang disebabkan oleh sinar matahari. Sinar matahari menghangatkan daratan, yang kemudian menghangatkan udara di sekitarnya, sehingga udara hangat dapat menyebar menjadi kurang padatnya massa udara sekitar. Ketika massa udara

naik maka udara dapat mendingin karena perluasannya pada tekanan rendah ke tinggi.

4. Pengertian Laboratorium

Laboratorium merupakan tempat untuk melakukan kegiatan seperti praktikum, penelitian dan dapat menunjang proses belajar mengajar. Pada KBBI, laboratorium adalah ruang yang dilengkapi dengan peralatan khusus untuk melakukan eksperimen, penyelidikan, dan kegiatan sejenisnya. Demikian Yaman & Pd (2016) laboratorium dianggap sebagai tempat penelitian ilmiah yang digunakan untuk melakukan eksperimen dan melatih pengukuran ilmiah berdasarkan (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 1980) yang juga menyimpulkan bahwa laboratorium berfungsi sebagai fasilitas yang memenuhi kebutuhan untuk menjalankan kegiatan pendidikan dan pengajaran dalam suatu disiplin ilmu, teknologi, atau seni tertentu sesuai dengan bidang studi yang relevan.

2.2. Iklim dan Cuaca

Iklim berasal dari bahasa Yunani yang berarti *klima* merupakan keadaan atmosfer dari berbagai peluang, antara lain suhu, kelembapan, dan kecepatan angin yang terjadi pada suatu wilayah selama jangka waktu yang panjang. Menurut *World Meteorological Organization* (1979) keadaan atmosfer pada suatu momen termasuk perubahan, perkembangan, dan menghilangnya suatu fenomena. Pengertian ini juga disampaikan oleh Gibbs (1987) yang menurutnya ialah keadaan atmosfer dapat dinyatakan dalam nilai parameter seperti suhu, kelembapan dan kecepatan angin pada suatu wilayah dalam jangka waktu yang singkat selama menit, jam, hari, bulan ataupun tahun.

2.2.1. Pengertian

Iklim dan cuaca adalah dua konsep yang berhubungan dengan kondisi atmosfer bumi, akan tetapi keduanya memiliki perbedaan dalam skala waktu dan ruang. Berikut adalah pengertian dari iklim dan cuaca:

1. Iklim bertumpu pada kondisi atmosfer yang berlangsung dalam jangka waktu panjang di suatu wilayah dengan mencakup data statistik tentang suhu, curah hujan, kelembapan, tekanan atmosfer, serta angin yang berlangsung dalam periode yang lama memberikan informasi tentang karakteristik cuaca di suatu wilayah pada tiap musimnya.
2. Cuaca bertumpu pada kondisi atmosfer yang berlangsung pada jangka waktu yang singkat dengan mencakup perubahan harian atau mingguan dalam suhu, curah hujan, kelembapan, angin, awan, dan kondisi atmosfer yang berubah-ubah dengan cepat bahkan dalam hitungan jam sehingga informasi cuaca tersebut dapat membantu orang untuk mempersiapkan aktivitas sehari-harinya dan dapat melindungi diri dari cuaca yang eksterim.

2.2.2. Kondisi Iklim Indonesia

Indonesia memiliki iklim tropis yang dipengaruhi oleh letak geografisnya yang dekat dengan khatulistiwa dan berada di antara Samudra Hindia dan Samudera Pasifik. Karena letak posisinya yang strategis, sehingga Indonesia mengalami iklim yang relatif konsisten sepanjang tahun nya dengan perbedaan yang sedikit antara musim hujan dan musim kemarau. Indonesia umumnya mengalami dua musim utama, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Curah hujan tergantung pada lokasi geografisnya sehingga daerah-daerah di dekat khatulistiwa cenderung lebih lembap dan memiliki curah hujan yang tinggi sepanjang tahun. Karena lokasinya yang berada di dekat khatulistiwa, Indonesia memiliki tingkat kelembapan yang tinggi sepanjang tahun. Indonesia yang memiliki iklim tropis lembap mencakup suhu udara yang relatif panas dengan intensitas radiasi yang tinggi serta tingkat kelembapan yang cukup tinggi. Menurut Virdianti et al (2014) suhu udara maksimum rata-rata berkisar antara 27°C hingga 32°C, sementara suhu udara minimum rata-rata berkisar antara 20°C hingga 23°C. Kelembapan udara rata-rata berkisar antara 75% hingga 80% *Relative Humidity (RH%)*. Kecepatan angin rata-rata sekitar 2-4 m/s.

2.2.3. Kondisi Iklim Lhokseumawe

Lhokseumawe adalah kota yang terletak di Provinsi Aceh, Indonesia. Sebagai bagian dari wilayah Indonesia, Lhokseumawe juga memiliki iklim tropis yang umumnya dipengaruhi oleh musim hujan dan musim kemarau. Kota Lhokseumawe merupakan kota dengan dataran rendah dan memiliki ketinggian rata-rata ± 24 meter di atas permukaan laut yang terletak pada posisi $04^{\circ}54'$ Lintang Utara dan $05^{\circ}18'$ Lintang Selatan, serta $96^{\circ}20'$ dan $97^{\circ}21'$ Bujur Timur. Luas wilayah Kota Lhokseumawe, adalah berupa daratan seluas $181,06 \text{ km}^2$. Rata-rata suhu udara minimum tahun 2020 22°C dan rata-rata suhu udara maksimum 34°C . Rata-rata kelembapan udara tahun 2020 berkisaran antara 81%. Rata-rata tekanan udara tahun 2020 berkisaran antara 1.009 mb sampai dengan 1011 mb. Rata-rata curah hujan tahun 2020 sekitar 117 mm.

Pada tahun 2022, Kota Lhokseumawe mengalami perubahan suhu yang signifikan. Meskipun suhu udara minimum mencapai rata-rata $25,3^{\circ}\text{C}$, dan maksimum mencapai rata-rata $27,2^{\circ}\text{C}$. hal ini dapat menunjukkan adanya perbedaan yang cukup terlihat jelas antara suhu terendah dan tertinggi yang dialami oleh Kota Lhokseumawe selama tahun 2022. Selain itu kelembapan udara rata-ratanya berkisar antara 83% hingga 90%. Dengan adanya perbedaan suhu yang bervariasi dapat memberikan gambaran tentang kondisi iklim pada Kota Lhokseumawe di tahun 2022.

Tabel 2. 1 Rata-rata Temperatur Maksimum dan Minimum Menurut Bulan Pada Tahun 2022 di Kota Lhokseumawe (BPS, 2022)

Bulan / Month	Temperatur / Temperature (c°)		
	Min / Min	Maks / Max	Rata-rata / Average
Januari/January	22,8	30,8	26,2
Februari/February	22,8	30,4	25,9
Maret/March	23,2	31	25,9
April/April	23,3	31,3	26,6
Mei/May	23,7	32,1	27,1
Juni/June	23,2	31,4	26,5
Juli/July	23,8	32	27,2
Agustus/August	23,2	31,9	26,8
September/September	23,1	31,5	26,7
Oktober/October	23,3	30,4	26,1
November/November	23,2	29,7	25,8
Desember/December	22,6	29,2	25,3
Rata-rata per tahun	23,2	31	-

Tabel 2. 2 Rata-rata Curah Hujan, Hari Hujan, Penyinaran Matahari Menurut Bulan Pada Tahun 2022 di Kota Lhokseumawe (BPS, 2022)

Bulan / Month	Curah Hujan / Rainfall (mm)	Hari Hujan / Rainy Days (hari / days)	Penyinaran Matahari / Sunshine (%)
Januari/January	20,5	3	78,1
Februari/February	48,5	3	71,5
Maret/March	34,5	3	75,9
April/April	44,5	6	64,3
Mei/May	287,5	17	56,4
Juni/June	150,5	9	70,2
Juli/July	160,0	7	63,4

Tabel 2.2 Lanjutan

Agustus/ <i>August</i>	6,5	2	66,7
September/ <i>September</i>	83,5	5	40,2
Oktober/ <i>October</i>	41,5	6	42,9
November/ <i>November</i>	150,5	11	47,5
Desember/ <i>December</i>	455,0	17	38,1
Rata-rata per tahun	123,5	7	59,6

Tabel 2. 3 Rata-rata Tekanan Udara dan Kelembapan Nisbi Menurut Bulan Pada Tahun 2022 di Kota Lhokseumawe (BPS, 2022)

Bulan / <i>Month</i>	Kelembapan Nisbi / <i>Relative Humidity</i> (%)			
	Min / <i>Min</i>	Maks / <i>Max</i>	Rata-rata / <i>Average</i>	Tekanan Udara / <i>Air pressure</i> (mb)
Januari/ <i>January</i>	61	98	85	1010.7
Februari/ <i>February</i>	60	100	84	1011.5
Maret/ <i>March</i>	65	99	87	1009.9
April/ <i>April</i>	64	98	85	1010.0
Mei/ <i>May</i>	50	98	84	1008.9
Juni/ <i>June</i>	51	98	83	1008.9
Juli/ <i>July</i>	51	98	83	1008.5
Agustus/ <i>August</i>	50	99	83	1008.5
September/ <i>September</i>	53	100	84	1009.2
Oktober/ <i>October</i>	65	100	89	1008.6
November/ <i>November</i>	67	100	90	1009.6
Desember/ <i>December</i>	64	100	90	1010.0
Rata-rata per tahun	58,5	99	-	1009.5

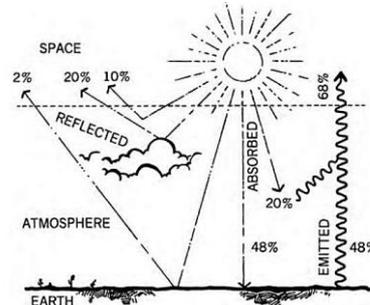
Tabel 2. 4 Arah Angin, Kecepatan Rata-rata dan Kecepatan Maksimum Menurut Bulan Pada Tahun 2022 di Kota Lhokseumawe (BPS, 2022)

Bulan / <i>Month</i>	Angin Permukaan / <i>Surface Wind</i>			
	Arah Angin Terbanyak / <i>Wind Direction</i>	Kecepatan Rata-rata / <i>Average Speed (Knots)</i>	Maksimum / <i>Maximum</i>	
			Kecepatan / <i>Speed (Knots)</i>	Arah / <i>Direction</i>
Januari/ <i>January</i>	T	5	14	100
Februari/ <i>February</i>	TG	4	12	110
Maret/ <i>March</i>	BD	4,2	10	080
April/ <i>April</i>	BD	4,2	11	120
Mei/ <i>May</i>	TG	3,8	17	060
Juni/ <i>June</i>	TG	4	20	130
Juli/ <i>July</i>	U	3,7	11	040
Agustus/ <i>August</i>	TG	4	15	290
September/ <i>September</i>	S	3,9	11	110
Oktober/ <i>October</i>	BD	3,7	14	020
November/ <i>November</i>	S	4	12	060
Desember/ <i>December</i>	S	5	14	090
Rata-rata per tahun	-	4,2	13,2	-

2.2.4. Pengaruh Iklim Terhadap Arsitektur

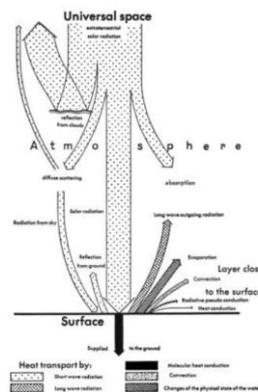
Iklim atau cuaca rata-rata pada dasarnya ditentukan oleh peran utama matahari. Istilah "*iklim*" berasal dari bahasa Yunani, yaitu "*klima*", yang mengacu pada kemiringan bumi terhadap sinar matahari. Bangsa Yunani menyadari bahwa kondisi iklim secara signifikan dipengaruhi oleh sudut datangnya sinar matahari ke bumi, yang disebut sebagai lintang. Maka dari itu, mereka membagi dunia ke dalam tiga zona yaitu tropis, sedang, dan kutub berdasarkan lokasi lintangnya. Suasananya sangat panas mesin berbahan bakar matahari. Sejak itu atmosfer sebagian besar

transparan untuk energi matahari, pemanasan utama udara berlangsung di permukaan bumi (Lechner, 2015).



Gambar 2. 1 Proses pemanasan matahari terhadap permukaan bumi (Lechner, 2015).

Arsitektur cukup terpengaruh oleh cuaca, tingkat cahaya matahari, curah hujan, pergerakan udara, temperatur udara, kelembapan udara, kecepatan angin, dan kemiringan/topografi lahan. Menurut Lechner (2015), agar bangunan terlihat jelas terhadap lingkungannya, arsitekturnya harus disesuaikan dengan iklim mikro.



Gambar 2. 2 Pemanasan Matahari melalui Atmosfer (Victor Olgyay et al., 1963)

Menurut Imran (2013), pengaruh iklim terhadap bentuk dan rancangan lingkungan binaan adalah salah satu dari banyak efek iklim terhadap arsitektur suatu bangunan. Bentuk struktur di setiap daerah sangat dipengaruhi oleh sejumlah variabel, berikut diantaranya:

1. Aktivitas dan kegiatan manusia.
2. Lokasi dan wilayah.
3. Orientasi bangunan terhadap cuaca/iklim.

4. Posisi pergerakan matahari.
5. Posisi pergerakan angin/udara.
6. Posisi bangunan terhadap alam.
7. Posisi lahan/ketinggian lahan.
8. Kemajuan teknologi.
9. Kenyamanan termal.
10. Perubahan era kehidupan manusia.

Karena faktor iklim yang memengaruhi, arsitektur suatu wilayah tidak bisa dianggap sama dengan wilayah lainnya meskipun terletak dalam kawasan pembagian iklim yang sama. Tetapi jika dilihat dari sudut pandang klimatik, bentuk arsitektur wilayah tersebut akan sama. Pemilihan bahan dan material yang digunakan untuk bangunan terhadap pemanfaatan perubahan iklim adalah bagian penting dari konsep arsitektur berkelanjutan (*sustainable architecture*).

2.3. Teori Kenyamanan Termal

Dalam pandangan ASHRAE kenyamanan termal diartikan sebagai situasi yang mencerminkan sejauh mana seseorang merasa puas dengan kondisi termal lingkungannya. Demikian menurut Satwiko (2009) kenyamanan termal ialah pandangan atau penilaian terhadap kepuasan individu terkait dengan kondisi termal di sekitarnya.

Kenyamanan termal ialah keadaan yang berhubungan dengan alam serta berdampak pada manusia yang dapat dikendalikan oleh desain arsitektur (Snyder, 1989). Idealnya sebuah bangunan mempunyai nilai estetis dengan tujuan bangunan tersebut dirancang agar dapat memberikan rasa aman dan nyaman dari segala gangguan alam ataupun manusia. Sementara itu menurut Victor Olgyay et al (1963) zona kenyamanan merupakan zona yang dapat mereduksi tenaga manusia dan dikeluarkan dari tubuh untuk mengadaptasikan diri terhadap lingkungan alam sekitar. Kenyamanan juga berkaitan dengan bangunan yang dapat diidentifikasi sebagai suatu sensasi yang menyenangkan bagi pengguna untuk beraktifitas.

Kondisi ruangan yang nyaman dan baik bagi pengguna di dalamnya minimal sekurang-kurangnya 80% penghuni merasa nyaman bila berada di dalam ruangan (ASHRAE, 2017)

2.4. Indikator Kenyamanan Termal

Menurut KBBI, indikator didefinisikan sebagai sesuatu petunjuk atau keterangan yang merujuk pada pengertian sebagai tolak ukur pada kenyamanan termal. Kenyamanan termal memiliki beberapa elemen yang bisa memengaruhi suhu udara, Seperti pakaian, makanan dan minuman, bentuk tubuh, serta usia dan jenis kelamin. Menurut ASHRAE, kenyamanan termal dipengaruhi dari faktor lingkungan dan personal dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Indikator Kenyamanan Termal (ASHRAE, 2017)

Indikator Kenyamanan Termal	
Faktor Lingkungan (Eksternal)	Suhu Udara
	Kelembapan
	Kecepatan Angin
	Temperatur Radiasi
Faktor Personal (Internal)	Insulasi Pakaian
	Tingkat Metabolisme (<i>Metabolic Rate</i>)

Selain faktor-faktor di atas juga terdapat faktor-faktor pribadi dalam bentuk non kuantitatif dengan dampak signifikan kepada referensi individu termasuk aklimitasi usia dan jenis kelamin, bentuk tubuh, lemak, kondisi kesehatan, aktivitas, serta makanan dan minuman (Idham, 2016).

2.4.1. Faktor Eksternal

Faktor eksternal adalah faktor yang berasal dari luar individu dan dapat mempengaruhi individu atau lingkungan sekitarnya Adapun indikator yang termasuk dalam faktor eksternal sebagai berikut:

1. Suhu Udara (*air temperature*)

Suhu udara dalam tubuh biasanya diberikan satuan dalam derajat yaitu Celcius (C°) atau derajat Fahrenheit (F°). pada variabel, suhu udara paling penting dalam menentukan kenyamanan. Suhu panas dalam bangunan dapat ditentukan oleh beberapa variabel untuk menentukan suhu dalam bangunan

Suhu udara dibedakan menjadi dua, yaitu suhu udara normal dan suhu udara rata-rata (MRT = *Mean Radiant Temperature*) yang mempengaruhi suhu tubuh seseorang sebesar 66%. Standar suhu kenyamanan termal pada manusia yaitu 37°C dan apabila naik hingga 5°C ataupun turun sampai 2°C maka pengguna akan merasakan ketidaknyamanan atau bahkan bisa menimbulkan kematian. Sedangkan pada suhu udara lingkungan sekitar akan dikatakan nyaman pada suhu sekitar 25°C, dan apabila suhu sudah di atas 25°C maka tubuh manusia akan berkeringat.

2. Kelembapan (*air humidity*)

Kelembapan udara (*air humidity*) merupakan kemungkinan air yang ada dalam atmosfer. Tubuh manusia akan berkeringat apabila suhu udara meningkat, tetapi keringat dapat menguap dan mendingin jika atmosfer masih memiliki kapasitas untuk menahan uap air. Tingkat kelembapan memiliki dampak besar pada kenyamanan termal dan terdiri dari dua macam kelembapan yaitu:

- Kelembapan *Absolut humidity (AH)* merupakan kandungan uap air dalam atmosfer yang dinyatakan dalam gram per kilo udara kering.
- Kelembapan *Relatif humidity (RH)*, yaitu menunjukkan perbandingan hubungan antara kandungan uap air dalam udara dan kapasitas maksimum uap air yang dapat diakomodasi oleh udara pada suhu tertentu.

Kelembapan udara dapat mempengaruhi pelepasan kalor pada tubuh manusia apabila kelembapan udara tinggi maka dapat mengakibatkan ketidaknyamanan pada tubuh manusia begitu juga sebaliknya apabila kelembapan udara yang rendah dapat menimbulkan kulit kering pada tubuh manusia (Purnomo dan Rizal, 2000).

Kelembapan udara yaitu tingkat kadar uap air yang ada di udara. Kelembapan udara merupakan bagian dari suatu komponen iklim yang memiliki pengaruh dalam

1. Pakaian (*Clothes*)

Kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh insulasi pakaian yang dikenakan. Pada pakaian tebal dapat menjadi pemicu utama pengumpulan panas di dalam tubuh meskipun lingkungan sekitar tidak terlalu panas. Satuan yang digunakan pada insulasi pakaian ialah “*clo*” (1 *clo* = 0,155 m² K/W). Ada berbagai macam jenis pakaian yang biasa dikenakan oleh manusia sesuai dengan keadaan geografis lingkungan demi mencapai kenyamanan termal untuk diri sendiri. Kenyamanan termal hanya dibatasi oleh kondisi udara yang tidak ekstrim *Moderate Thermal Environment*, dengan keadaan manusia yang dapat beradaptasi pada perubahan suhu disekitarnya (Karyono, 1996). Pada Standar Nasional Indonesia Tahun 2001 menetapkan nilai insulasi pada pakaian seperti tabel 2.6 di bawah ini:

Tabel 2. 6 Standar Nilai Insulasi Pakaian (SNI, 2001)

Deskripsi Pakaian	Clo	Deskripsi Pakaian	Clo
Pakaian Dalam		Pakaian dan Rok	
Bra	0.01	Rok tipis	0.14
Celana dalam Wanita	0.03	Rok tebal	0.23
Celana dalam Pria	0.04	Atasan tipis tanpa lengan	0.23
Kaos	0.08	Atasan tebal tanpa lengan	0.27
Rok dalam Wanita	0.14	Baju kemeja Wanita lengan pendek (tipis)	0.29
Celana dalam Panjang Pria	0.15	Baju kemeja Wanita lengan pendek (tebal)	0.33
Pakaian dalam Tipis Wanita	0.15	Baju kemeja Wanita lengan Panjang (tebal)	0.47
Kaos dalam panjang	0.20		
Alas Kaki		Sweater	
Kaos kaki Panjang	0.02	Rompi tanpa lengan (tipis)	0.13
Stocking	0.02	Rompi tanpa lengan (tebal)	0.22
Sandal jepit	0.02	Rompi lengan Panjang (tipis)	0.25

Tabel 2.6 Lanjutan

Sepatu	0.02	Rompi lengan Panjang (tebal)	0.26
Sandal rumah	0.03	Jas	
Kaos kaki	0.03	Rompi tanpa lengan (tipis)	0.10
Kaos kaki tebal selutut	0.06	Rompi tanpa lengan (tebal)	0.17
Sepatu bot	0.10	Jas satu lapis (tipis)	0.36
Pakaian Luar		Jas satu lapis (tebal)	0.44
Kaos tak berlengan		Jas dua lapis (tipis)	0.42
Kaos berkerah lengan pendek	0.17	Jas dua lapis (tebal)	0.48
Baju kemeja lengan pendek	0.19	Pakaian Tidur	
Baju kemeja lengan panjang	0.25	Gaun pendek tanpa lengan (tipis)	0.18
Kemeja kain (flannel) lengan Panjang	0.34	Gaun pendek tanpa lengan (tebal)	0.20
Kaos berkerah lengan panjang	0.34	Gaun rumah sakit lengan pendek	0.31
Celana Panjang dan Baju Panjang		Jubah lengan pendek (tipis)	0.34
Celana lie pendek	0.06	Piyama lengan pendek (tipis)	0.42
Celana ponggol (selutut)	0.08	Gaun Panjang lengan Panjang (tebal)	0.46
Celana Panjang tipis	0.15	Jubah Panjang lengan pendek (tebal)	0.48
Celana Panjang tebal	0.24	Piyama lengann Panjang (tebal)	0.57
Celana olahraga Panjang	0.28	Jubah Panjang lengan panjang	0.69
Celana/baju kodok	0.30		
Baju terusan dengan celana	0.49		

2. Metabolisme Tubuh

Kenyamanan termal terjadi pada tubuh ketika kondisi tubuh seimbang terhadap radiasi panas sekitar $37^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$. produksi panas di dalam tubuh terjadi dari hasil proses metabolisme yang dimana energi kimia dari makanan berubah menjadi energi mekanik pada aktivitas tubuh manusia.

Tabel 2. 7 Nilai Tingkat Metabolisme Berdasarkan Aktivitas (ASHRAE, 2017)

Jenis Kegiatan	<i>Metabolic Rate</i>
Istirahat	
Tidur	0,7
Berbaring	0,8
Duduk, tenang	0,1
Berdiri, santai	1,2
Berjalan Pada Permukaan Datar	
0,9 m/s, 3,2 km/jam, 2,0 mph	2,0
1,2 m/s, 4,3 km/jam, 2,7 mph	2,6
1,8 m/s, 6,8 km/jam, 4,2 mph	3,8
Aktivitas kantor	
Membaca, duduk	1,0
Menulis	1,0
Mengetik	1,1
Pengarsipan, duduk	1,2
Pengarsipan, berdiri	1,4
Berjalan sekitar	1,7
Mengangkat/mengemas	2,1
Menyetir/Menerbangkan	
Mobil	1,0 – 2,0
Pesawat, rutin	1,2
Pesawat, pendaratan instrument	1,8
Pesawat, tempur	2,4
Kendaraan berat	3,2

Tabel 2.7 Lanjutan

Berbagai Kegiatan Pekerjaan	
Memasak	1,6 – 2,0
Membersihkan Rumah	2,0 – 3,4
Duduk, Gerakan berat	2,2

2.5. Indeks Kenyamanan Termal

Nilai indeks kenyamanan termal digunakan sebagai pengukur kualitas termal bangunan. Nilai ini dihitung secara matematis dengan mempertimbangkan suhu udara, kelembapan relatif, dan kecepatan angin.

2.5.1. PMV-PPD Model

PMV (*Predicted Mean Vote*) merupakan indeks kenyamanan termal yang akan digunakan. Professor Fanger dari *University of Denmark* memperkenalkan indeks PMV. Indeks ini memiliki skala -3 hingga +3 untuk menunjukkan seberapa dingin dan panas seseorang. PMV didasarkan pada enam parameter meliputi; suhu udara, kelembapan, kecepatan angin, temperatur radiasi, insulasi pakaian, dan tingkat metabolisme yang menunjukkan persepsi rata-rata orang tentang sensasi dingin dan panas. Perbedaan individu dihubungkan dengan PMV sedangkan PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) yang merupakan perkiraan persentase ketidakpuasan. Indeks PMV adalah ukuran yang menghitung rata-rata preferensi kelompok manusia untuk sensasi termal skala 7 poin yaitu, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 yang secara verbal disebut dingin sekali, dingin, sejuk atau agak dingin, netral, hangat atau agak panas, panas, dan panas sekali yang digunakan sebagai ukuran ketidaknyamanan dalam indeks PPD.

Oleh karena itu, indeks PMV melihat berapa banyak orang yang mungkin tidak setuju dengan nilai yang diberikan dalam PMV. Untuk mendapatkan kenyamanan termal, metode realistik yang dipakai adalah metode *Predicted Mean Vote*, juga dikenal sebagai PMV (Idham, 2016). PMV adalah perkiraan pendapat rata-rata sekelompok besar orang yang mengalami kondisi termal sesuai yang

dirasakannya, dan akan dinilai melalui skala dengan 7 poin indeks sensasi termal, seperti yang tercantum dalam tabel 2.8 berikut:

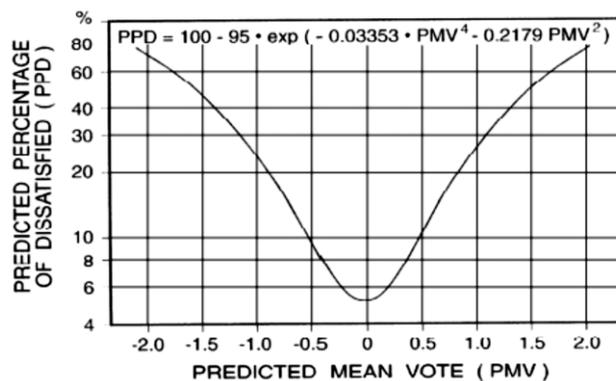
Tabel 2. 8 Hubungan antara PMV, PDD, dan Sensasi Termal (ASHRAE, 2017)

PMV	Sensasi Termal	PPD
+3	Panas	100
+2	Hangat	75
+1	Sedikit Hangat	25
0	Netral	5
-1	Sedikit Sejuk	25
-2	Sejuk	75
-3	dingin	100

PMV didasarkan pada pertukaran panas fisik dan kesesuaian empiris dengan sensasi. Tingkat ketegangan termal konstan antara tubuh dan lingkungan menentukan PMV dan menetapkan vote kenyamanan pada ketegangan tersebut. PPD mengalami peningkatan jika PMV bergeser dari 0 ke arah yang lain, sehingga diharapkan PMV tetap dekat dengan 0. Konsep zona nyaman didefinisikan sebagai $PMV = -0,5$ hingga $+0,5$. Batas $-0,5$ menunjukkan bahwa batas kondisi berada di bawah netral nol, atau derajat kesejukan yang dapat diterima, sedangkan batas $+0,5$ menunjukkan bahwa batas kondisi berada di atas netral nol, atau derajat kehangatan yang dapat diterima (Sugini, 2013).

Dua kategori faktor kenyamanan termal adalah faktor klimatis yaitu suhu udara, radiasi, kecepatan angin, dan kelembapan. Kategori kedua adalah faktor personal yaitu aktivitas memengaruhi metabolisme, sedangkan jenis pakaian memengaruhi resistensi pakaian.

Menurut Lingga (2017), jika PMV lebih tinggi dan PPD lebih rendah, bangunan dinyatakan tidak memenuhi standar kenyamanan termal bagi pengguna. Nilai PMV nyaman berkisar antara -0.5 dan $+0.5$. Semakin tinggi nilai PMV, semakin sulit untuk mencapai kenyamanan termal, dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2. 4 PMV dan PPD (ASHRAE, 2017)

Berdasarkan standar ASHRAE 55 (2017), kenyamanan termal bisa dicapai jika nilai PMV ada di antara -0,5 dan +0,5 dengan PMV berada di atas nilai ini, maka kondisi termal yang ada tidak nyaman. Pada gambar 2.4 menjelaskan jika PMV berada di atas nilai $\pm 0,5$, maka sekitar 90% populasi merasa nyaman, dengan nilai PPD yang diperoleh 10%. Namun, sebagian besar bangunan jarang mencapai kepuasan sebesar 90%, dengan rata-rata sekitar 80%.

Dari beberapa penjelasan diatas maka didapat 3 kategori kenyamanan dalam PMV dan PPD yaitu:

Tabel 2. 9 Kategori Kenyamanan Termal PMV (ASHRAE, 2017)

Nilai	Sensasi	Kondisi
<-0,5	Agak sejuk-dingin	Tidak nyaman (terlalu sejuk)
-0,5 – 0,5	Agak sejuk-agak hangat	Nyaman
>+0,5	Agak hangat-panas	Tidak nyaman (terlalu hangat)

Berdasarkan data diatas terdapat tiga rentang nilai yang berkorelasi dengan sensasi dan kondisi kenyamanan termal. Nilai dibawah -0,5 menghasilkan sensasi agak sejuk-dingin, yang cenderung tidak nyaman karena terlalu dingin. Rentang nilai antara -0,5 hingga +0,5 menciptakan sensasi agak sejuk-agak hangat, yang

dianggap nyaman. Sementara itu, nilai di atas +0,5 menghasilkan sensasi agak hangat-panas, yang juga cenderung tidak nyaman karena terlalu panas.

2.6. Batas Standar Kenyaman Termal

Kenyamanan termal yang dialami oleh manusia akan berbeda serta dipengaruhi oleh variabel iklim di tiap individu. Sebagian riset membuktikan batasan kenyamanan (dalam temperatur efisien / TE) berada diantara individu yang bergantung pada posisi geografis (Lippsmeir, 1994).

Adapun menurut BSN (2011) dalam SNI 03-6572 (2001) tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung, ada 3 batasan kenyamanan termal yang aman dan nyaman bagi warga Indonesia. Batasan standar kenyamanan termal dapat disimpulkan pada tabel berikut.

Tabel 2. 10 Batas Kenyamanan Termal (SNI, 2001)

Kondisi	Temperatur Efektif (TE)	Kelembapan (RH)
Sejuk Nyaman	20,5°C – 22,8°C	50%
Ambang Atas	24°C	80%
Nyaman Optimal	22,8°C – 25,8°C	70%
Ambang Batas	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C – 27,1°C	60%
Ambang Bawah	31°C	

2.7. Pengendali termal

Pengendali termal ialah perubahan pengaturan lingkungan yang di dasari dari kondisi luar ruangan dan kondisi dalam ruangan (Idham, 2016). Pengendali ini bersifat aktif dan pasif.

2.7.1. Pengendali Termal Secara Aktif

Pengendali termal aktif yaitu pengendali termal dengan menggunakan beberapa alat berdasarkan energi atau sistem mekanis. Secara garis besar sistem mekanis terbagi menjadi dua, yaitu:

- Pendingin Ruangan (*cooling*), bangunan yang menggunakan AC (*Air Conditioning*) biasanya diterapkan pada daerah yang sudah tidak memungkinkan untuk memperoleh kenyamanan termal secara pasif. Panas dari dalam ruangan yang dibuang oleh AC supaya ruangan tetap dalam kenyamanan termal disebut beban penyejuk (*cooling load*) dengan satuan Watt atau BTU (*British Thermal Unit*).
- Pemanas Ruangan (*Heating*), diperlukan ketika suhu dilingkungan sekitar berada dibawah zona kenyamanan. Contohnya pada daerah ini seperti wilayah eropa yang memerlukan *heating* untuk menghangatkan suhu ruangan agar berada pada zona kenyamanan termal ruangan.

2.7.2. Pengendalian Termal Secara Pasif

Pengendali termal pasif dapat memanfaatkan potensi alam dengan desain yang tepat berdasarkan kondisi lingkungan sekitar. Adapun cara melakukan pengendalian pasif ialah:

- Pembatasan pergerakan panas (*Thermal Insulation*) merupakan cara mendapatkan suhu ideal di dalam bangunan saat musim dingin.
- Pergerakan Udara (*Air Movement*) yang dilakukan dengan cara membuat ventilasi silang pada dua sisi ruangan yang berbeda.

2.8. Hubungan Iklim Terhadap Kenyamanan

Menurut Mulyani dalam Hadinata (2019), Tubuh manusia menghasilkan panas kalor sebesar 100 Watt melalui proses metabolisme. Dari sisi fisiologis, kondisi iklim berpengaruh besar terhadap kenyamanan termal seseorang. Bangunan menerima dan melepaskan panas karena paparan sinar matahari dan aktivitas di dalamnya, yang berdampak kondisi ruangan. Dalam konteks kenyamanan termal dalam bangunan, situasi ini dapat mempengaruhi bagaimana panas bertukar pada

tubuh individu yang berada di dalamnya. Bangunan berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya dan juga aktivitas yang berlangsung di dalamnya, sementara manusia yang berada di dalam bangunan juga berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya dan dengan tubuhnya sendiri dalam hal pertukaran panas.

Proses pertukaran panas antara tubuh manusia dan lingkungannya dipengaruhi oleh beberapa faktor yang merupakan elemen-elemen iklim, seperti suhu udara, suhu permukaan sekitarnya, kemampuan permukaan tersebut dalam menyalurkan panas, tingkat kelembapan, dan adanya gerakan udara. Pergerakan udara, mempengaruhi konveksi dan penguapan tubuh, menjadi faktor penting dalam menjaga kenyamanan. Kecepatan angin yang meningkat dapat mengubah batas kenyamanan atas, menghasilkan sensasi pendinginan yang lebih baik.

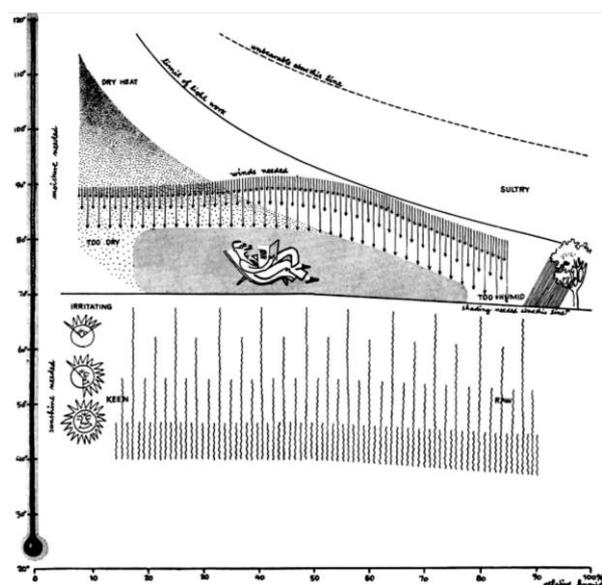
Selain itu, tekanan uap dan pelepasan uap memengaruhi bagaimana kita merasakan suhu dan kelembapan. Angin berperan dalam mengimbangi tekanan uap yang tinggi, memberikan rasa kesejukan pada saat yang tepat. Selain itu, efek radiasi permukaan dapat dimanfaatkan untuk mengkompensasi perbedaan suhu udara yang mungkin terjadi (Olgay, 1963).

2.8.1. *Bioclimatic Chart*

Desain bioklimatik mengacu pada pendekatan desain arsitektur yang memanfaatkan energi matahari dan sumber daya lingkungan terkait lainnya untuk memberikan kenyamanan termal manusia di dalam dan di luar ruangan. Dalam definisi ASHRAE Standard 55 (2017) untuk kenyamanan termal, dikemukakan bahwa kenyamanan termal adalah suatu keadaan yang mencerminkan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan sekitar dan dinilai melalui penilaian subjektif. Analisis kenyamanan termal bergantung pada suhu bola kering, tingkat pakaian (*clo*), tingkat metabolisme (*met*), kecepatan udara, kelembapan, dan rata-rata suhu radiasi. Prinsip minor dari desain bioklimatik adalah sistem tata surya pasif, yang sesuai untuk pemanasan, pendinginan, dan penerangan bangunan. Pemanfaatan optimal strategi desain bioklimatik berdasarkan iklim lokal dapat memainkan peran yang menentukan dalam peningkatan kualitas udara dalam

ruangan. Strategi tersebut terutama dicapai melalui metode tertentu termasuk *Givoni bioclimatic chart* (GBC).

Grafik bioklimatik yang dirancang oleh Victor Olgyay, membantu pemahaman tentang interaksi antara berbagai elemen iklim, seperti suhu, kelembapan, dan kecepatan angin, dengan kenyamanan termal manusia. Grafik ini memberikan visualisasi mengenai zona kenyamanan termal serta cara elemen-elemen iklim dapat mempengaruhi tingkat kenyamanan.



Gambar 2. 5 *Schematic Bioclimatic Index* (Victor Olgyay et al., 1963)

Dalam grafik bioklimatik ini, kondisi iklim seperti suhu dan kelembapan relatif digambarkan dengan jelas. Jika titik di dalam grafik berada dalam zona kenyamanan, lingkungan tersebut nyaman untuk manusia. Namun, jika titiknya di luar zona kenyamanan, perlu tindakan untuk membuatnya nyaman. Jika titiknya di atas batas atas zona kenyamanan, angin diperlukan, dan grafik menunjukkan seberapa kencang angin yang diperlukan dalam satuan fpm.

Pada situasi dengan suhu tinggi dan kelembapan rendah, akan terasa sangat panas dan kering, dan angin hanya membantu sedikit. Oleh karena itu, pendinginan evaporatif lebih efektif untuk mengatasi suhu tinggi. Grafik menunjukkan berapa banyak uap air yang perlu ditambahkan ke udara untuk mendinginkan, terutama di

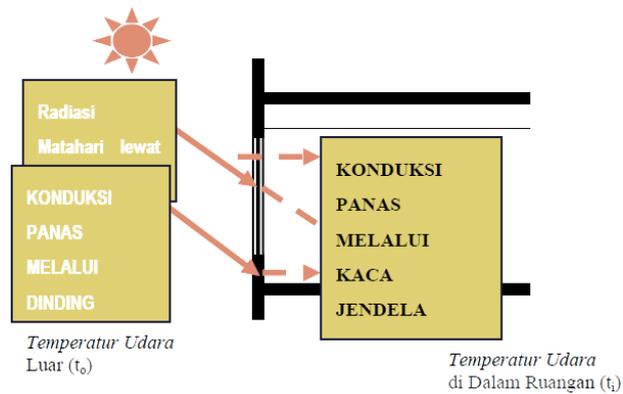
atas batas atas zona kenyamanan. Di bawah zona tersebut, perlindungan dari sinar matahari dibutuhkan, dan radiasi matahari diperlukan untuk menyeimbangkan suhu yang lebih rendah. Grafik juga mencantumkan berapa banyak panas dari matahari yang dibutuhkan untuk menciptakan kenyamanan, meskipun hanya berlaku di luar ruangan. Di sisi lain, nilai suhu rata-rata radiasi yang dibutuhkan untuk mencapai kenyamanan dengan pemanasan atau pendinginan radiasi terlihat di sisi kiri grafik. Keseluruhan grafik ini memberikan pemahaman yang baik tentang bagaimana elemen-elemen iklim ini mempengaruhi kenyamanan termal manusia.

2.9. Rekayasa Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal bisa dipengaruhi oleh beberapa aspek pada pengguna ruangan, tidak hanya itu, kenyamanan termal dapat mempengaruhi keadaan dalam ruangan ataupun di luar ruangan, sebab ketika sensasi termal dalam ruangan bertambah maka aktivitas di dalam ruangan menjadi tidak kondusif sehingga digunakan pendekatan mekanis dengan menggunakan AC (*Air Conditioning*), namun memakai AC di butuhkan biaya operasional yang tidak sedikit. Berikut metode pendekatan yang kedua ialah mengkondisikan ruangan luar dengan ventilasi bangunan secara natural serta pendekatan arsitektural, guna rekayasa ruang luar adalah untuk demi tercapainya kenyamanan termal dengan metode pemilihan serta perencanaan penempatan elemen sekitar bangunan.

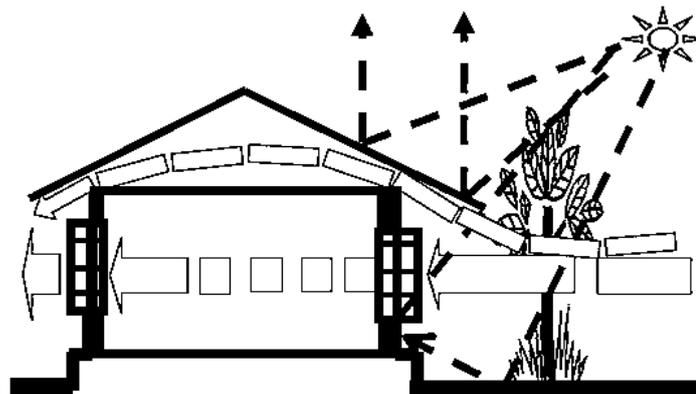
2.9.1. Material

Material bangunan berfungsi sebagai penghubung antara temperatur dalam ruang dan radiasi matahari. Pertimbangan iklim memengaruhi pemilihan material bangunan yang akan digunakan. Karakteristik, ketebalan, dan warna permukaan luar material adalah komponen yang harus diperhatikan. Nilai transmisi panas (juga dikenal sebagai *u-value*) dan ketahanan panas adalah faktor karakteristik material yang paling penting. Fasad bangunan dapat mempengaruhi jumlah radiasi matahari yang ditransmisikan melalui selubungnya. Ini termasuk jenis kaca yang digunakan dan tebal kaca, serta perbandingan luas dinding keseluruhan dan luas kaca.



Gambar 2. 6 Proses Masuknya Panas ke dalam Bangunan (Talarosha, 2005)

Disamping itu, material dinding memiliki waktu tunda untuk pemindahan panas ke dalam bangunan. Efek penundaan, atau *time lag*, terjadi ketika panas mengenai permukaan dinding, dan partikel dilapisan awal akan menyerap panas sebelum panas dipindahkan ke lapisan selanjutnya. Akibatnya, suhu puncak di dalam ruangan baru akan dirasakan setelah beberapa waktu.



Gambar 2. 7 Pantulan Sinar Matahari Terhadap Material Yang Digunakan (Talarosha, 2005)

Kondisi ideal yang harus dibuat untuk menciptakan bangunan nyaman secara termal adalah sebagai berikut:

1. Teritis atap/*Overhang* cukup lebar
2. Selubung bangunan (atap dan dinding) berwarna muda (memantulkan cahaya)
3. Terjadi Ventilasi Silang

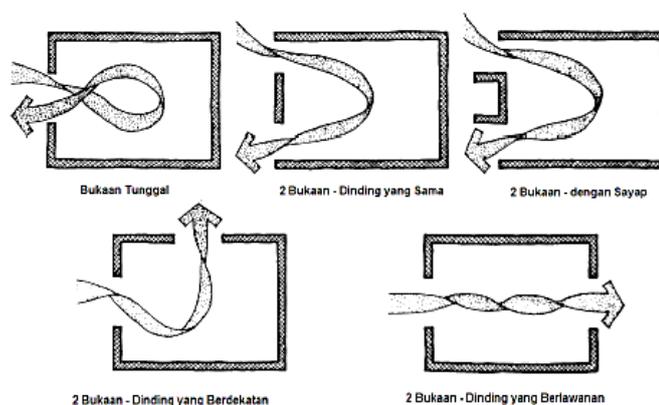
4. Bidang –bidang atap dan dinding mendapat bayangan cukup baik
5. Penyinaran langsung dari matahari dihalangi (menggunakan *solar shading devices*) untuk menghalangi panas dan silau.

2.9.2. Ventilasi

Pada ASHRAE Standard 55 (2017), ventilasi bertujuan agar dapat membuang keringat dan CO² dari pernapasan untuk membuang uap air dan kalor. Ventilasi ada berbagai macam gaya untuk udara dapat keluar masuk bangunan, sehingga laju angin dipengaruhi oleh kecepatan rata-rata angin, hambatan setempat, dan padatnya bangunan di lingkungan sekitar.

1. Orientasi Lubang Ventilasi

Arah ventilasi ada baiknya ke arah angin utama menuju bangunan. Sebaiknya lubang ventilasi ditempatkan atau diarahkan ke arah yang sesuai dengan arah utama angin yang menuju bangunan. Penempatan ini bertujuan untuk memaksimalkan pergerakan udara di dalam bangunan dengan memanfaatkan zona bertekanan negatif.

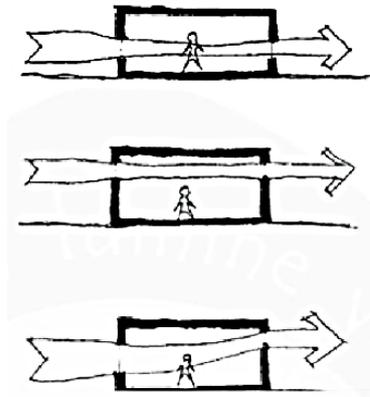


Gambar 2. 8 Ventilasi Silang (Gambar bawah Lebih Efektif) (Dekay, 2001)

2. Posisi Lubang Ventilasi

Lubang ventilasi berperan untuk masuknya suhu (*inlet*) yang berposisi pada ketinggian manusia berkegiatan. Salah satu ketentuan untuk bukaan yang baik

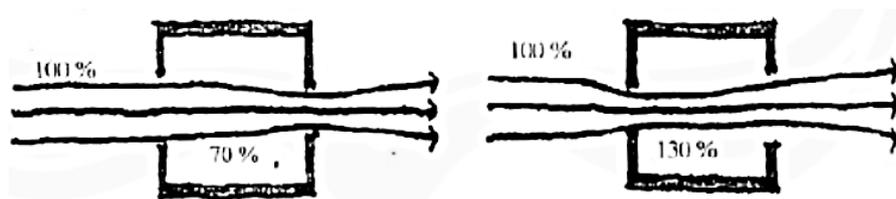
yakni harus terjadinya *cross ventilation* supaya bisa membagikan bukaan kesemua serta membagikan peluang supaya bisa di keluarkan dengan gampang tanpa tercampur dengan suhu yang fresh masuk lewat *inlet*.



Gambar 2. 9 Posisi *Inlet* dan *Outlet* Berpengaruh Terhadap Arah Angin Di Dalam Ruang/Bangunan (Mediastika, 2003)

3. Ukuran Lubang Ventilasi

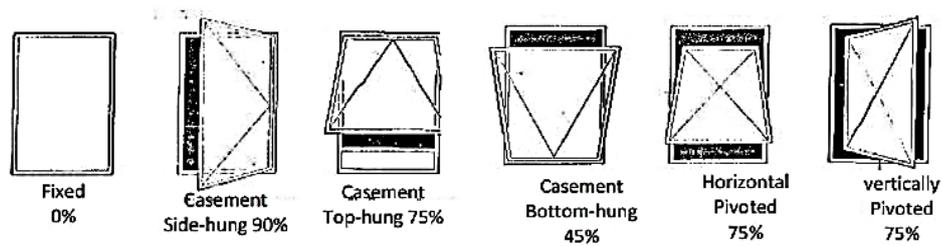
Jika ukuran lubang ventilasi sangat besar hingga terus menjadi banyak hawa yang masuk ke dalam bangunan dengan rasio ukuran antara *inlet* dan *outlet* yang sangat mempengaruhi dalam proses ventilasi.



Gambar 2. 10 Perbedaan Dimensi *Inlet* dan *Outlet* Mempengaruhi Kecepatan Angin Pada Bangunan (Mediastika, 2003)

4. Tipe Bukaan

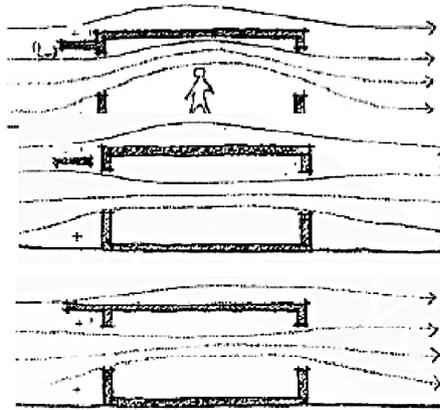
Bukaan memiliki jenis yang berbeda-beda dan pengarah yang berbeda-beda pula untuk menentukan arah angin dengan keefektifitasan yang mengalir melalui udara masuk dan keluar.



Gambar 2. 11 Desain Bukaan (Maming et al., 2020)

5. Pengarah Bukaan

Arah bukaan (kanopi) berpengaruh penting terhadap arah angin dan pengkondisian ruang. Penggunaan kanopi pada bukaan *inlet* memusatkan aliran udara ke atas dibandingkan bukaan *inlet* tanpa kanopi pastinya dengan dorongan fitur ventilasi yang memusatkan serta menaikkan kecepatan laju angin saat sebelum masuk ke sirkulasi ventilasi.

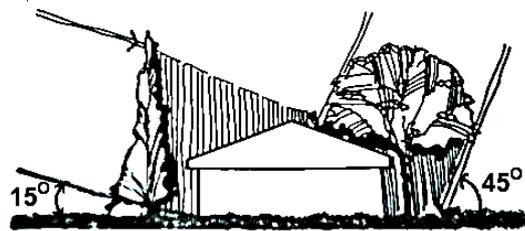


Gambar 2. 12 Perbedaan Antara Bukaan Udara Menggunakan Kanopi Tidak Menggunakan Kanopi (Melaragno, 1982)

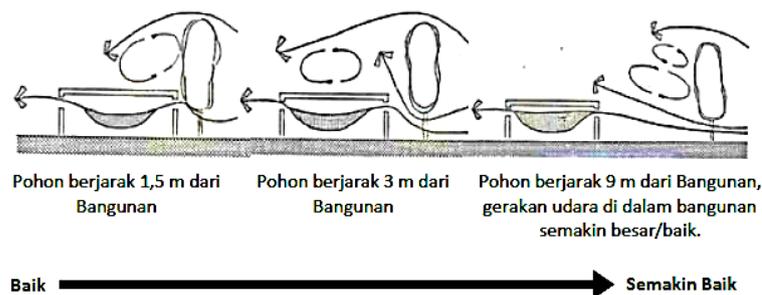
2.9.3. Vegetasi

Tumbuhan atau vegetasi lainnya bisa digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari langsung ke bangunan. Keberadaan tumbuhan secara langsung / tidak langsung dapat menurunkan suhu udara disekitarnya, dan dampak bayangan pada vegetasi bisa menghalangi pembatasan permukaan bangunan serta tanah bawahnya.

Pada wilayah yang beriklim hangat dapat menimbulkan desain pada bangunan lebih diperuntukan buat pendinginan ataupun menyejukkan tergantung pada kemampuan hawa yang bisa berganti masing-masing musimnya. Keadaan ini dapat menimbulkan tujuan desain yang di arahkan pada pendinginan secara konveksi dengan angin serta peneduhan untuk menjauhi cahaya radiasi matahari dengan mutu ultra violet yang terbit sampai 45°C. salah satu cara untuk membatasi cahaya matahari dengan melakukan penanaman tumbuhan serta dipasang kanopi pada bangunan.



Gambar 2. 13 Peneduh Vegetasi yang Tepat Pada Posisi yang Tepat (Sugini, 2004)

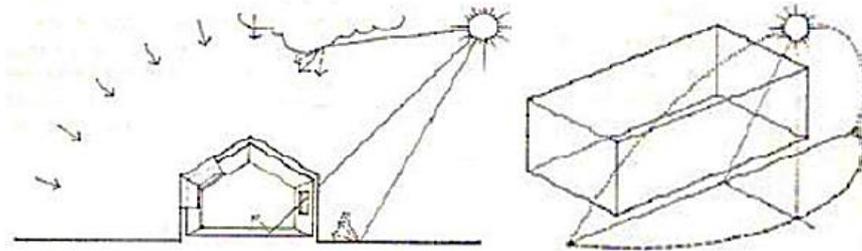


Gambar 2. 14 Jarak Pohon Terhadap Bangunan dan Pengaruhnya Terhadap Ventilasi Alami (Talarosha, 2005)

2.9.4. Orientasi Bangunan

Orientasi bangunan terhadap arah angin perlu diperhatikan, hal tersebut bertujuan untuk menjaga kestabilan sirkulasi angin pada bangunan. Arah angin sangat berpengaruh pada orientasi bangunan. Jika di daerah lembap diperlukan sirkulasi udara terus menerus, di daerah kering biasanya sirkulasi udara dimanfaatkan saat dibutuhkan saja misalnya pada saat dingin atau pada saat malam

hari. Oleh karena itu, didaerah tropis/lembap, dinding – dinding luar bangunan biasanya dibuka untuk kelancaran penghawaan ke dalam bangunan. (Francis D.K, 1996)



Gambar 2. 15 Perbandingan Bangunan Terkait Orientasi Terhadap Matahari (Tyas et al., 2015)

2.10. Hubungan Gedung Laboratorium Dengan Kenyamanan Termal

Laboratorium seringkali memerlukan kontrol suhu yang ketat untuk menjaga kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan percobaan tertentu. Hubungan antara laboratorium dan kenyamanan termal melibatkan beberapa aspek yang dilakukan pada kegiatan di dalamnya. Berikut adalah beberapa pertimbangan yang dapat dijelaskan:

1. Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Pencegahan kelebihan panas atau dingin, beberapa eksperimen atau kegiatan laboratorium mungkin memerlukan suhu yang ekstrim. Control yang baik dapat membantu mencegah kelebihan panas atau dingin yang dapat membahayakan Kesehatan manusia dan keberhasilan oercobaan.

2. Kinerja alat dan peralatan

Presisi pengukuran, beberapa alat dan peralatan laboratorium mungkin sensitive terhadap perubahan suhu. Kontrol suhu yang baik dapat membantu menjaga presisi dan akurasi pengukuran.

3. Kenyamanan operator

Pencegah kelelahan, lingkungan yang terlalu panas dapat menyebabkan kelelahan dan ketidaknyamanan bagi pengguna sehingga dapat mempengaruhi kinerja.

2.11. Penelitian Terdahulu

Diamati dari judul penelitian ini mengenai kenyamanan termal di Laboratorium Teknik Mesin, memiliki penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan pada penelitian dan dapat dilihat pada tabel 2.11

Tabel 2. 11 Penelitian Terdahulu (Penulis, 2023)

No	Penulis	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1.	Rhomadan Salhabsyie (2021)	Kenyamanan Termal Pada Bangunan SDN 2 dan SDN 6 Banda Sakti Lhokseumawe	Kuantitatif	Semua ruang kelas pada Gedung SDN 2 dan SDN 6 Banda Sakti dalam kondisi nyaman dengan nilai PMV +1,10 dan nilai PPD 30%
2.	Febri Yurian (2022)	Evaluasi Kenyamanan Termal pada Masjid Teungku Bullah Universitas Malikussaleh	Kuantitatif dan Kualitatif	Masjid Teungku Bullah masih belum memenuhi standar dengan mendapatkan hasil rata-rata <i>slightlywarm</i> (agak hangat) dan Sebagian besar responden mengatakan masih dalam kondisi <i>neutral</i> (netral)

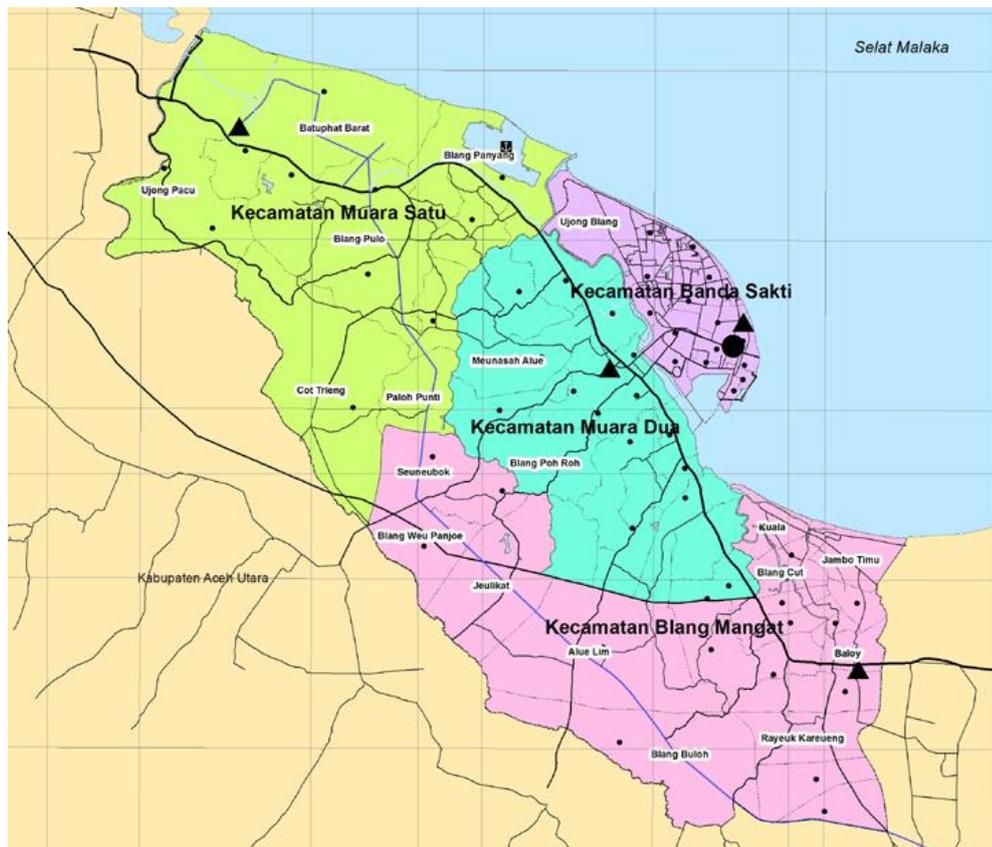
Tabel 2.11 Lanjutan

3.	Muhammad Rosyid Ridho (2015)	Kajian Kenyamanan Termal Ruang Gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih	Deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pagi hari, kondisi termal berada dalam kategori " <i>slightly warm</i> ". Namun, pada siang hari, kondisi termal memburuk menjadi " <i>warm</i> ". Nilai PMV, PPD dan hasil kuisioner menunjukkan kondisi kenyamanan termal di ruang kuliah tidak nyaman untuk digunakan beraktivitas.
----	------------------------------	---	--	--

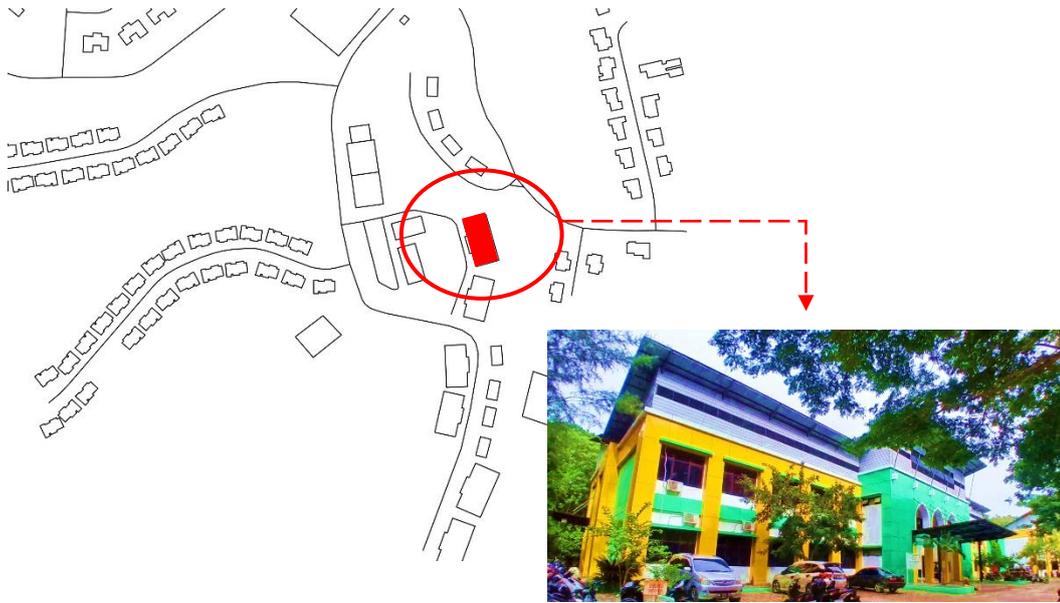
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Laboratorium Teknik Mesin (Laboratorium Konversi Energi, Laboratorium Rekayasa Bahan, Laboratorium Manufaktur, Laboratorium Konstruksi) jalan Batam Kampus Bukit Indah, Bathupat, Blang Pulo, Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh 24355



Gambar 3. 1 Peta Kota Lhokseumawe, Aceh (Google, 2023)



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Gedung Teknik Mesin Unimal (Dokumentasi Penulis, 2023)

Peneliti memilih lokasi dan tempat tersebut dengan tujuan mengetahui kenyamanan termal pada Gedung Teknik Mesin dalam memenuhi kebutuhan mahasiswa dan pengajar sebagai sarana pendidikan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan mengenai tingkat kenyamanan termal pada Gedung Teknik Mesin terutama pada laboratorium di tiap gedung yang akan diteliti agar terciptanya proses belajar mengajar yang nyaman.

3.2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan metode kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian kuantitatif menurut (Sugiyono, 2013) adalah penelitian yang digunakan untuk meneliti kondisi objek dengan teknik pengumpulan data informasi memakai perlengkapan alat ukur/instrumen sebagai acuan untuk mengenali pengaruh variabel dependen (hasil), serta meningkatkan model matematis, menghubungkan keterkaitan antara teori dengan fenomena alam. Metode kuantitatif mencakup pengukuran dan pengamatan secara langsung

pada variabel yang berperan dalam kenyamanan termal seperti temperatur, kelembapan, kecepatan angin, aktifitas dan pakaian. Penelitian secara langsung dengan pengukuran menggunakan beberapa alat yaitu *Environment Meter* sebagai alat ukur suhu serta kelembapan udara ruangan, dan *Anemometer* sebagai alat pengukur kecepatan udara dalam dan luar ruangan. Nilai hasil pengukuran dan pengamatan tersebut, dimasukkan pada kalkulator termal yaitu *CBE thermal comfort tools* sehingga diperoleh nilai PMV dan PPD, kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Metode kualitatif dilakukan dengan cara wawancara langsung dengan pengguna di Laboratorium Teknik Mesin Unimal dan sebagai pelengkap dalam penelitian ini memakai pendekatan deskriptif. Mendeskripsikan foto, dari objek dan memudahkan dalam menguasai objek yang di bahas dengan bentuk dimensi, grafik, gambar, warna, dan sebagainya.

Kedua metode di atas yang akan digunakan dalam penelitian yaitu “*Analisis Tingkat Kenyamanan Termal dan Kepuasan Pengguna Pada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh*”.

3.3. Sumber Data

Sumber penelitian mengambil bahan dari pengukuran kenyamanan termal yang berupa data kuantitatif dan mencari informasi secara langsung pada lokasi penelitian yang akan diteliti. Data yang didapat berasal dari kondisi lingkungan alam pada Gedung Laboratorium Teknik Mesin yang diukur menggunakan perangkat pengukur tingkat kenyamanan termal.

Pada penelitian ini melakukan dua sumber data yaitu data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Ialah data yang dilakukannya penelitian melalui pengukuran objek secara langsung dengan berada di lokasi yang akan diteliti pada Gedung Laboratorium.

b. Data Sekunder

Ialah data yang diambil dari referensi-referensi untuk mendukung lebih dalam penelitian yang akan di teliti. Biasanya data ini diambil dari berbagai sumber buku perpustakaan, jurnal, artikel, yang didapatkan dari *website* serta yang berkaitan erat pada topik pembahasan penelitian.

3.3.1. Waktu Penelitian

Waktu yang digunakan pada penelitian Gedung Teknik Mesin Unimal ini terbagi atas 3 waktu yaitu:

- Pagi : 08.00 – 10.00 WIB
- Siang : 12.00 – 14.00 WIB
- Sore : 15.00 – 17.00 WIB

Waktu pengukuran kenyamanan termal pada kedua bangunan ini dilaksanakan dalam waktu seminggu. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 24 – 30 Juli 2023.

3.3.2. Tahapan Penelitian

Ada beberapa hal yang dipersiapkan sebelum memulai penelitian, yakni sebagai berikut:

a. Tahapan Persiapan

- Perumusan masalah, tujuan dan sasaran
Pada tahap awal persiapan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja bangunan terhadap kenyamanan termal, dilakukan kegiatan perumusan permasalahan, tujuan, dan sasaran penelitian yang telah diidentifikasi.
- Penentuan lokasi penelitian
Lokasi penelitian terletak di Jl. Batam Kampus Bukit Indah, Bathupat, Blang Pulo, Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh.
- Inventarisasi data
Informasi mengenai teori kenyamanan termal dan standar-standar yang digunakan sebagai patokan dalam membandingkan data hasil pengukuran lapangan dengan standar kenyamanan termal yang telah ditetapkan untuk menilai kesesuaian data tersebut.

- Pengumpulan kajian literatur
Kajian literatur menjadi sumber acuan yang membantu peneliti dalam menganalisis masalah dan menemukan solusi untuk permasalahan yang sedang diteliti.
- Pengumpulan penelitian pustaka
Penelitian pustaka merupakan langkah yang dilakukan dalam menyusun metode penelitian. Tujuannya adalah untuk membandingkan dengan penelitian sebelumnya dan mencegah adanya tindakan plagiarisme.
- Penyusunan teknis pelaksanaan pengumpulan data
Pada tahap ini, merumuskan secara menyeluruh prosedur pengumpulan data, pengambilan sampel, dan format-format survei yang diperlukan termasuk dalamnya.

b. Alat dan Bahan

Dalam penelitian kenyamanan termal ini harus memiliki alat dan bahan yang akan dipergunakan dalam mengumpulkan data untuk melakukan penelitian tersebut yakni:

- 1) Kamera *smart phone* yang digunakan untuk mendokumentasikan suatu objek.



Gambar 3. 3 Kamera *Handphone* (Penulis, 2023)

- 2) Referensi yang diperoleh dari jurnal, artikel, *website*, dan buku-buku
- 3) Alat ukur:
 - *Environmen mater Multifunction Krisbow KW06-291 4 in 1*, pada alat ini hanya menggunakan 2 fungsi yang terdapat alat tersebut yaitu fungsi yang digunakan untuk mengukur suhu / temperatur dan

kelembapan pada bangunan. Alat ini memiliki fungsi lain yaitu pengukuran tingkat kebisingan serta pengukuran pencahayaan dalam ruangan. Berikut *Environment Krisbow KW06-291* pada gambar 3.4



Gambar 3. 4 *Environmen mater Multifunction Krisbow KW06-291 4 in 1* (Penulis, 2023)

- *Anemometer Benetech GM816* adalah sebuah alat ukur yang dapat menghitung kecepatan angin. Alat ini memiliki 2 fungsi yaitu mengukur kecepatan angin dan tekanan angin.



Gambar 3. 5 *Anemometer Benetech GM816* (Penulis, 2023)

c. Langkah Pengukuran

Pengukuran adalah metode pengambilan data dengan cara mengukur langsung ke lokasi lapangan terkait parameter yang dibutuhkan. Langkah untuk pengukuran suhu dan kelembapan menggunakan alat yang sama maka langkah-langkah penggunaan alat-alat nya pun sama, hanya dibedakan melalui tombol posisi.

- 1) Suhu; pengukuran ini dilakukan dengan pembacaan secara langsung dan alat yang digunakan adalah Krisbow KW0600291 4 IN 1 *Environment Meter*; berikut cara menggunakannya:
 - Tekan tombol on-off untuk menghidupkan alat
 - Arahkan tombol warna hitam yang berada di bawah tombol warna merah sehingga menunjukkan TEMP
 - Angkat alat setinggi 1,1 meter lalu tunggu beberapa saat hingga angka yang muncul stabil.
- 2) Kelembapan udara; dilakukan dengan metode secara langsung dengan alat Krisbow KW0600291 4 IN 1 *Environment Meter*. Berikut cara menggunakannya:
 - Tekan tombol on-off untuk menghidupkan alat
 - Arahkan tombol warna hitam yang berada dibawah tombol warna merah sehingga menunjukkan %RH.
 - Angkat alat setinggi 1,1 meter lalu tunggu beberapa saat hingga angka yang muncul stabil.
- 3) Kecepatan angin; dilakukan dengan metode secara langsung dengan alat Anemometer Benetech GM816. Berikut cara menggunakannya:
 - Hidupkan dengan menekan lama tombol mode
 - Jika ingin mengatur satuan kecepatan maka tekan lama Kembali tombol mode lalu tekan set, setelah satuan sesuai maka tekan Kembali tombol mode untuk memulai pengukuran.
 - Arahkan alat kearah angin yang ingin diukur, angkat alat kurang lebih 1,1meter dan tunggu beberapa saat sampai angka yang muncul stabil.

3.4. Metode Pengumpulan Data

Ada dua teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer merupakan informasi pada penelitian yang diperoleh secara langsung dari sumber pertama selama penelitian. Berikut adalah metode dalam mengumpulkan data primer:

- a. Observasi lapangan (Pengamatan)
- b. Dokumentasi
- c. Pengukuran
- d. Wawancara

Dalam proses pengumpulan data, terdapat beberapa instrumen penelitian yang digunakan terhadap indikator kenyamanan termal yang berbeda.

Tabel 3. 1 Metode Pengumpulan Data (Analisa Penulis, 2023)

Obyek Penelitian	Data	Metode	Instrumen Penelitian
Indikator Kenyamanan Termal	Temperatur Udara	Pengukuran	<i>Environment Meter</i>
	Kelembapan Udara	Pengukuran	<i>Environment Meter</i>
	Kecepatan Angin	Pengukuran	Anemometer
	Insulasi Pakaian	Pengamatan dan Dokumentasi	Kamera HP
	Nilai Metabolisme	Pengamatan dan Dokumentasi	Kamera HP

Data sekunder merupakan data penelitian yang didapat melalui studi literatur. Tujuan penggunaan data sekunder adalah untuk memperluas pemahaman tentang topik penelitian. Jenis data sekunder dapat berupa publikasi pemerintah, sumber-sumber online, buku-buku, artikel jurnal, dan catatan-catatan internal yang relevan dengan penelitian ini.

3.4.1. Observasi

Pengamatan (observasi), merupakan teknik pengumpulan data dengan cara mengamati obyek penelitian secara langsung. Menurut Sugiyono (2008). Untuk mendapatkan data, peneliti melakukan observasi dengan cara mengamati langsung

di lokasi agar memungkinkan peneliti untuk mendapatkan informasi yang tepat dan akurat serta mendalam tentang situasi yang sedang diteliti.

3.4.2. Pengukuran

Untuk mendapatkan data di lapangan, dilakukan 6 titik pengukuran temperatur, kecepatan, dan kelembapan udara. Nilai rata-rata secara keseluruhan akan digunakan sebagai sumber data. Pengukuran dilakukan dengan menyesuaikan waktu perkuliahan yakni pada waktu pagi, siang dan sore 3 dengan interval waktu pengukuran yakni 3-5 menit pada setiap titik.

3.4.3. Dokumentasi

Menurut Moleong (2001), dokumentasi mengacu pada semua bahan tertulis atau film yang dapat digunakan sebagai sumber data dalam penelitian karena mereka dapat digunakan untuk menguji, menafsirkan, atau meramalkan. Data yang diperoleh melalui pengamatan, penggambaran, pengukuran, dan pemetaan dilengkapi dan diperkuat dengan dokumentasi.

3.4.4. Wawancara

Wawancara penelitian mengenai kenyamanan termal bertujuan untuk mengumpulkan pendapat para mahasiswa/I serta para dosen tentang tingkat sensasi kenyamanan termal di dalam ruang laboratorium.

3.5. Sampel Penelitian

Penelitian ini akan menitikberatkan pada penilaian tingkat kenyamanan termal di dalam Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh, yang dapat dijadikan sebagai gambaran dari seluruh populasi yang lebih besar. Penggunaan beberapa ruang laboratorium sebagai sampel penelitian dipilih karena ruang-ruang tersebut merupakan bagian penting untuk proses praktek, penelitian, uji laboratorium dan sebagainya yang mempengaruhi kondisi belajar dan kenyamanan para pengguna. Adapun sampel subjek adalah sebanyak 15 orang pengguna yang dipilih sebagai responden yakni mahasiswa, staff penjaga laboratorim dan dosen yang menggunakan laboratorium.

3.6. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diteliti atau dipelajari bertujuan untuk mendapatkan informasi terkait penelitian tersebut sesuai indikator yang ditentukan oleh aspek penelitian yang telah disusun.

Tabel 3. 2 Variabel Penelitian (Analisa Penulis, 2023)

Lokasi	Landasan Teori	Variabel	Indikator	Kebutuhan Data
Gedung Laboratorium Teknik Mesin Unimal	ASHRAE, <i>Handbook of Fundamental</i> , 2017	Faktor Lingkungan (Eksternal)	Suhu Udara	Data hasil
			Kecepatan Angin	pengukuran dari tiap titik
			Kelembapan Udara	pengukuran yang telah ditentukan
		Faktor Personal (Internal)	Insulasi Pakaian (<i>Clo-Value</i>)	Jenis pakaian yang digunakan pengguna laboratorium
			Tingkat Metabolisme (<i>metabolic rate</i>)	Pengamatan terhadap kegiatan yang dilakukan pengguna laboratorium

3.7. Teknik Analisis Data

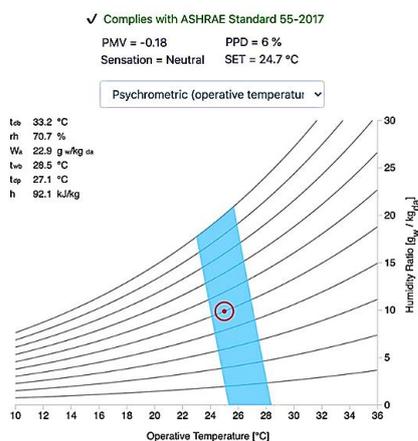
Analisis data pada penelitian menggunakan analisis kuantitatif yang melibatkan pengumpulan, pengukuran dan menganalisis dalam data numerik atau dalam bentuk angka yang dapat diukur, dihitung serta dibandingkan sehingga hasil dapat dinilai secara objektif.

3.7.1. Kenyamanan Termal

Data yang diperoleh dari pengukuran dalam penelitian ini akan dianalisis secara kuantitatif menggunakan perhitungan PMV, dan PPD. Dalam studi Sugini

mengenai kenyamanan termal menggunakan persamaan PMV, penghitungan PMV dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel yang telah diberi formula persamaan PMV. Perangkat lunak Microsoft Excel ini dapat diakses secara gratis melalui situs web <https://www.tanabe.arch.waseda.ac.jp/> yang menyediakan formula persamaan PMV. Selain itu, hasil perhitungan PMV juga dapat dicari melalui kalkulator termal yang tersedia di situs <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Software simulasi CBE Thermal Comfort Tools adalah *software* yang digunakan untuk menentukan kenyamanan melalui metode PMV (*predicted mean Vote*) dan perbandingan tingkat kenyamanan terhadap kedua bangunan.



Gambar 3. 6 *CBE Thermal Comfort Tools* (Penulis,2023)

Software CBE Termal Comfort Tool For ASHRAE-55 digunakan untuk memperoleh nilai PMV (*Predicted Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) dengan memasukkan data pengukuran seperti suhu udara, suhu radiasi, kecepatan udara, kelembapan udara, nilai metabolik penghuni, dan insulasi pakaian penghuni.

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa langkah analisis data sebagai berikut:

- 1) Pemeriksaan data, Tujuan utama dari pemeriksaan data ini adalah memastikan bahwa semua data yang telah terkumpul, termasuk data dari observasi, wawancara, dan dokumentasi terkait Kinerja Kenyamanan Termal, dapat digunakan secara efektif oleh peneliti. Dalam tahap ini, fokus utama

adalah menjaga integritas dan kualitas data agar analisis yang dilakukan dapat menghasilkan hasil yang valid dan akurat.

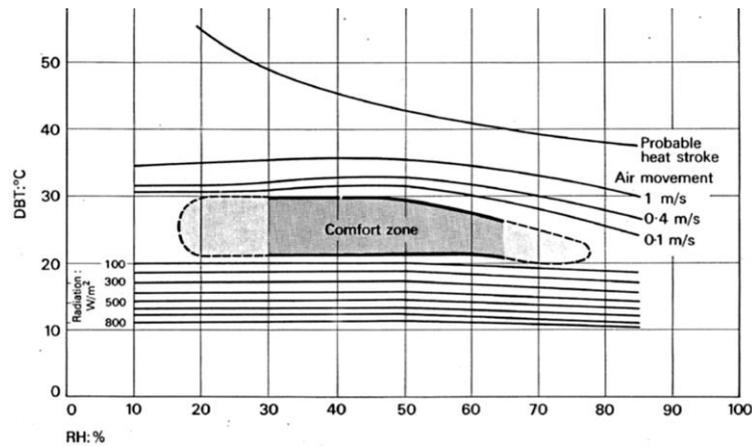
- 2) Memberikan tanda atau kode, bertujuan untuk memberi identifikasi pada setiap data, sehingga memudahkan pengorganisasian dan analisis data. Dengan memberikan tanda atau kode, peneliti dapat mengelompokkan data yang relevan dan membuatnya lebih mudah diakses selama proses analisis.
- 3) Tabulasi data, di mana semua data yang telah diperiksa dan diberi tanda akan dimasukkan ke dalam tabel-tabel. Ini dilakukan untuk merapikan data dan menyusunnya dalam format yang lebih terstruktur. Dengan tabulasi data, peneliti dapat dengan mudah melihat pola, hubungan, dan statistik yang terkandung dalam dataset tersebut.

3.7.2. Survei Kenyamanan Termal

Proses wawancara dilakukan secara simultan dengan pengukuran untuk menilai persepsi pengguna ruangan terhadap sensasi termal yang mereka alami, mengacu pada pedoman dari ASHRAE (2017). Pilihan jawaban terdiri dari 7 kategori yang mencakup tingkat sensasi termal, yaitu sensasi dingin (-3), sedikit sejuk (-2), agak sejuk (-1), netral (0), agak hangat (+1), hangat (+2), dan panas (+3). Pada setiap ruang laboratorium akan dianggap nyaman jika persentase sensasi termal yang mengindikasikan ketidaknyamanan berada di bawah 20%.

3.7.3. Perbaikan kenyamanan Termal

Perbaikan kenyamanan termal dilakukan apabila tingkat kondisi kenyamanan termal berada diluar rentang nyaman yang telah ditetapkan. Olgyay (1963) dalam *bioclimatic chart*-nya antara elemen iklim dengan kenyamanan, menghubungkan antara tingkat temperatur udara dengan kelembapan udara, jika grafik menggambarkan kondisi termal berada di atas zona kenyamanan, langkah-langkah perbaikan dan korektif diperlukan untuk mengembalikan kenyamanan.



Gambar 3. 7 *Schematic bioclimotic index* (Victor Olgyay et al., 1963)

Apabila suhu ruangan berada di atas zona nyaman, tindakan untuk menjaga kenyamanan termal yang dilakukan adalah dengan penambahan atau meningkatkan kecepatan aliran udara dalam ruangan, dengan rentang sekitar 0,4 hingga 1 m/s. Hal tersebut dapat dicapai dengan meningkatkan efektifitas sistem ventilasi alami atau memanfaatkan penghawaan buatan. Adapun ketika kondisi termal ruangan berada di bawah zona kenyamanan, perlu diberikan radiasi panas sekitar 100 hingga 800 W/m². Radiasi ini dapat berupa pemanasan lantai, penggunaan peralatan pemanas, atau bahkan pemanfaatan sinar matahari untuk memberikan pemanasan tambahan.

Hasil analisis data yang telah diolah akan dijelaskan sesuai dengan realitas dan fakta yang ada. Penjelasan ini membantu dalam mengembangkan pemahaman yang mendalam tentang data. Analisis ini kemudian dapat direvisi dan diperluas untuk mencapai kesimpulan yang menjawab permasalahan yang sedang diteliti.

BAB IV

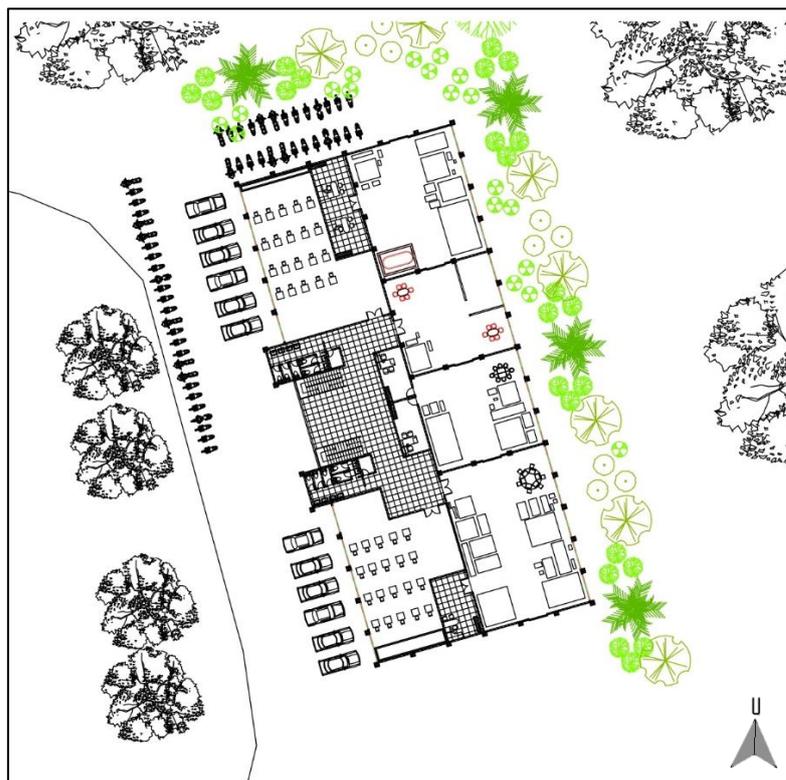
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Data

Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh terdapat beberapa jurusan yang ada di dalamnya serta masing-masing jurusannya terdapat Laboratorium di tiap gedung berdasarkan jurusannya. Fakultas Teknik yang memiliki laboratorium dengan luas yang besar di Universitas Malikussaleh hanya pada jurusan Teknik Sipil dan Teknik Mesin.

4.1.1. Site Plan Laboratorium Teknik Mesin Unimal

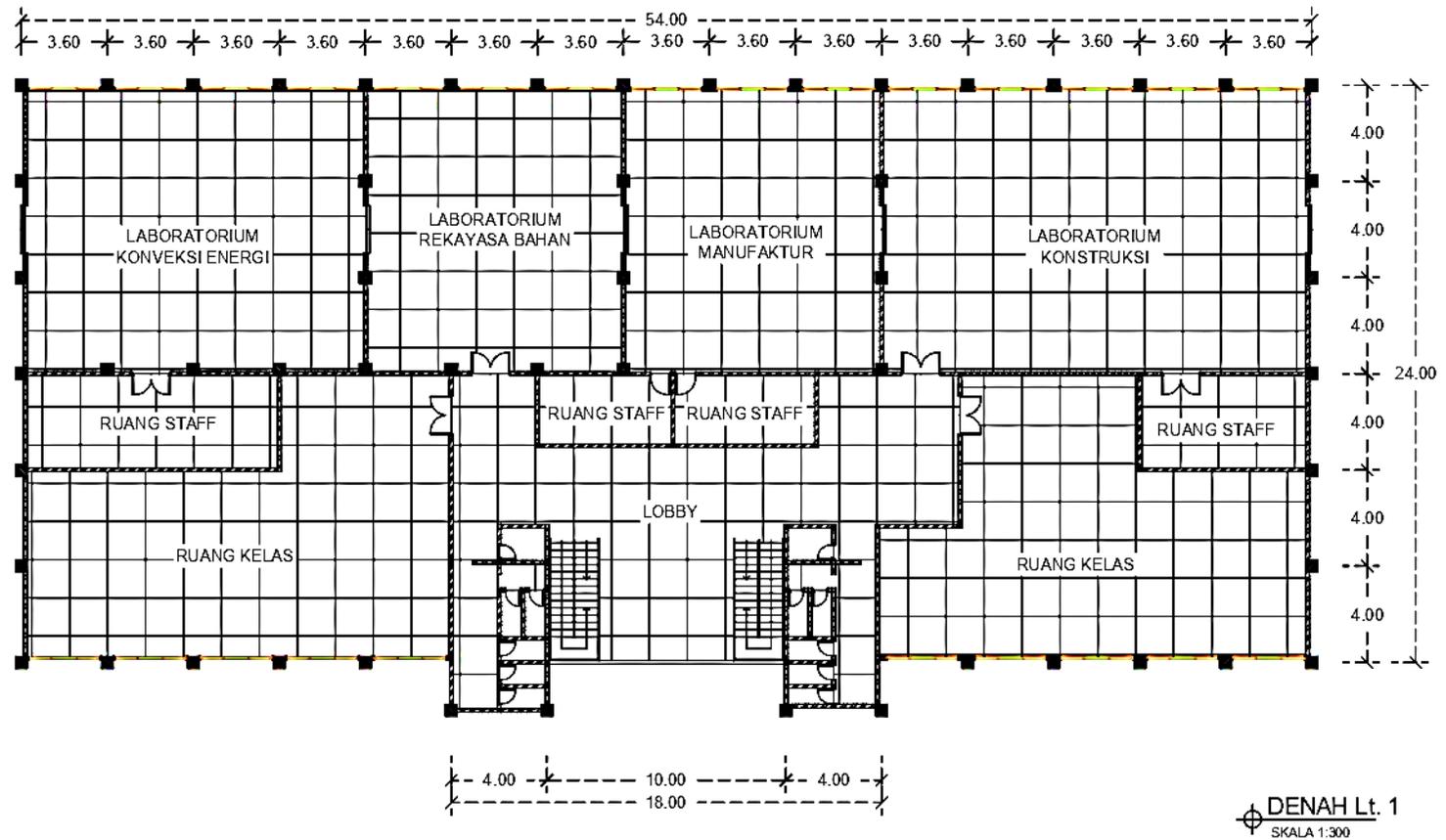
Pengukuran ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Unimal berlokasi di Jl. Batam Kampus Bukit Indah, Bathupat, Blang Pulo, Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh.



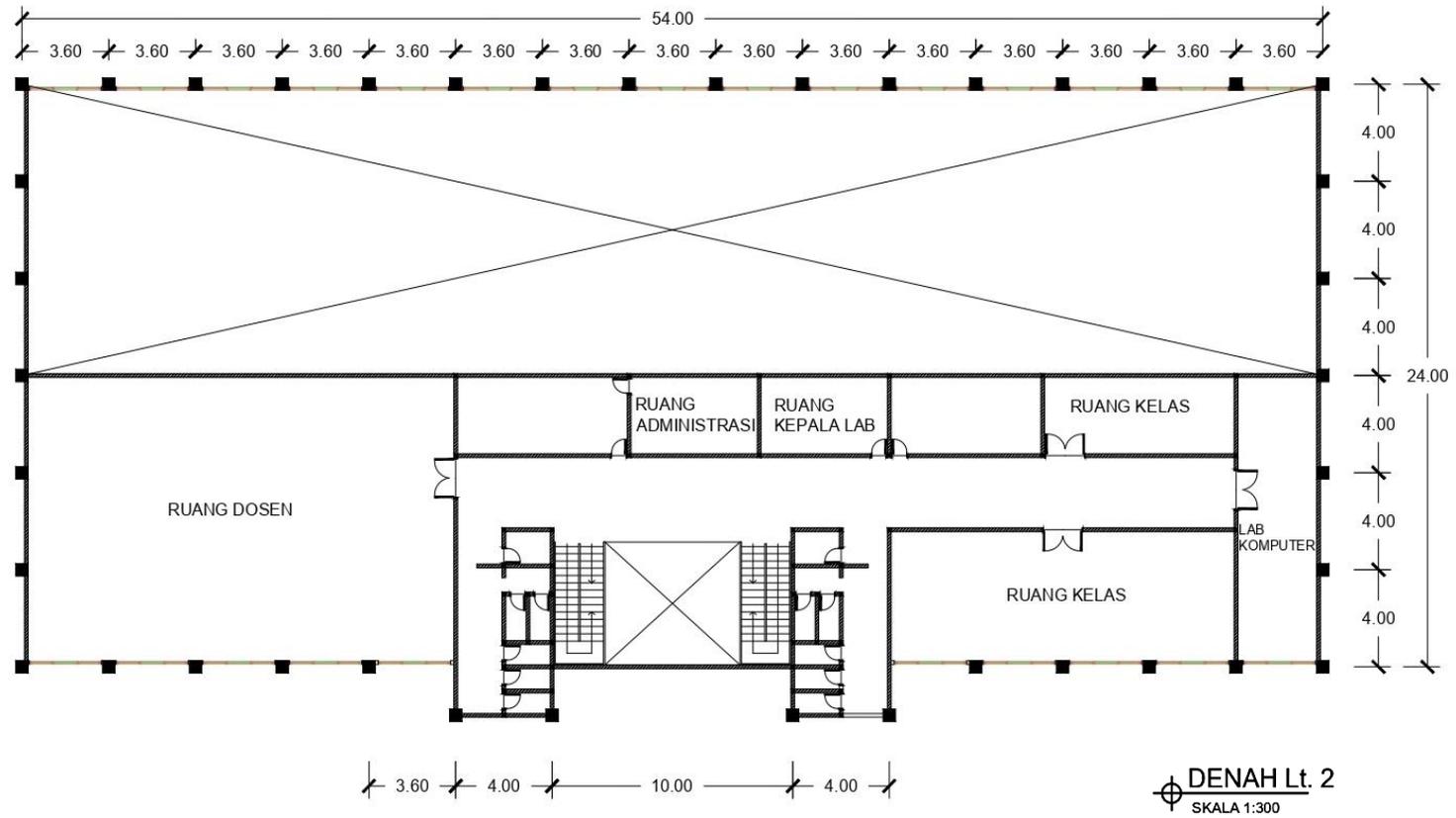
Gambar 4. 1 Site Plan Gedung Teknik Mesin Unimal (Penulis, 2023)

4.1.2. Denah Gedung Teknik Mesin Unimal

Gedung Teknik Mesin Universitas Malikussaleh memiliki 2 lantai pada bangunan nya. Berikut denah tiap lantai gedung Teknik mesin dapat dilihat pada gambar 4.2 di bawah.



Gambar 4. 2 Denah Lantai 1 Teknik Mesin Universitas Malikussaleh (Penulis, 2023)

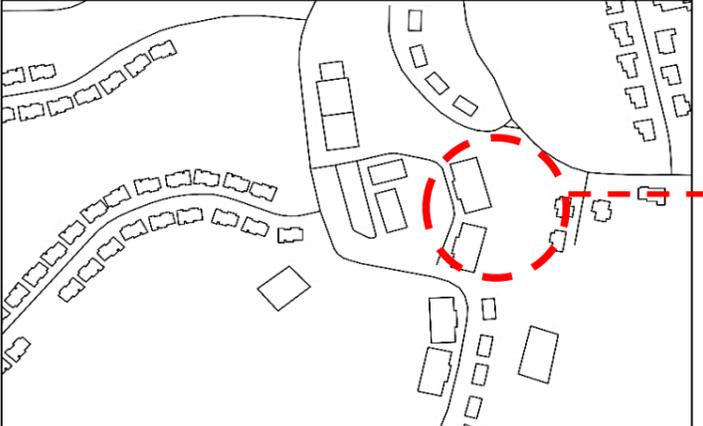
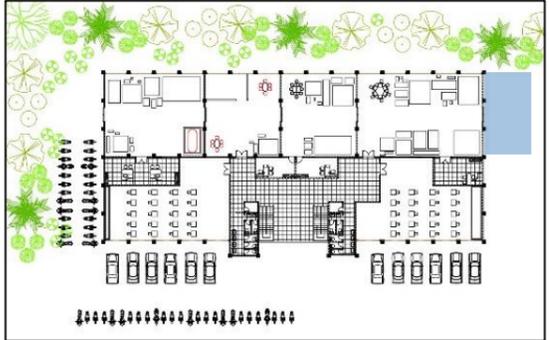
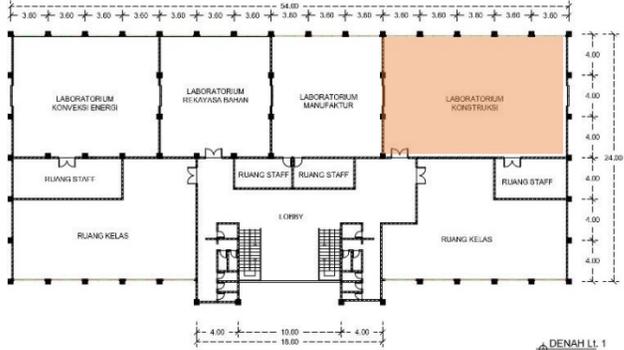
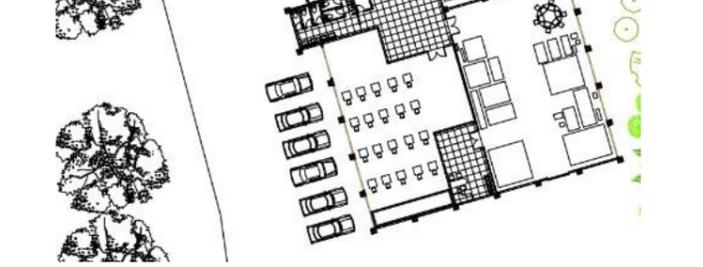
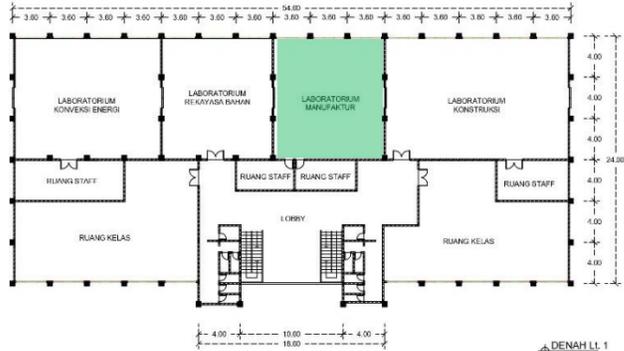


Gambar 4. 3 Denah Lantai 2 Teknik Mesin Universitas Malikussaleh (Penulis, 2023)

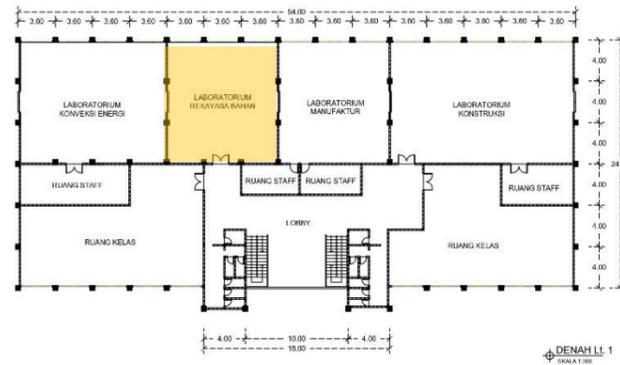
4.1.3. Titik Pengukuran

Pada titik pengukuran ini dilakukan pada ruang-ruang Laboratorium Teknik Mesin dengan mengukur temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin di dalam ruangan laboratorium sebanyak 4 titik berada di dalam bangunan dan membandingkan dengan lingkungan luar yang berada di luar bangunan sebanyak 2 titik.

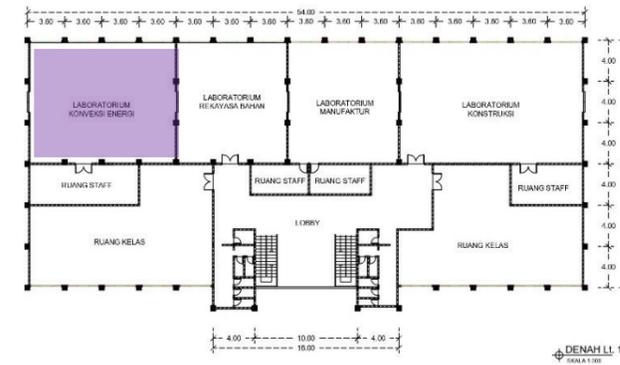
Tabel 4. 1 Titik Pengukuran Laboratorium Teknik Mesin (Penulis, 2023)

Titik Lokasi	Gambar	Keterangan
	 	<p>Pada titik 1 terletak di samping kanan bangunan yang berada tepat di luar bangunan dan bersebelahan langsung dengan gedung kampus lainnya.</p>
	 	<p>Titik 2 berposisi di dalam bangunan. Titik ini berada tepat di laboratorium konstruksi yang memiliki luas 18 x 12 meter dengan banyaknya peralatan mesin yang memenuhi ruangan, sehingga mempengaruhi aktivitas di dalamnya.</p>
	 	<p>Titik 3 berposisi di dalam bangunan. Titik ini tepat di laboratorium manufaktur yang memiliki luas 11 x 12 meter dengan banyaknya alat yang jarang digunakan, sehingga memenuhi ruangan tersebut.</p>

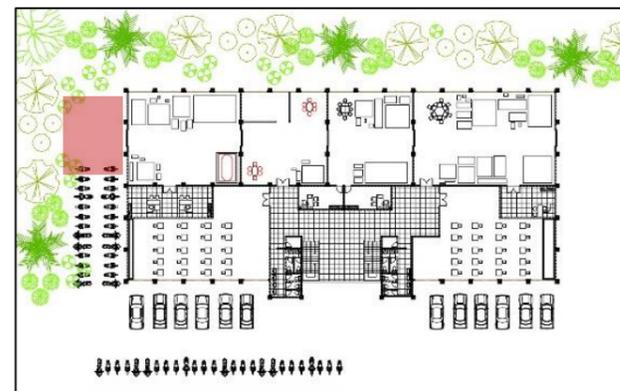
Tabel 4.1 Lanjutan



Titik 4 berposisi di dalam bangunan. Titik ini tepat di laboratorium rekayasa bahan yang memiliki luas yang sama dengan laboratorium manufaktur yaitu 11 x 12 meter dengan banyaknya alat yang jarang digunakan dan di dalamnya berisikan ruang mushollah.



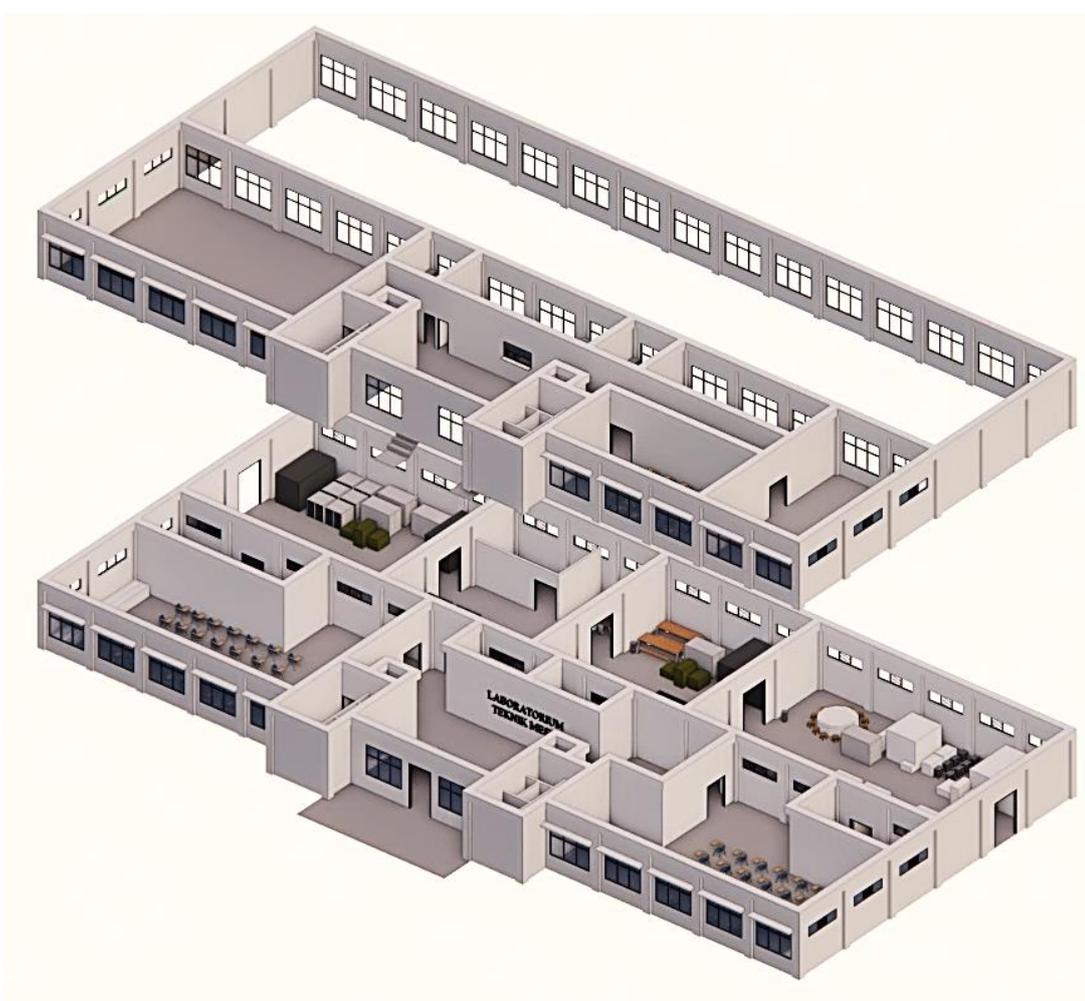
Titik 5 berposisi di dalam bangunan. Titik ini tepat di laboratorium konveksi energi yang memiliki luas 14 x 11 meter dengan banyaknya peralatan besar dan laboratorium yang sangat sering digunakan.



Pada titik 6 terletak di samping kiri bangunan yang berada tepat di luar bangunan dan bersebelahan langsung dengan banyaknya pepohonan yang lebat sehingga space yang tersedia dijadikan lahan parkir bagi pengguna gedung

4.2. Hasil Observasi

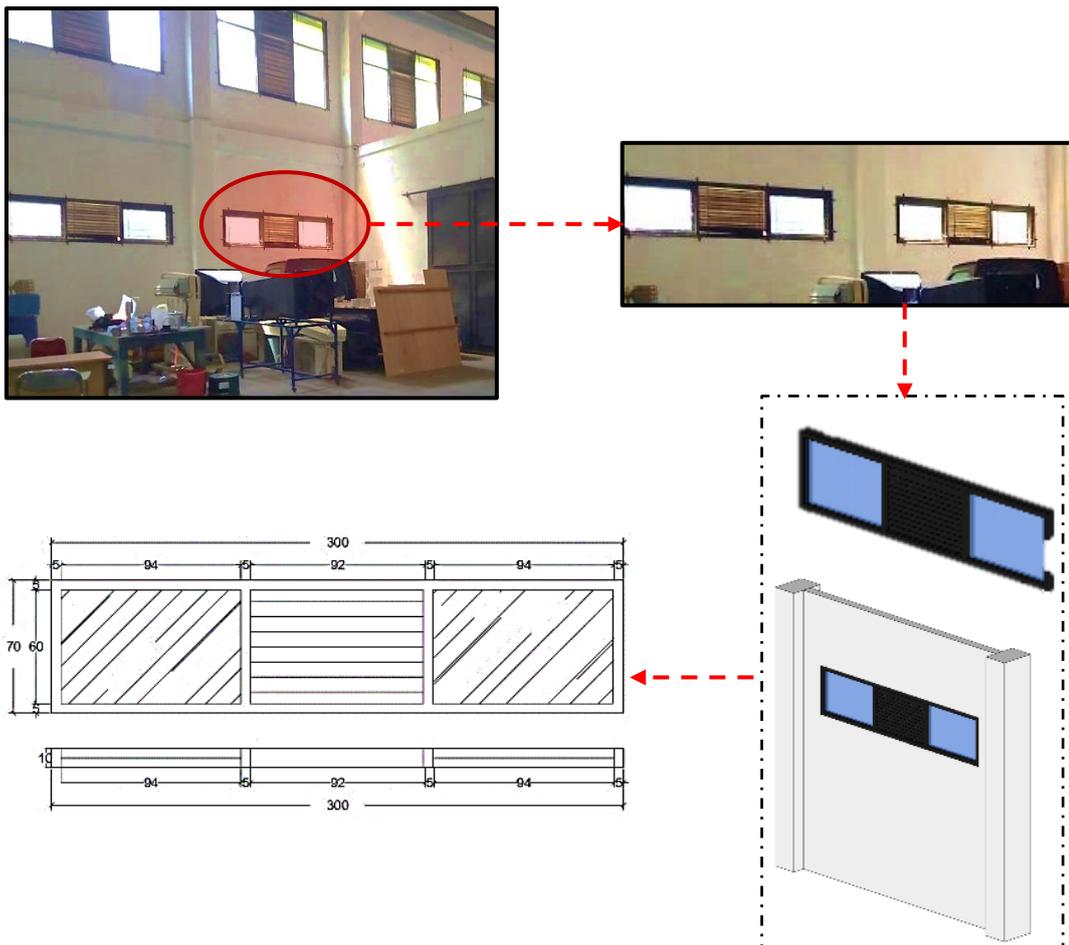
Observasi atau tinjauan langsung ke lapangan agar mengetahui kondisi keadaan laboratorium secara langsung. Usaha dalam mendapatkan data yang akurat peneliti mengambil beberapa informasi yang benar-benar dapat memberikan penjelasan tentang apa yang akan dibahas dalam penelitian. Dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah dengan posisi bukaan pada tiap sisi laboratorium dengan beberapa peralatan yang berukuran besar memenuhi ruangan.



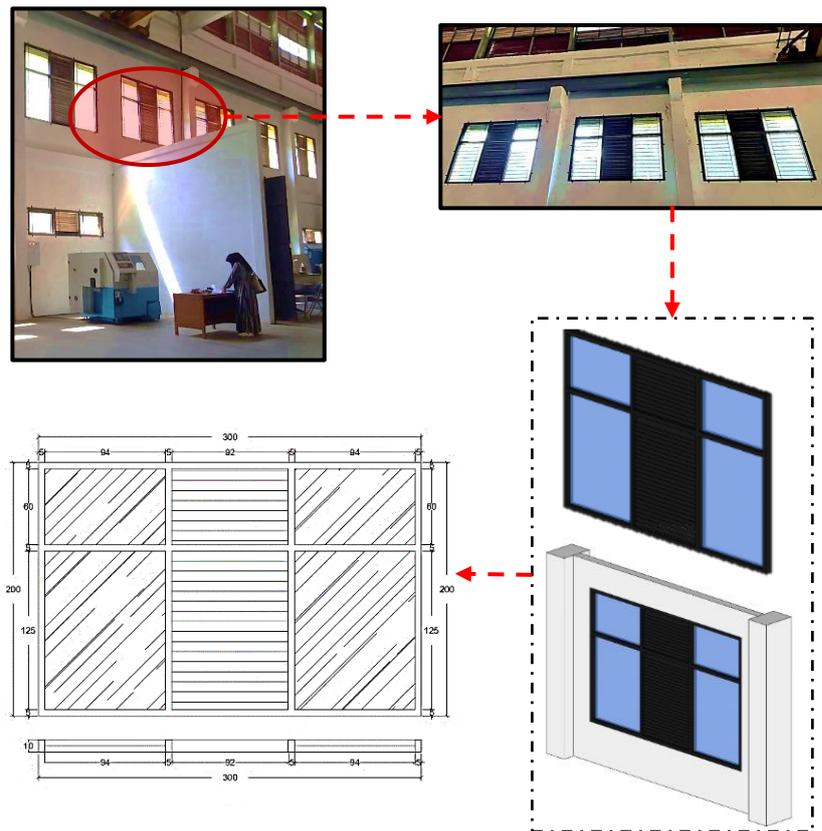
Gambar 4. 4 Isometri Perlantai Gedung Teknik Mesin Universitas Malikussaleh (Penulis, 2023)

4.2.1. Ventilasi

Penempatan ventilasi di Laboratorium Teknik Mesin terletak di posisi yang bertentangan dengan elevasi yang berbeda, posisi bukaan yang menghasilkan pola aliran udara yang bergerak dari *inlet* ke *outlet*. Arah posisi bukaan hendak berpotensi pada arah datangnya angin yang akan mempengaruhi kecepatan udara buat menggapai kenyamanan termal dalam bangunan.



Gambar 4. 5 Detail Ventilasi (Penulis, 2023)



Gambar 4. 6 Detail Jendela (Penulis, 2023)

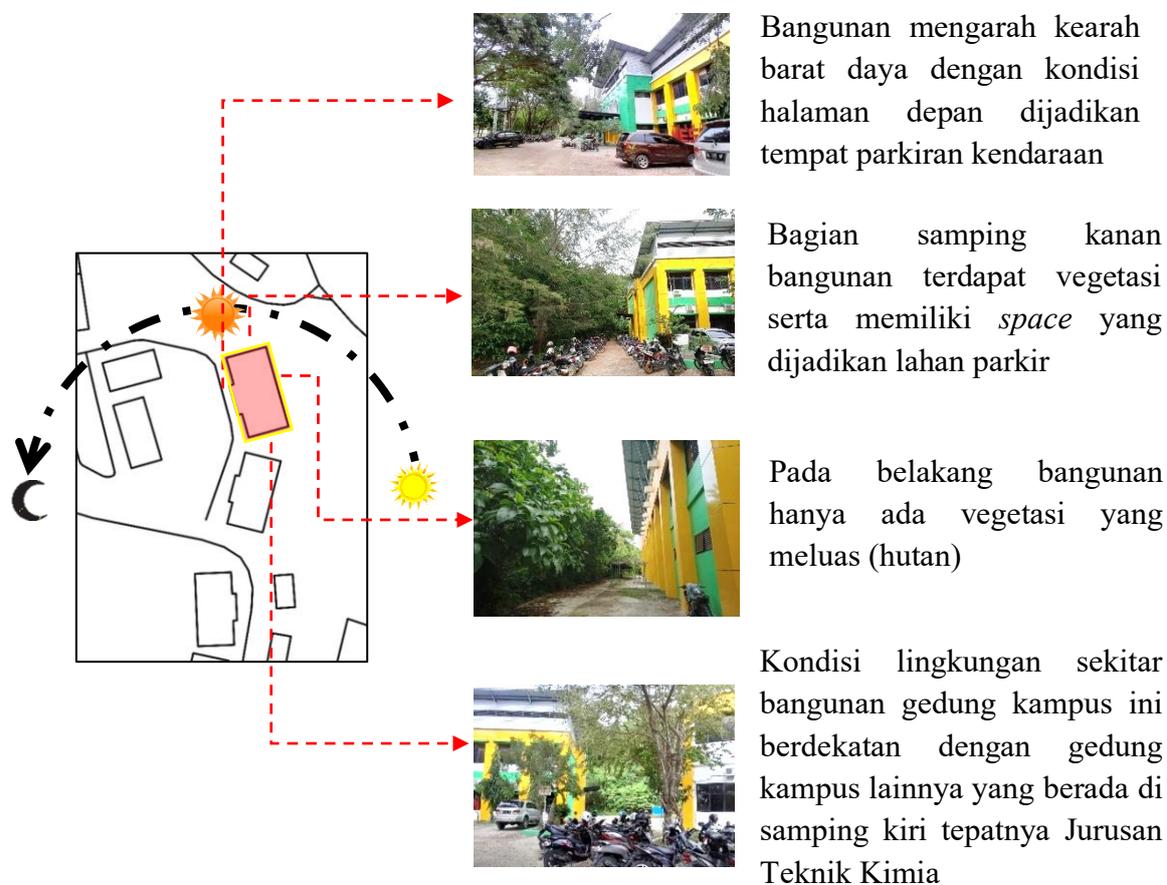
4.2.2. Vegetasi

Posisi pohon yang mengelilingi dan memiliki jarak dengan bangunan sehingga vegetasi berfungsi dengan baik. Pada sisi yang berdekatan dengan gedung lainnya memiliki *space* lahan yang tidak ditumbuhi vegetasi lainnya, sehingga paparan sinar matahari langsung masuk ke dalam bangunan dan aliran udara yang kurang berhembus. Jarak pohon dengan bangunan dapat diatur agar memiliki lebar (*space*) untuk angin berhembus, karena bila semakin lebar jarak pohon terhadap bangunan maka akan semakin kencang pula angin yang dapat berhembus.

4.2.3. Orientasi Bangunan

Pada gedung Teknik Mesin Unimal berorientasi arah barat. Matahari melintas dari arah timur ke barat, mulai dari fajar hingga terbenamnya matahari sekitar pukul 05.00 – 18.00 WIB. Di kampus bukit indah Unimal, matahari tepat

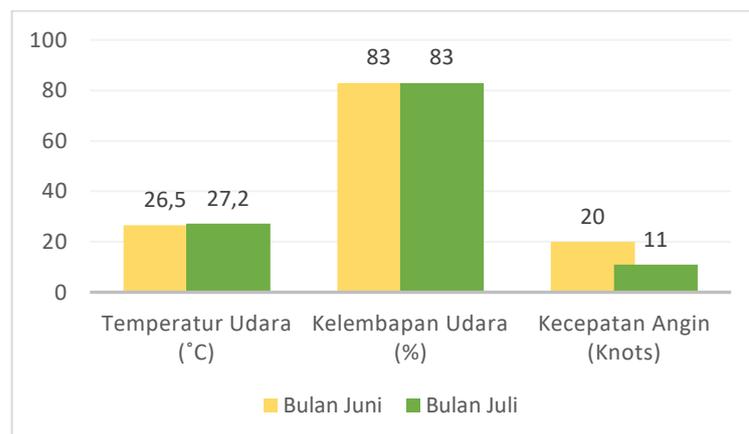
berada di atas sekitar pukul 12.00 – 14.00 WIB dengan matahari paling menyengat sekitar pukul 10.00 – 15.00 WIB.



Gambar 4. 7 Kondisi Lingkungan Gedung Teknik Mesin Unimal (Penulis,2023)

4.3. Keadaan Kenyamanan Termal Kota Lhokseumawe

Berdasarkan informasi yang dikutip dari Pusat Statistika, dengan merujuk pada data yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika Kota Lhokseumawe dalam Angka Tahun 2022, dapat diidentifikasi bahwa suhu rata-rata selama bulan Juni mencapai puncaknya pada 31.4°C dan turun menjadi 23.2°C pada titik terendah. Pada saat yang sama, tingkat kelembapan udara rata-rata berkisar antara 51% hingga 98%. Ketika memasuki bulan Juli, catatan suhu menunjukkan angka tertinggi mencapai 32°C dan angka terendah 23.8°C, dengan rentang kelembapan udara yang rata-rata berkisar antara 51% hingga 98%.



Gambar 4. 8 Rata-rata Data Iklim BPS (Data Penulis, 2023)

Tujuan dari pengumpulan data ini adalah untuk membandingkan suhu udara di luar dan di dalam ruangan, dan juga sebagai bahan pendukung dalam penelitian. Dapat dilihat bahwa terdapat perubahan temperatur yang signifikan dari bulan tiap bulan, namun kelembapan maksimalnya masih sama yakni sebesar 83%. Selain itu dari data pengukuran yang dilakukan pada 3 waktu yang berbeda, temperatur udara cenderung menurun dan tingkat kelembapan udara meningkat. Mulanya pada pagi hari, temperatur udara di dalam ruangan sebesar 27,9°C dengan tingkat kelembapan 54,3%. Lalu pada siang hari, temperatur udara meningkat menjadi 30,1°C dan kelembapan udara mengalami penurunan menjadi 50,3%. Hal ini terjadi karena pada siang hari, temperatur udara meningkat karena radiasi matahari yang memanaskan bumi mengalami peningkatan. Ketika temperatur udara turun, udara memiliki kapasitas yang lebih rendah untuk menampung uap air, yang pada gilirannya dapat menyebabkan kelembapan relatif (RH) meningkat.

4.4. Hasil Pengukuran

Pengukuran suhu udara, kelembapan dan kecepatan angin dilakukan selama tujuh hari yang memperoleh data berupa temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin dan dilaksanakan pada tiga waktu yaitu pukul 08.00 - 10.00 WIB pagi, 12.00 - 14.00 WIB siang, dan 15.00 - 17.00 WIB sore. Untuk mendapatkan data valid mengenai temperatur udara, suhu udara dan kecepatan angin, posisi pengukuran dilakukan di enam titik yang berbeda pada lokasi tersebut.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Data Pengukuran Kelembapan, Suhu Udara dan Kecepatan Angin (Analisa Penulis, 2023)

Hari/Tanggal	Pukul	Titik 1			Titik 2			Titik 3			Titik 4			Titik 5			Titik 6		
		Temp (°C)	%RH	Angin m/s															
Senin 24 Juli 2023	08.00–10.00 WIB	27,3	61,2	0,8	33	51	0,1	31,6	47,3	0	31,2	59	0	31,5	42,3	0	27	61,7	1,5
	12.00–14.00 WIB	28	53,7	1,6	36	46	0	33	51,5	0	33	50	0	29,5	53,9	0	28	51,4	1,5
	15.00–17.00 WIB	27	65,5	1,8	36	46,3	0	32	50	0	32	59,7	0	31	63	0	27,8	63,2	2,0
Selasa 25 Juli 2023	08.00–10.00 WIB	27	55	1,5	31	51	0	31,4	48	0	31,4	60	0	29	41	0	27,4	60	1,2
	12.00–14.00 WIB	27,2	57,5	0,5	35,7	45,5	0	33	50	0	33	48,1	0	30,5	51,3	0	29	50	1,5
	15.00–17.00 WIB	27,7	60	2,0	35	45,3	0	32	50	0	32	55	0	30,7	48	0	28	55,3	1,9
Rabu 26 Juli 2023	08.00–10.00 WIB	27	61	1,2	34,3	50	0	30	47	0	30	59	0,1	39	42	0	26	60	1,5
	12.00–14.00 WIB	29	53,7	1,5	36	46	0	34	50	0	34	49,7	0	32,7	54	0	29,4	51,4	1,6
	15.00–17.00 WIB	30,5	56,7	0,9	35	47	0	33	55	0	31	55	0	30,7	50	0	31	57	1,8
Kamis 27 Juli 2023	08.00–10.00 WIB	26	60	0,8	33	51	0	31,4	46,3	0	31,4	60	0	30,5	40,7	0,1	27,4	60	1,5
	12.00–14.00 WIB	27	53,7	1,6	35	45,5	0	33	50	0	31	48,1	0	31	51	0	29	50	1,6
	15.00–17.00 WIB	29	52,2	1,8	36	46,3	0	32	60	0	32	53,8	0	30,5	56	0	36	54	1,8
Jumat 28 Juli 2023	08.00–10.00 WIB	27,5	61	1,5	32	50	0	32	47,2	0	30	59,2	0	29,5	42	0	28	61,7	1,5
	12.00–14.00 WIB	29	53,7	0,5	36	46	0	35	50	0	34,2	49,7	0	31,5	53	0	31	51,4	1,5
	15.00–17.00 WIB	31	65	2,2	35,6	46,8	0	33,5	60	0	31	59,7	0	31	63	0	32	63,2	2,0
Sabtu 29 Juli 2023	08.00–10.00 WIB	27,5	62,2	1,2	34	52,3	0	30	48	0	30	60	0	30,5	44	0	26	62	1,6
	12.00–14.00 WIB	28	55	1,5	37	48,1	0	32	51	0	32	50	0	31	55	0	28	52,5	1,8
	15.00–17.00 WIB	30	58,3	0,9	34	47	0	34	63	0	34	60,1	0	30,5	65	0	30	58,3	1,5
Minggu 30 Juli 2023	08.00–10.00 WIB	27	60	1,6	34	52	0	31	46,2	0	33	59	0	30	41	0	27	60	1,5
	12.00–14.00 WIB	30,5	52,5	1,8	36	45,5	0	35,4	50	0	35,4	59,2	0	31	51,3	0	31,4	50	1,9
	15.00–17.00 WIB	31	55,3	1,5	35,5	45,3	0	34	57	0	34	55	0	31,5	50	0	26	55,3	1,6

Tabel 4. 3 Rata-rata Hasil Pengukuran Kelembapan, Suhu Udara dan Kecepatan Angin (Analisa Penulis, 2023)

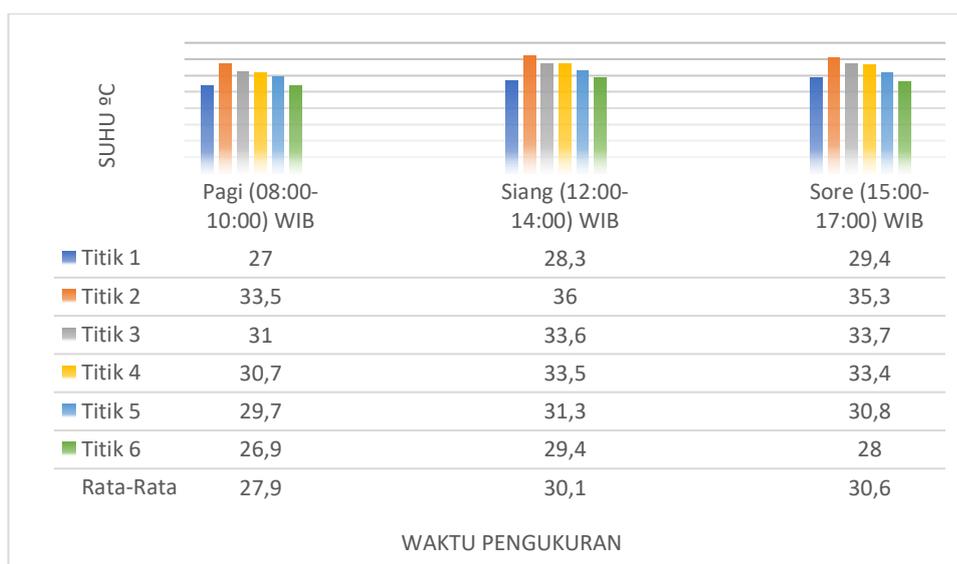
Pukul	Titik 1			Titik 2			Titik 3			Titik 4			Titik 5			Titik 6			Rata-rata		
	Temp (°C)	%RH	Angin m/s																		
08.00–10.00 WB	27	60,9	1,2	33,5	51	0	31	47,1	0	30,7	50,4	0	29,7	48,8	0	26,9	60,7	1,4	27,9	54,3	0,4
12.00–14.00 WB	28,3	53,3	1,2	36	46	0	33,6	50,3	0	33,5	49	0	31,3	50,9	0	29,4	52,7	1,6	30,1	50,3	0,4
15.00–17.00 WB	29,4	59	1,5	35,3	46,2	0	33,7	56,4	0	33,4	56,9	0	30,8	56,1	0	28	58	1,8	30,6	55,4	0,5

4.5. Analisis Pengukuran Kenyamanan Termal

Pengukuran dilakukan pada 6 titik yaitu titik 1 pada teras bangunan di bagian kanan, titik 2 pada ruang laboratorium konstruksi, titik 3 pada ruang laboratorium manufaktur, titik 4 pada ruang laboratorium rekayasa bahan, titik 5 pada laboratorium konveksi energi dan titik ke 6 dilakukan di teras bangunan bagian kiri pada gedung Teknik Mesin. Parameter yang diukur pada keenam titik tersebut sesuai dengan standar dari ASHRAE-55, yaitu suhu udara, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Setelah dilakukannya pengukuran kemudian data-data tersebut dikumpulkan dan dianalisis melalui *Software Microsoft Excel* untuk mendapatkan nilai rata-rata pada tiap titiknya.

4.5.1. Temperatur Udara

Pengukuran temperatur udara dilakukan di enam titik berbeda di dalam ruang laboratorium selama satu minggu. Waktu pengukuran menyesuaikan waktu pembelajaran mahasiswa yakni 3 waktu yang dimulai dari pukul 08:00 - 17:00 WIB.



Gambar 4. 9 Grafik Rata-Rata Pengukuran Temperatur Udara (Analisa Penulis, 2023)

Analisis data pengukuran temperatur udara pada tiga waktu yang dilaksanakan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan di berbagai titik pengukuran. Pada waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) terlihat bahwa titik 2

memiliki suhu rata-rata tertinggi mencapai 33,5 °C sementara di titik 6 memiliki suhu 26,9 °C. Suhu rata-rata keseluruhan pengukuran temperatur udara pada waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) adalah 27,9°C. Pada waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) menampilkan grafik dengan suhu tertinggi 36°C berada di titik 2. Sementara itu di titik 1 memiliki suhu terendah pada 28,3°C. Rata-rata suhu udara pengukuran waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) mengalami peningkatan mencapai 30,1°C. Adapun pada waktu sore (15:00 – 17:00 WIB) titik 2 kembali menjadi titik dengan suhu tertinggi, yakni 35,3°C. Titik 6 memiliki suhu terendah pada 28°C. Secara keseluruhan, rata-rata suhu udara waktu sore (15:00 – 17:00 WIB) menjadi 30,6°C. Temperatur udara pada titik 1 dan 2 cenderung rendah karena kedua titik ini berada di luar bangunan yang artinya titik ini tidak dekat dengan mesin, sedangkan titik 2, 3, 4 dan 5 cenderung lebih tinggi karena keempat titik ini berada di dalam bangunan yang artinya titik ini dekat dengan mesin yang memengaruhi suhu udara di sekitarnya.

4.5.2. Kelembapan Udara

Pengukuran kelembapan udara dilakukan di enam titik berbeda di dalam ruang laboratorium selama satu minggu. Waktu pengukuran menyesuaikan waktu pembelajaran mahasiswa yakni 3 waktu yang dimulai dari pukul 08:00 - 17:00 WIB.



Gambar 4. 10 Grafik Rata-Rata Pengukuran Kelembapan Udara (Analisa Penulis, 2023)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Donny Koerniawan et al., (2020), tentang kenyamanan termal pekerja iklim tropis-lembap Indonesia yang dilakukan di Universitas Pendidikan Indonesia, didapati bahwa antara suhu dan kelembapan udara memiliki pola yang berbanding terbalik atau bertolak belakang satu sama lain, dimana tingkat kelembapan udara akan menurun jika temperatur udara meningkat, dan sebaliknya. Peneliti menemukan hal yang sama dan sesuai pada hasil pengukuran. Pada waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) rata-rata kelembapan tertinggi ada pada titik 1 yang mencapai 60,9% dan rata-rata kelembapan terendah pada titik 3 yang hanya mencapai 47,1%, rata-rata keseluruhan waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) sebesar 54,3% dengan temperatur udara 27,9°C. Adapun pada waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) rata-rata kelembapan tertinggi ada pada titik 1 yang mencapai 53,3% dan rata-rata kelembapan terendah pada titik 2 yang hanya mencapai 46%, rata-rata keseluruhan waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) adalah sebesar 50,3% dengan temperatur udara 30,1°C. Lalu pada waktu sore (15:00 – 17:00 WIB) rata-rata kelembapan tertinggi ada pada titik 1 yang mencapai 59% dan rata-rata kelembapan terendah pada titik 2 yang hanya mencapai 46,2%, dimana rata-rata keseluruhan waktu sore (15:00 – 17:00 WIB) sebesar 55,4% dengan temperatur udara 30,6°C.

4.5.3. Kecepatan Angin

Pengukuran kecepatan angin udara dilakukan di enam titik berbeda di dalam ruang laboratorium selama satu minggu. Waktu pengukuran menyesuaikan waktu pembelajaran mahasiswa yakni 3 waktu yang dimulai dari pukul 08:00 - 17:00 WIB.



Gambar 4. 11 Grafik Rata-Rata Pengukuran Kecepatan Angin (Analisa Penulis, 2023)

Menurut temuan dari hasil pengukuran kecepatan angin yang telah dilakukan, titik pengukuran 2, 3, 4 dan 5 memiliki rata-rata keseluruhan sebesar 0 m/s, sementara itu pada titik 1 kecepatan angin secara keseluruhan memiliki rata-rata mencapai 1,2 m/s dan pada titik 6 memiliki rata-rata 1,6 m/s. Pada ruangan yang berada di dalam gedung tidak adanya angin yang berhembus sehingga tidak adanya pertukaran udara. Saat pengukuran, peneliti merasakan sedikit hembusan angin pada titik 2, 3, 4 dan 5, namun alat ukur yang digunakan tidak dapat mendeteksi hembusan angin dikarenakan intensitas kecepatannya yang rendah.

Berdasarkan grafik perbandingan diatas terlihat bahwa suhu, kelembapan dan kecepatan angin pada tiap waktu memiliki nilai yang berbeda-beda. Pada titik 1 (teras kanan) di waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) memiliki suhu 27°C dengan kelembapan 60,9% dan kecepatan angin 1,2 m/s. Memasuki waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) suhu udara mulai meningkat 28,3°C dan kelembapan menurun 53,3%. Sore hari (15:00 – 17:00 WIB) suhu semakin meningkat 29,4 °C dengan kelembapan 59% dan kecepatan angin yang mulai naik hingga 1,5 m/s.

Pada titik 2 (Laboratorium Konstruksi) di waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) memiliki suhu 33,5 °C dengan kelembapan 51% dan kecepatan angin 0 m/s. Memasuki waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) suhu udara mulai meningkat 36°C dan

kelembapan menurun 46%. Sore hari (15:00 – 17:00 WIB) suhu 35,3°C dengan kelembapan 46,2% dan kecepatan angin yang tetap pada 0 m/s.

Pada titik 3 (Laboratorium Manufaktur) di waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) memiliki suhu 31 °C dengan kelembapan 47,1% dan kecepatan angin 0 m/s. Memasuki waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) suhu udara mulai meningkat 33,6°C dan kelembapan juga ikut meningkat 50,3%. Sore hari (15:00 – 17:00 WIB) suhu 33,7°C dengan kelembapan 56,4% dan kecepatan angin yang tetap pada 0 m/s.

Pada titik 4 (Laboratorium Rekayasa Bahan) di waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) memiliki suhu 30,7 °C dengan kelembapan 50,4% dan kecepatan angin 0 m/s. Memasuki waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) suhu udara mulai meningkat 33,5°C dan kelembapan menurun 49%. Sore hari (15:00 – 17:00 WIB) suhu 33,4°C dengan kelembapan 56,9% dan kecepatan angin yang tetap pada 0 m/s.

Pada titik 5 (Laboratorium Konversi Energi) di waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) memiliki suhu 29,7 °C dengan kelembapan 48,8% dan kecepatan angin 0 m/s. Memasuki waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) suhu udara mulai meningkat 31,3°C dan kelembapan 50,9%. Sore hari (15:00 – 17:00 WIB) suhu 30,8°C dengan kelembapan 56,1% dan kecepatan angin yang tetap pada 0 m/s.

Pada titik 6 (teras kiri) di waktu pagi (08:00 – 10:00 WIB) memiliki suhu 26,9°C dengan kelembapan 60,7% dan kecepatan angin 1,4 m/s. Memasuki waktu siang (12:00 – 14:00 WIB) suhu udara mulai meningkat 29,4°C dan kelembapan menurun 52,7%. Sore hari (15:00 – 17:00 WIB) suhu semakin menurun 28 °C dengan kelembapan 58% dan kecepatan angin yang mulai naik hingga 1,8 m/s.

4.5.4. Nilai Insulasi Pakaian

Insulasi pakaian yang dikenakan para pengguna laboratorium diperoleh melalui pengamatan langsung di dalam laboratorium.

Tabel 4. 4 Nilai Insulasi Pakaian (Analisa Penulis, 2023)

No	Jenis Pakaian	Clo	Sumber
1	Pakaian dalam	0,04	SNI 03-6572-2001
2	Baju kemeja lengan panjang	0,25	
3	Celana Panjang tebal	0,24	
4	Kaos kaki	0,03	
5	Sepatu	0,02	
Jumlah nilai clo setiap jenis pakaian		0,52	
Total Nilai Clo + $(0,727 \times (0,52) + 0,113)$		0,49	

4.5.5. Nilai MET

Nilai metabolisme didapat melalui observasi secara langsung dengan mengamati aktivitas para pengguna laboratorium.

Tabel 4. 5 Nilai Metabolisme (Analisa Penulis, 2023)

No	Aktivitas	MET	Sumber
1	Mengangkat	2,1	ASHRAE 55-2017
2	Pekerjaan Mesin (Berat)	4,0	

4.6. Analisis Nilai PMV

Untuk menentukan suatu ruangan dapat dikatakan nyaman atau tidak, dapat dilakukan pengujian dan menggunakan *software CBE Thermal Comfort Tool* dengan cara memasukkan nilai temperatur, kelembapan dan kecepatan angin yang telah diukur selama penelitian serta memasukan nilai-nilai *metabolic rate* dan *clo value* yang berasal dari hasil pengamatan dan wawancara.

Berdasarkan standar ASHRAE-55 (2017, nilai PMV yang nyaman berada pada kisaran -0,5 sampai +5 dan nilai PPD tidak lebih dari 10%. Suatu ruangan akan dikatakan nyaman apabila nilai PMV dan PPD nya berada pada rentang angka tersebut.

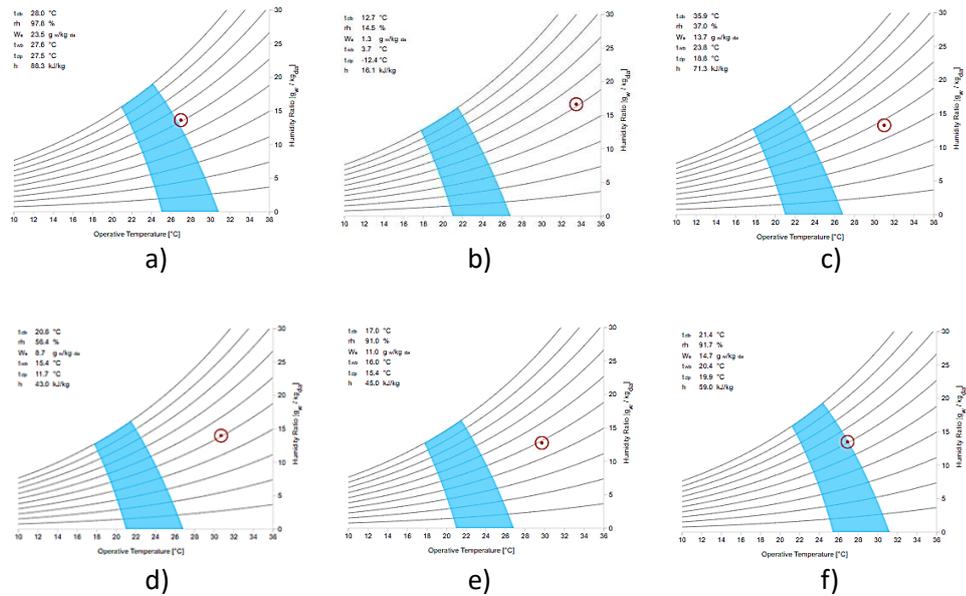
4.6.1. Pengukuran Pagi Hari

Berdasarkan data pengukuran dan pengamatan yang telah dilakukan di pada tiap- tiap ruang laboratorium, didapatkan rata-rata dari masing-masing variabel yang nantinya akan dikalkulasi menggunakan *CBE Thermal Comfort Tool*. Adapun rata-rata data pada pengukuran pagi hari pukul 08.00 – 10.00 WIB sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Rata-Rata Parameter Kenyamanan Termal Pada Pagi Hari
(Data Penulis, 2023)

Titik	Temperatur Udara	Kelembapan Udara	Kecepatan Angin	Insulasi Pakaian	Nilai MET
1	27	60,9	1,2	0,49	4 dan 2,1
2	33,5	51	0		
3	31	47,1	0		
4	30,7	50,4	0		
5	29,7	48,8	0		
6	26,9	60,7	1,4		

Hasil dari simulasi *CBE Thermal Comfort Tool* pada pengukuran pagi hari pukul 08.00 – 10.00 WIB, menunjukkan bahwa kondisi termal pada titik pengukuran di dalam gedung laboratorium berada di luar zona nyaman berdasarkan standar ASHRAE-55, akan tetapi pada titik diluar bangunan dapat dikatakan nyaman dikarenakan adanya kecepatan angin yang berhembus.



(a) Simulasi Titik 1 (b) Simulasi Titik 2 (c) Simulasi Titik 3 (d) Simulasi Titik 4
(e) Simulasi Titik 5 (f) Simulasi Titik 6

Gambar 4. 12 Simulasi *CBE Thermal Comfort Tool* Pagi (08.00-10.00 WIB) (Penulis, 2023)

Hasil pengukuran kenyamanan termal pada pagi hari (08.00-10.00 WIB) di Gedung Laboratorium Teknik Mesin dengan nilai PMV (*Predicted Mean Vote*) dapat disimpulkan sebagai berikut

Tabel 4. 7 PMV dan PPD pada Pagi (08.00-10.00 WIB)
(Analisa Penulis, 2023)

Titik Pengukuran	Sensasi Termal	Nilai PMV
Titik 1	<i>Slightly warm</i>	0,57
Titik 2	<i>Hot</i>	2,85
Titik 3	<i>Warm</i>	1,78
Titik 4	<i>Warm</i>	1,80
Titik 5	<i>Warm</i>	1,82
Titik 6	<i>Neutral</i>	0,47
Rata-rata		1,54

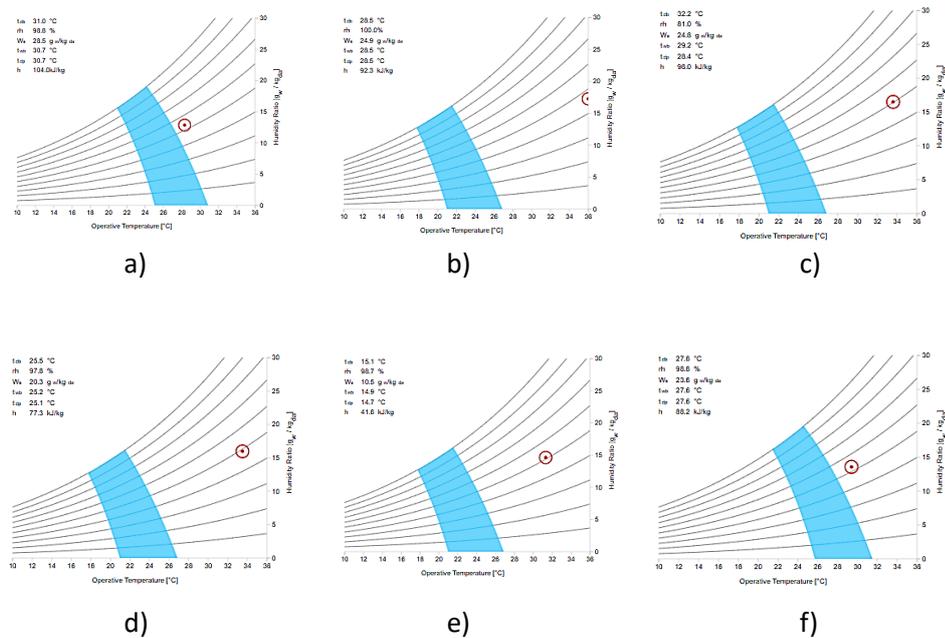
4.6.2. Pengukuran Siang Hari

Berdasarkan data pengukuran dan pengamatan yang telah dilakukan di pada tiap- tiap ruang laboratorium, didapatkan rata-rata dari masing-masing variabel yang nantinya akan dikalkulasi menggunakan *CBE Thermal Comfort Tool*. Adapun rata-rata data pada pengukuran siang hari pukul 12.00 – 14.00 WIB sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Rata-Rata Parameter Kenyamanan Termal Pada Siang Hari
(Data Penulis, 2023)

Titik	Temperatur Udara	Kelembapan Udara	Kecepatan Angin	Insulasi Pakaian	Nilai MET
1	28,3	53,3	1,2	0,49	4 dan 2,1
2	36	46	0		
3	33,6	50,3	0		
4	33,5	49	0		
5	31,3	50,9	0		
6	29,4	52,7	1,6		

Hasil dari simulasi *CBE Thermal Comfort Tool* pada pengukuran siang hari pukul 12.00 – 14.00 WIB, menunjukkan bahwa kondisi termal pada tiap-tiap ruang Laboratorium dari keseluruhan titik pengukuran berda di luar zona nyaman standar ASHRAE-55.



(a) Simulasi Titik 1 (b) Simulasi Titik 2 (c) Simulasi Titik 3 (d) Simulasi Titik 4
(e) Simulasi Titik 5 (f) Simulasi Titik 6

Gambar 4. 13 Simulasi CBE Thermal Comfort Tool siang (12.00-14.00 WIB)
(Penulis, 2023)

Hasil pengukuran kenyamanan termal pada siang hari (12.00-14.00 WIB) di Gedung Laboratorium Teknik Mesin dengan nilai PMV (*Predicted Mean Vote*) dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 4. 9 PMV dan PPD pada Siang (12.00-14.00 WIB)
(Analisa Penulis, 2023)

Titik Pengukuran	Sensasi Termal	Nilai PMV
Titik 1	<i>Slightly warm</i>	0,78
Titik 2	<i>Hot</i>	3,41
Titik 3	<i>Hot</i>	2,86
Titik 4	<i>Hot</i>	2,79
Titik 5	<i>Warm</i>	2,22
Titik 6	<i>Slightly warm</i>	0,92
Rata-rata		2,16

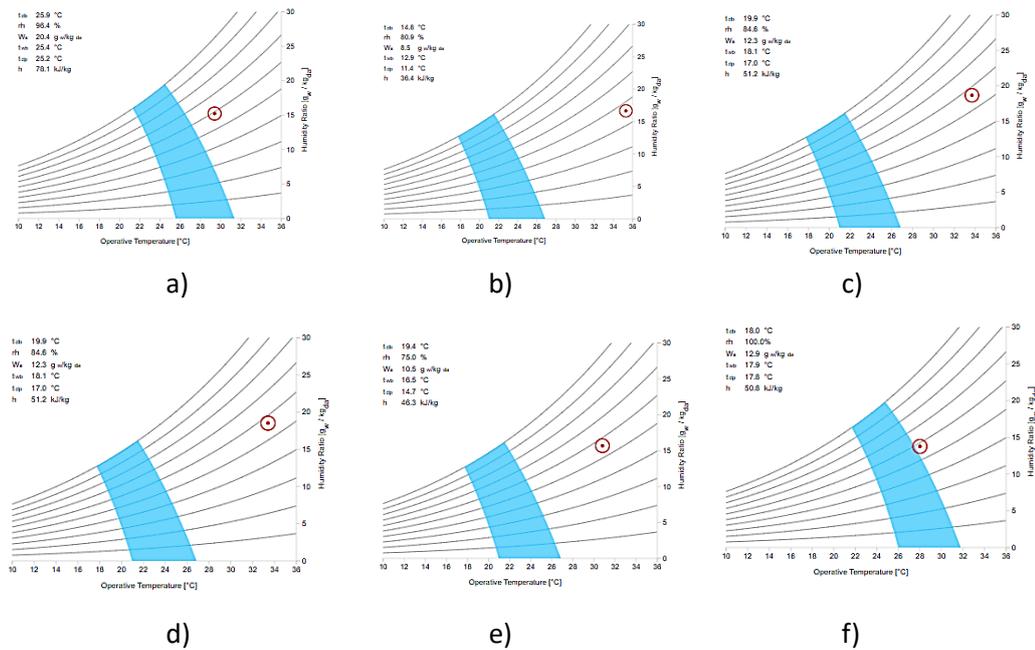
4.6.3. Pengukuran Sore Hari

Berdasarkan data pengukuran dan pengamatan yang telah dilakukan di pada tiap- tiap ruang laboratorium, didapatkan rata-rata dari masing-masing variabel yang nantinya akan dikalkulasi menggunakan *CBE Thermal Comfort Tool*. Adapun rata-rata data pada pengukuran sore hari pukul 15.00 – 17.00 WIB sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Rata-Rata Parameter Kenyamanan Termal Pada Sore Hari
(Data Penulis, 2023)

Titik	Temperatur Udara	Kelembapan Udara	Kecepatan Angin	Insulasi Pakaian	Nilai MET
1	29,4	59	1,2	0,49	4 dan 2,1
2	35,3	46,2	0		
3	33,7	56,4	0		
4	33,4	56,9	0		
5	30,8	56,1	0		
6	28	58	1,8		

Hasil dari simulasi *CBE Thermal Comfort Tool* pada pengukuran sore hari pukul 12.00 – 14.00 WIB, menunjukkan bahwa kondisi termal pada tiap-tiap ruang Llaboratorium dari keseluruhan titik pengukuran berda di luar zona nyaman standar ASHRAE-55.



(a) Simulasi Titik 1 (b) Simulasi Titik 2 (c) Simulasi Titik 3 (d) Simulasi Titik 4
(e) Simulasi Titik 5 (f) Simulasi Titik 6

Gambar 4. 14 Simulasi *CBE Thermal Comfort Tool* Sore (15.00-17.00 WIB)
(Penulis, 2023)

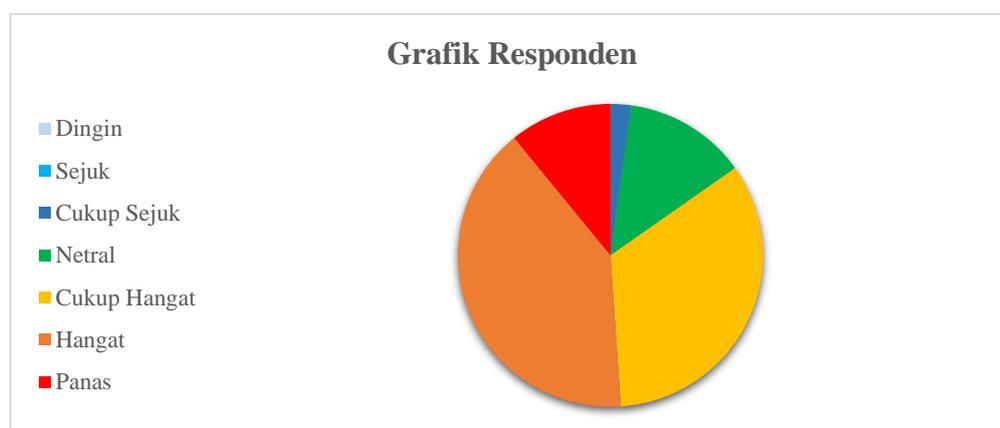
Hasil pengukuran kenyamanan termal pada sore hari (15.00-17.00 WIB) di Gedung Laboratorium Teknik Mesin dengan nilai PMV (*Predicted Mean Vote*) dapat disimpulkan sebagai berikut:

Tabel 4. 11 PMV dan PPD pada Sore (15.00-17.00 WIB)
(Analisa Penulis, 2023)

Titik Pengukuran	Sensasi Termal	Nilai PMV
Titik 1	<i>Slightly warm</i>	1,10
Titik 2	<i>Hot</i>	3,21
Titik 3	<i>Hot</i>	3,08
Titik 4	<i>Hot</i>	3,00
Titik 5	<i>Warm</i>	2,22
Titik 6	<i>Slightly warm</i>	0,60
Rata-rata		2,20

4.7. Analisis Survei Kenyamanan Termal dan PPD

Pada Sugini (2004) menjelaskan tentang individu yang telah lama tinggal di daerah cenderung panas memiliki tingkat toleransi yang lebih baik terhadap suhu yang dingin begitu pun sebaliknya. Penjelasan ini mengindikasikan bahwasannya kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh tiap individu untuk beradaptasi terhadap aktivitas di lingkungan sekitar. Maka dari itu penelitian ini berupaya memahami tingkat kenyamanan termal pada laboratorium di Teknik mesin dengan menggunakan pendekatan wawancara langsung bagi pengguna laboratorium tersebut.



Gambar 4. 15 Grafik Presentasi Tingkat Kenyamanan Laboratorium Berdasarkan Wawancara (Analisa Penulis, 2023)

Berdasarkan hasil penelitian wawancara mengenai tingkat kenyamanan termal pada laboratorium mengindikasikan bahwasannya kondisi laboratorium termasuk pada kategori panas. Pada titik di luar bangunan responden menganggap bahwasannya sensasi termal berdasarkan indeks kenyamanan PMV masih dapat dikatakan nyaman dikarenakan pada luar bangunan terdapat angin yang menetralsir kondisi tubuh saat mengalami radiasi metabolisme. Tetapi pada ruangan dalam bangunan laboratorium responden menganggap bahwasannya sensasi termal pada tiap-tiap ruang laboratorium tidak dapat dikatakan nyaman dikarenakan tidak adanya angin yang berhembus kedalam bangunan. Selain itu menurut responden, laboratorium akan terasa lebih sejuk apabila terjadinya hujan

yang dapat memberikan suhu pada bangunan dalam lebih nyaman, hal ini terjadi karena suhu luar bangunan yang turun akan mempengaruhi suhu dalam bangunan.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Parameter Nilai PPD (Analisa Penulis, 2023)

Waktu Pengukuran	Persepsi Responden	PPD Titik Pengukuran (%)						Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	
08:00-10:00 WIB	Tidak Nyaman	12	98	66	67	68	10	53,5
12:00-14:00 WIB	Tidak Nyaman	18	100	98	98	55	23	65,3
15:00-17:00 WIB	Tidak Nyaman	30	100	99	99	86	12	71

Pada Standar ASHRAE 55-2017 kenyamanan termal pada nilai PMV berada pada nilai -0,5 sampai +0,5 dan diluar nilai rentang tersebut sudah tidak dianggap nyaman. Dari hasil rekapitulasi terlihat bahwa ketiga waktu penelitian dan persepsi responden terhadap kondisi laboratorium tersebut adalah panas, dan mengindikasikan bahwasannya Laboratorium Teknik Mesin pada titik tidak nyaman. Berdasarkan data rekapitulasi PPD di atas menunjukkan bahwa pada waktu pengukuran pagi (08:00-10:00 WIB) sekitar 53,5%, pada waktu pengukuran siang (12:00-14:00 WIB) sekitar 65,3%, dan pada waktu pengukuran sore (15:00-17:00 WIB) sekitar 71%, telah menunjukkan bahwasannya di ketiga waktu pun para pengguna merasa ketidakpuasan terhadap kenyamanan termal di dalam Laboratorium Teknik Mesin.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Hasil Sensasi PMV dan PPD (Analisa Penulis, 2023)

Titik Pengukuran	Pagi (08:00 – 10:00 WIB)			Siang (12:00 – 14:00 WIB)			Sore (15:00 – 17:00 WIB)		
	Sensasi	PMV	PPD	Sensasi	PMV	PPD	Sensasi	PMV	PPD
Titik 1	<i>Slightly warm</i>	0,57	12	<i>Slightly warm</i>	0,78	18	<i>Slightly warm</i>	1,10	30
Titik 2	<i>Hot</i>	2,85	98	<i>Hot</i>	3,41	100	<i>Hot</i>	3,21	100
Titik 3	<i>Warm</i>	1,78	66	<i>Hot</i>	2,86	98	<i>Hot</i>	3,08	99
Titik 4	<i>Warm</i>	1,80	67	<i>Hot</i>	2,79	98	<i>Hot</i>	3,00	99
Titik 5	<i>Warm</i>	1,82	68	<i>Warm</i>	2,22	55	<i>Warm</i>	2,22	86
Titik 6	<i>Neutral</i>	0,47	10	<i>Slightly warm</i>	0,92	86	<i>Slightly warm</i>	0,60	12
Rata-rata	-	1,54	53,5	-	2,16	65,3	-	2.20	71

Keterangan Standard ASHRAE 55-2017

Nilai PMV = -0,5 - +0,5

Nilai PPD = 0% - 20%

Sensasi PMV = Agak Sejuk – Agak Hangat

 = Luar ruangan

 = Dalam ruangan

4.8. Kesimpulan Analisis Kenyamanan Termal Laboratorium

Berdasarkan analisis yang mengacu pada hasil kenyamanan termal menurut standar ASHRAE-55 terdapat pada tabel 4.9 terlihat bahwa hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan rata-rata *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) menunjukkan bahwa ketiga waktu pengukuran tersebut tidak memenuhi standar kenyamanan termal yang diinginkan. Nilai PMV tidak berada pada rentang -0,5 hingga +0,5, sedangkan nilai PPD pada penelitian melebihi 20%. Selain itu, parameter kenyamanan termal lainnya seperti temperatur udara melewati batas ketentuan nilai ASHRAE Standard

55-2017, akan tetapi kelembapan udara telah memenuhi ketentuan nilai ASHRAE Standard 55-2017. Meskipun kelembapan udara telah memenuhi standar, tetapi untuk parameter lainnya menunjukkan ketidaknyamanan terhadap laboratorium tersebut, bahkan melebihi standar yang telah ditetapkan.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Hasil Analisis Kenyamanan Termal Berdasarkan ASHRAE Standar 55-2017 (Analisa Penulis, 2023)

Parameter	Standar ASHRAE-55 2017	Rata-Rata					
		1	2	3	4	5	6
Temperatur Udara (°C)	23°C - 26°C	28,2	34,9	32,7	32,5	30,6	28,1
Kelembapan Udara (%)	30% - 70%	57,4	47,7	51,2	52,1	51,9	57,1
Kecepatan Angin (m/s)	> 0,2m/s	1,2	0	0	0	0	1,6
Temperatur Radiasi	23 °C - 26 °C	-					
Nilai Insulasi Pakaian (clo)	-	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Metabolisme (MET)	-	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Nilai PMV	-0,5 - +0,5	+0,81	+3,1	+2,5	+2,53	+2,08	+0,66
Skala PMV	Agak Sejuk – Agak Hangat	Sedikit Hangat	Panas	Panas	Panas	Hangat	Sedikit Hangat
PPD%	0% - 20%	20	99,3	87,6	88	69,6	36

Keterangan:

Pagi : Pukul 08:00 – 10:00 WIB

Siang : Pukul 12:00 – 14:00 WIB

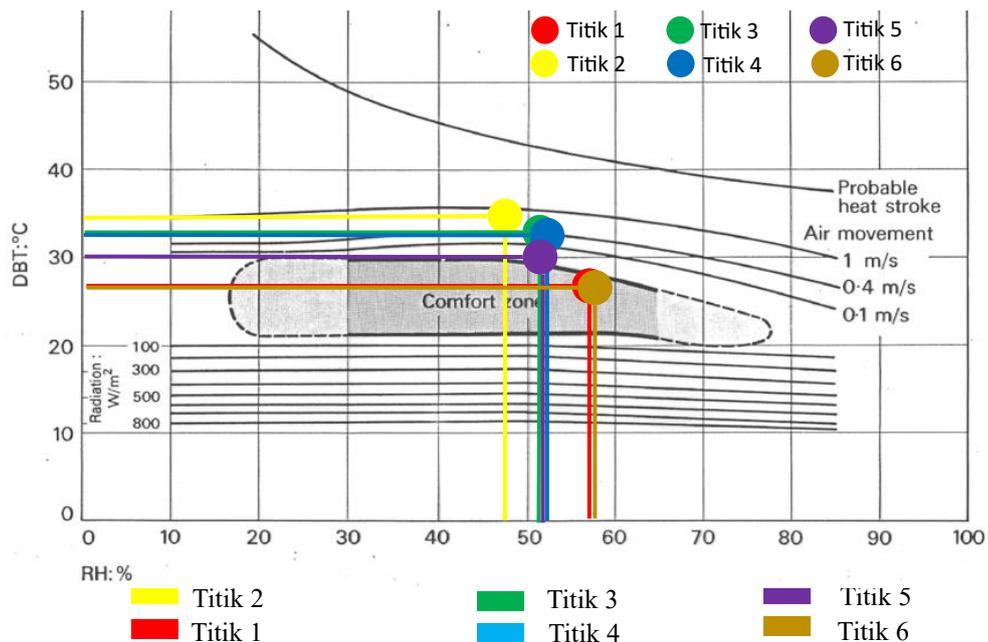
Sore : Pukul 15:00 – 17:00 WIB

 : Tidak Sesuai Standar ASHRAE-55

Hasil tabel di atas merupakan gambaran yang menunjukkan tingkat kenyamanan termal yang paling rendah ada pada waktu pagi hari dibandingkan dengan kedua sesi lainnya yang mencapai kenyamanan termal lebih tinggi. Berdasarkan hasil PMV dan PPD serta tanggapan pengguna melalui wawancara langsung dapat disimpulkan bahwa berada di dalam laboratorium tersebut menunjukkan tidaknyaman dalam hal kenyamanan termal.

4.9. Usulan Perbaikan Kenyamanan Termal

Analisis terhadap kenyamanan termal di ruang pabrik yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kondisi termal di ruang percetakan tidak memenuhi standar kenyamanan termal yang ditetapkan oleh ASHRAE. Olgyay (1963) dalam *bioclimatic chart* nya antara hubungan elemen iklim dengan kenyamanan, jika grafik menggambarkan kondisi termal berada di atas zona kenyamanan, langkah-langkah perbaikan dan korektif diperlukan untuk mengembalikan kenyamanan.



Gambar 4. 16 Grafik Zona Nyaman Titik Pengukuran 3 Waktu (Analisa Penulis, 2023)

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, dapat dilihat bahwasannya temperatur udara dan kelembapan yang dianalisis menggunakan *bioclimatic chart*,

keseluruhan titik pengukuran berada di atas zona nyaman, di mana untuk mengembalikan kenyamanan dibutuhkan angin dengan kecepatan 1 m/s. Menurut Victor Olgyay et al (1963) upaya perbaikan dapat dilakukan dengan cara alami, yaitu dengan memanfaatkan elemen-elemen iklim seperti sirkulasi udara. Namun, ada situasi tertentu di mana solusi alami tidak memungkinkan atau kurang efektif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapati bahwa tingkat kenyamanan termal pada Laboratorium Teknik Mesin dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil yang didapat setelah dilakukan pengujian terhadap *software CBE Thermal Comfort Tool* nilai yang keluar pada tiap titik pengukuran di jam pagi, siang, dan sore mendapatkan hasil yang signifikan. Pada pengukuran di pagi hari, nilai PMV sebesar 1,54 dengan sensasi termal dalam bangunan dikategorikan “*warm*” dan luar bangunan dikategorikan “*slightly warm*”. Untuk pengukuran di siang hari, nilai PMV sebesar 2,16 dengan sensasi termal dalam bangunan di kategorikan “*hot*”. Pengukuran di sore hari mendapat nilai PMV sebesar 2,20 dengan sensasi termal dalam bangunan dikategorikan “*hot*”. Selain itu, tingkat ketidakpuasan yang diukur dengan *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)* mencapai 100% yang menunjukkan para pengguna laboratorium merasa tidak nyaman jika sedang berada di dalam laboratorium serta pakaian dan kegiatan yang membuat pengguna merasa tidak nyaman secara termal. Kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa kondisi kenyamanan termal di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Malikussaleh dari persepsi dan preferensi pengguna dianggap tidak memadai, dan semua pengguna merasa ketidaknyamanan ketika berada di dalamnya.
2. Analisis terhadap kenyamanan termal di laboratorium, sesuai dengan pedoman ASHRAE Standar 55-2017, mengindikasikan bahwa ruangan tersebut tidak memenuhi persyaratan standar kenyamanan untuk aktivitas manusia. Dalam penilaian ini, perhitungan rata-rata *Predicted Mean Vote (PMV)* dan *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)* menunjukkan bahwa pengukuran di tiga waktu tidak memenuhi kriteria kenyamanan termal yang diharapkan oleh penggunanya. Nilai PMV berada di luar rentang -0,5 hingga

+0,5, sementara nilai PPD melebihi 20%. Selain itu, ketika melihat parameter-parameter kenyamanan termal seperti temperatur udara, suhu radiasi, dan kelembapan relatif, hasil pengukuran di tiga waktu menunjukkan bahwa nilai-nilai ini melebihi batas yang telah ditetapkan dalam ASHRAE Standar 55-2017. Dapat disimpulkan bahwa suhu dan kondisi termal di dalam pada setiap ruang di laboratorium sangat jauh dari kondisi yang dianggap nyaman oleh standar tersebut.

3. Kenyamanan termal di laboratorium dipengaruhi oleh beberapa faktor-faktor utama, yaitu temperatur udara, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Bukaannya pada bangunan di dalam laboratorium memiliki dampak signifikan pada udara yang masuk tidak sesuai dengan udara yang keluar, terutama dari kegiatan yang dilakukan di dalamnya dapat menimbulkan sumber panas internal seperti lampu dan mesin yang digunakan dapat udara panas menguap dengan tidak adanya pergantian udara di dalamnya.

5.2. Saran

Dari kesimpulan di atas, ada baiknya pada laboratorium tersebut menyediakan *exhaust fan* untuk mengoptimalkan solusi mekanis dengan menggunakan sistem pengkondisian udara atau penghawaan buatan untuk meningkatkan sirkulasi udara masuk dan keluar agar memberikan kenyamanan bagi para pengguna laboratorium beraktivitas melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE, S.-55. (2017). ASHRAE Standard 55-2020 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Ashrae*, 8400(55).
- ASHRAE Standard 170. (2017). Ventilation of Health Care Facilities. *Ashrae*, 8400.
- BPS, K. L. (2022). *Badan Pusat Statistik Kota Lhokseumawe*.
- BSN. (2011). SNI 6390:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Tata Udara. *Sni 6390:2011*, 1–19.
- Dekay, M. (2001). SUN, WIND & LIGHT: Architectural Design Strategies, 2nd edition. In <https://www.researchgate.net/publication/301626264> (Issue May).
- Donny Koerniawan, M., Diinal Aziiz, A., Aulia Ardiani, N., & Suhendri, S. (2020). *Kenyamanan Termal Pekerjaan di Iklim Tropis-Lembap Indonesia*. August. <https://www.researchgate.net/publication/343820680>
- Gibbs, W. J. (1987). Defining Climate. *WMO Bulletin*, 36.4.
- Idham, N. (2016). *Arsitektur dan Kenyamanan Termal*.
- Karyono, T. H. (1996). *Arsitektur, Kenyamanan Termal dan Energi*. *Jurnal Semarang Universitas Soegrijapranata*.
- Keraf, G. (2004). *Komposisi: Sebuah Pengantar Kemahiran Bahasa*. Ende-Flores: Nusa Indah. Malang, Jawa Timur.
- Lippsmeir, G. (1994). *Bangunan Tropis*. Erlangga, Jakarta.
- Majid, A. (2013). *Strategi Pembelajaran*. PT Remaja Rosdakarya. Bandung.
- Maming, M. I., Abidah, A., & Robert, J. (2020). Windows and Sunscreen for Healthy Buildings in Healthy Buildings , Case Study : Building of planning and Civil Engineering Education Department. *Proceeding of The International Conference on Science and Advanced Technology (ICSAT)*, 128–138.
- Mediastika, C. E. (2003). *Menuju Rumah Ideal Nyaman Dan Sehat*.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2006). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 29/PRT/M/2006 tentang Pedoman persyaratan teknis bangunan gedung*.
- Pemerintah Indonesia. (2005). *Peraturan Pemerintah tentang standar nasional*

- pendidikan dengan (PP no. 19 tahun 2005). *Sekretariat Negara Indonesia*, 1, 1–95.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (1980). *Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 1980 Tentang Pokok-Pokok Organisasi Universitas/Institut Negeri*.
- Putranto, N. F. (2018). Landasan teori dan program Museum Perfilman Indonesia di Jakarta. *Https://Medium.Com/*, 1–105.
<https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Santoso, E. I. (2012). Kenyamanan Termal Indoor Pada Bangunan Di Daerah Beriklim Tropis Lembab. *Indonesian Green Technology Journal*, 1(1), 13–19.
- Satwiko, P. (2009). *Fisika Bangunan.pdf*.
- SNI, 03-6572-2001. (2001). *Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung*. 1–55.
- Sugini, D. (2004). *Kenyamanan Termal Ruang (Konsep Penerapan Pada Desain)*. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Sugiyono, D. (2013). Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D. In *Penerbit Alfabeta*.
- Sumamur P.K. (1984). *Hygiene Perusahaan dan Keselamatan Kerja*. Cetakan ke 2 PT Gunung Agung Jakarta. <http://shadibakri.uniba.ac.id/wp-content/uploads/2016/03/Buku-Ergonomi.pdf>
- Suyono, P. E. P. B. (2017). Kajian Sensasi Kenyamanan Termal dan Konsumsi Energi. *MODUL*, 17(2), 17–25.
- Talarosha, B. (2005). Menciptakan Kenyamanan Termal Dalam Bangunan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 6(3), 148–158.
- Tyas, W. I., Nabilah, F., Puspita, A., & Syafitri, S. I. (2015). Orientasi Bangunan Terhadap Kenyamanan Termal Pada Rumah Susun Leuwigajah Cimahi. *Jurnal Reka Karsa*, 3(1), 1–12.
- Victor Olgyay, Aladar Olgyay, Donlyn Lyndon, Olgyay, V. W., Reynolds, J., & Yeang, K. (1963). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism - New and expanded Edition*.
- Viridianti, E., D, E. N., Yesti, C., & Desiana, R. (2014). *Kajian Penggunaan Material Terhadap Kenyamanan Termal pada Rumah Tinggal*. 2(2), 1–12.

- WMO. (1979). *World Climate Conference; 4th session; Declaration of the World Climate Conference* (p. 5).
http://www.dgvrn.de/fileadmin/user_upload/DOKUMENTE/WCC-3/Declaration_WCC1.pdf
- Yaman, E., & Pd, S. (2016). *Pengoptimalan Peran Kepala Labor dalam Menunjang Pembelajaran IPA di SMPN 7 Kubung*. 1(1), 63–71.

BIODATA MAHASISWA

1. Personal

Nama : Fahdea Helfialna
 NIM : 190160021
 Bidang : Arsitektur
 Alamat : Jl. Jati Rimbun No. 50a, Kel.
 Jatinegara, Kec. Binjai Utara, Kota
 Binjai, Sumatera Utara Indonesia,
 20741
 No. Handphone : 085275753835



2. Orang Tua

Nama Ayah : Aldi Kaputra
 Pekerjaan : Wiraswasta
 Umur : 51 tahun
 Nama Ibu : Susi Eriyanti
 Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga
 Umur : 46 tahun
 Alamat : Jl. Jati Rimbun No. 50a, Kel. Jatinegara, Kec.
 Binjai Utara, Kota Binjai, Sumatera Utara
 Indonesia, 20741

3. Pendidikan Formal

Asal SMA (Tahun) : SMAN 6 Kota Binjai (2016-2019)
 Asal SMP (Tahun) : SMPN 3 Kota Binjai (2013-2016)
 Asal SD (Tahun) : SDN 020255 Kota Binjai (2007-2013)

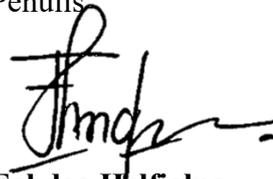
4. Software Komputer yang Dikuasai

Jenis Software : Autocad
 Tingkat penguasaan : *) Intermediate
 Jenis Software : Sketchup
 Tingkat penguasaan : *) Intermediate

Jenis Software : Revit
Tingkat penguasaan : *) Basic
Jenis Software : Rhinoceros
Tingkat penguasaan : *) Basic
Jenis Software : Lumion
Tingkat penguasaan : *) Intermediate
Jenis Software : Enscape
Tingkat penguasaan : *) Intermediate
Jenis Software : Corel Draw
Tingkat penguasaan : *) Basic
Jenis Software : Adobe Photoshop
Tingkat penguasaan : *) Intermediate
Jenis Software : Microsoft Word
Tingkat penguasaan : *) Intermediate
Jenis Software : Microsoft Power Point
Tingkat penguasaan : *) Intermediate
Jenis Software : Microsoft Excel
Tingkat penguasaan : *) Intermediate

Lhokseumawe, 20 Desember 2023

Penulis



Fahdea Helfialna

NIM. 190160021