

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tabel 2.1 adalah tabel referensi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir.

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

No	Judul Penelitian	Tujuan	Hasil
1	<i>Dataset of indoor air parameter measurements relating to indoor air quality and thermal comfort in South African primary school classrooms of various building infrastructure type</i> [8].	Melakukan evaluasi tingkat kenyamanan pada ruangan kelas pada sekolah-sekolah di Afrika dan memahami lingkungan belajar di dalam ruangan kelas	Tidak semua pada ruangan kelas atau perangkat memiliki data yang berkesinambungan. Namun penelitian, memberikan jumlah perangkat dan ruangan kelas dapat mengatasi hal ini
2.	<i>Field investigations on thermal comfort in university classrooms in New South Wales, Australia</i> [9].	Menganalisis tingkat kenyamanan termal siswa dan dilakukan secara empiris menentukan suhu yang disukai dan netral bagi mahasiswa dan mahasiswi di Universitas New South Wales (NSW)	Menunjukkan bahwa pada rata-rata kenyamanan termal yang dipilih oleh mahasiswa di Universitas New South Wales (NSW) adalah sedikit sejuk, dengan nilai 76.9% dan suhu yang nyaman pada Universitas New South Wales (NSW) adalah 23°C-25°C
3	<i>Comparison of indoor air quality and thermal comfort standards and variations in exceedance for school buildings</i> [10].	Melakukan evaluasi konsekuensi dari batasan dan pendekatan yang berbeda dan memberikan rekomendasi yang sesuai dengan standar	Bangunan Gedung Sekolah yang dilakukan penelitian sebanyak 25% kelas menghasilkan udara dingin dan sebanyak 18% menghasilkan udara panas.

4	<i>The Development of an IoT-based Indoor Air Monitoring System Towards Smart Energy Efficient Classroom</i> [11]	Untuk mengembangkan dengan sistem pemantauan suhu dan kelembapan ruang kelas berbasis <i>Internet of Things</i> yang menawarkan pengukuran yang lebih komprehensif dan lebih luas.	Kisaran suhu 24°C-33°C dan kisaran kelembapan 50%-100%. Ketika pendingin ruangan dapat menurun dengan cepat hingga 24°C ketika suhu di luar ruangan 30°C dan kelembapan 75% hingga 60% dan diluar ruangan kelembapan 90-90%.
5	Simulasi Pencahayaan Alami dan Buatan Pada Ruang Kelas Menggunakan <i>Dialux Evo 12.0</i> [12]	Memberikan sebuah pemahaman tentang pengaruh faktor dari pencahayaan alami dan buatan pada ruangan kelas dengan menggunakan aplikasi <i>Dialux Evo12.0</i>	Hasil penelitian adalah pada titik A & B memiliki nilai 750-2000 lux pada pukul 16.00 titik A mengalami penurunan hingga 500-1000 lux. Karena, area cahaya mengecil.
6	Kaji Eksperimental Kenyamanan Termal dan Visual Pada Ruang Kelas di Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung [13].	Mendapatkan nilai parameter yang akan menjadi nyaman visual dan termal.	Kenyamanan termal tidak sesuai dengan SNI 6572-2001 dan kenyamanan visual mengalami penurunan tetapi nilainya diatas SNI 6197-2020.
7	<i>The Assessment of Indoor Thermal Comfort of University Classrooms in Hot and Humid Area</i> [14].	Menilai kondisi udara dalam ruangan kelas di Universitas Multimedia Nusantara dan mengumpulkan tingkat kepuasan penghuni terhadap kondisi udara dalam ruangan.	Ruang ber-AC memiliki nilai 26°C dan tidak ber-AC memiliki nilai 29 °C, serta nilai kelembapan ruangan ber-AC 55% dan tidak ber-AC 70%.
8	Studi Kualitas Udara Dalam Ruang (Indoor Air Quality) ada Ruang Kelas Sekolah Bangunan Cagar Budaya di Surabaya [15].	Mengetahui tingkat sekolah dalam uji kualitas udara di dalam ruang dan untuk mengetahui jenis penghawaan yang sebaiknya digunakan oleh bangunan.	SMKN 2 memiliki faktor fisik yang lebih dari Nilai Ambang Batas (NAB) dan faktor kimia dan mikrobiologi berada dibawah Nilai Ambang Batas (NAB), serta dibutuhkan penghawaan buatan yang lebih.

9	<i>IEQ assessment of classrooms with an optimized demand controlled ventilation system</i> [16].	Memperbaiki dan memelihara cara mengoperasikan sistem HVAC pada ruangan kelas dengan sistem ventilasi yang berbeda jenis.	Penghuni ruangan lebih suka dengan kualitas udara di dalam ruangan setelah melakukan renovasi.
10	Kualitas Udara Dalam Ruangan Sekolah (Pm2.5, Pm10, CO ₂ , dan Hcho) Dan Risiko Kesehatan Pada Siswa Di Kota Serang [17].	Memberikan gambaran kualitas udara di lingkungan sekolah dan menilai risiko pada kesehatan siswa.	Kualitas udara seluruh SD belum memenuhi standar nilai yang ditetapkan dan di perkirakan dampak kesehatan pada siswa sehingga diperlukan pengendalian risiko kesehatan
11	Analisis kebisingan pada ruang kuliah dan lingkungan kampus Universitas Negeri Semarang [18].	Membuktikan bahwa kebisingan dapat berpengaruh terhadap kegiatan belajar mengajar.	Rata-rata tingkat kebisingan di fakultas Universitas Negeri Semarang yang tertinggi hanya sebesar 50,2 dB.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kenyamanan Termal

Kenyamanan Termal adalah salah satu faktor yang harus dipenuhi agar bangunan dianggap nyaman secara fungsional. Kenyamanan termal sendiri dapat disebut dengan keadaan pikiran menyampaikan tingkat ekspresi seseorang dengan lingkungan termal. Kenyamanan termal dipengaruhi oleh jumlah penghuni di dalam suatu ruangan dan kemampuan bangunan sendiri dapat menampung aktivitas manusia yang di pengaruhi kinerja termalnya. Kenyamanan termal memiliki dampak kenyamanan klimatologis yang dapat meliputi aspek fisiologis manusia, psikologis manusia, dan perilaku manusia. Sudut pandang manusia yang mengharuskan seseorang membuat penilaian terhadap sesuatu yang berarti bagi mereka [19].

Standar Nasional Indonesia (SNI) kenyamanan termal adalah panduan atau pedoman yang dapat memberikan definisi dimana kondisi optimal kenyamanan termal yang berada didalam ruangan dan bangunan. Faktor-

faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal telah dinyatakan sesuai dengan SNI. Dalam proyek tugas akhir SNI digunakan sebagai panduan untuk menghubungkan faktor-faktor yang menentukan hasil yang telah dicapai sudah sesuai dengan standar atau belum [20].

SNI 6390-2020 Konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung, yang memberikan standar suhu, kelembapan, dan pergerakan udara di dalam bangunan dan ruangan. Pedoman SNI dapat menjadi pedoman dengan memperhatikan beberapa faktor seperti rata-rata suhu di luar maupun di dalam ruangan, kelembapan diluar maupun didalam ruangan, dan kualitas udara lingkungan [20]. Nilai-nilai pada tabel SNI 6390-2020 ditunjukkan dibawah ini:

Tabel 2. 2 Suhu dan Kelembapan Relatif SNI 6390-2020[20]

Kategori	<i>Temperature Efektif (TE)</i>	Kelembapan (RH)
Sejuk Nyaman	20,5°C-22,8°C	50%
Ambang Atas	24°C	80%
Sejuk Optimum	22,8°C-25,8°C	70%
Ambang Atas	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C-27,1°C	60%
Ambang Atas	31°C	

Temperature Efektif pada standar ini merupakan pertimbangan efek gabungan dari suhu udara, kelembapan relatif, dan kecepatan udara pada tubuh manusia. Kelembapan udara relatif dalam suatu ruangan adalah perbandingan antara jumlah kandungan uap air kandungan uap air yang terdapat di udara dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air dalam keadaan jenuh pada suhu udara ruangan. Kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal, pertumbuhan jamur dan bakteri, kerusakan material, serta masalah kesehatan seperti alergi dan infeksi saluran pernapasan. Sebaliknya, kelembapan yang rendah dapat menyebabkan kulit kering, iritasi saluran pernapasan, peningkatan risiko

penyakit, dan kerusakan material seperti kayu dan kertas. Standar kelembapan relatif adalah 40-50%. Namun, ruangan dengan jumlah penghuni yang padat seperti ruang kelas diperbolehkan mencapai 55% - 60% [20]

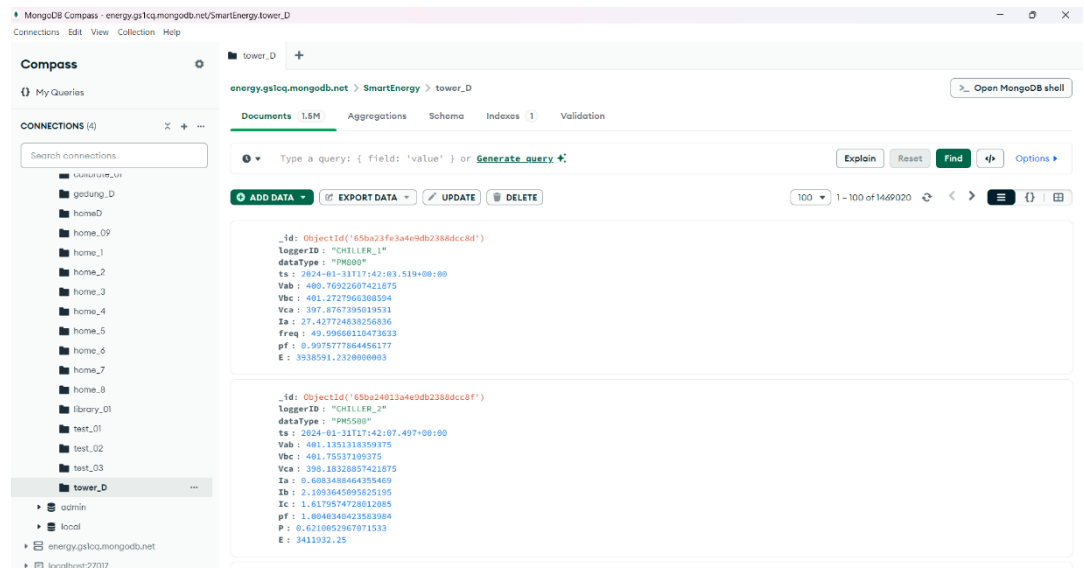
Standar ASHRAE 55 (*American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineers*) menyebutkan bahwa dalam menciptakan kondisi lingkungan yang nyaman, penting untuk mempertimbangkan pemikiran dan kepuasan manusia. Penilaian terhadap kenyamanan termal merupakan suatu proses yang berfokus pada penyesuaian kondisi lingkungan agar sesuai dengan kebutuhan kenyamanan individu. Proses ini dapat memberikan berbagai manfaat yang signifikan bagi pengguna [21].

2.2.2 MongoDB

Dalam era digital sekarang perangkat seluler telah menjadi salah satu bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam hal informasi dan komunikasi [22]. Pengerjaan proyek tugas akhir ini berfokus kepada pengukuran *Indoor Environmental Quality* (IEQ) yang dimana data-datanya diambil secara berkala. Data-data yang perlu disimpan berupa data suhu, kelembapan, dan CO₂ sehingga membutuhkan sistem *database* dalam sistem informasi *Indoor Environmental Quality* (IEQ) salah satu *database* yang dapat membantu adalah *MongoDB*. *MongoDB* adalah sistem basis data *NoSQL* yang paling populer dan banyak digunakan pada aplikasi *Mobile* dan *Website*. Basis data relasional tradisional *MySQL* yang menyimpan tabel terstruktur. *MongoDB* menggunakan format dokumen *JSON* (*JavaScript Object Notation*) yang fleksibel untuk menyimpan data. Keunggulan *MongoDB* terletak pada fleksibilitasnya. Penggunaan *MongoDB* dalam aplikasi ini sangat relevan karena *MongoDB* adalah *database NoSQL* yang sangat cocok untuk mengelola data yang cenderung berubah [23].

Dalam proyek tugas akhir peneliti menggunakan aplikasi *MongoDB* untuk menyimpan data logger yang berada di ruang kelas kelas gedung D, lantai 15, Universitas Multimedia Nusantara. Data logger secara otomatis

memperbaharui dan menyimpan data dari sensor setiap 5 menit dan semua data tersimpan secara otomatis dalam “*Collection Tower D*”. Pada Gambar 2.1 merupakan gambar tampilan dan tempat penyimpanan data pada aplikasi *MongoDB* proyek tugas akhir



Gambar 2. 1 tampilan dan tempat penyimpanan data pada aplikasi MongoDB

2.2.3 Kenyamanan Akustik

Kenyamanan Akustik adalah kenyamanan yang sangat berpengaruh bagi pendengaran manusia yang tinggal berada di lingkungan pemukiman yang berdekatan pembangunan proyek, mesin-mesin, peralatan yang digunakan dalam pembangunan gedung. Bising yang keras memiliki nilai (diatas 85 dB) dapat mengganggu pendengaran manusia. Faktor-faktor yang dapat menggagang pendengaran manusia akibat suara bising terlalu besar dapat menggung pendengaran maupun non pendengaran. Meskipun gangguan pendengaran terutama dengan ditandai dengan gangguan sensorik seperti peningkatan ambang batas dan distorsi sinyal pendengaran, ada juga banyak faktor kognitif yang mempengaruhi individu kemampuan untuk memahami pembicaraan. Suara gema salah satu contoh dari kebisingan yang mengakibatkan kurang memahi pembicaraan satu sama lain dan kuping menjadi sakit [24].

proyek tugas akhir dilakukan dengan cara pengukuran langsung yang memenuhi pedoman standar yang telah dibuatkan sebagai petunjuk yang membantu dalam pengukur sesuai dengan kenyamanan akustik pada ruangan kelas. Pedoman standar yang digunakan adalah SNI 03-6386-2000 Spesifikasi Tingkat Bunyi dan Waktu Dengung Dalam Bangunan Gedung dan Perumahan. Seperti pada Tabel 2.3. Untuk di Indonesia sendiri ditetapkan dan sudah di atur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6386-2000 Spesifikasi Tingkat Bunyi dan Waktu Dengung Dalam Bangunan Gedung dan Perumahan.



Tabel 2. 3 Spesifikasi Tingkat bunyi dan waktu dengung dalam bangunan gedung dan perumahan (Kriteria desain yang direkomendasikan) Menurut SNI 03-6386-2000 [25]

Jenis Hunian	Tingkat Bunyi Yang Dianjurkan		Waktu Dengung (T) Yang Dianjurkan
	Baik [dBA]	Maksimum [dBA]	[detik]
1	2	3	4
1. Bangunan Pendidikan			
Studio seni dan kerajinan	40	45	Kurva 1
Ruang sidang s/d 250 kursi	30	35	0,6-0,8
Ruang sidang diatas 250 kursi	25	30	0,6-0,8
Ruang audio visual	40	45	0,6-0,8
Kantin dan pertokoan	40	50	
- Ruang kelas			0,6-0,7
- Ruang kelas tersendiri	35	40	0,5-0,6
Ruang kelas terbuka	40	45	
Ruang komputer			0,4-0,6
- Kelas	40	50	0,4-0,6
- Praktek	45	55	0,6-0,7
Ruang sidang	30	35	-
Kooridor dan lobi	45	50	Kurva 1
Studio drama	30	35	-
Ruang foto kopi/gudang	45	50	-
Bengkel mesin	45	55	Kurva 1
Gedung olahraga	45	55	-
Ruang konsultasi/wawancara	40	45	
labolatorium			0,5-0,7
- Kelas	35	40	0,6-0,8
- Kerja	40	50	Kurva 1
Ruang kelas s/d 50 kursi	30	35	Kurva 1
Ruang kelas besar			
- s/d 250 kursi	30	35	Kurva 1
- lebih dari 250 kursi	25	30	Kurva 1
Perpustakaan			
- Ruang baca	40	50	-
- Ruang buku	45	50	
Bengkel seni	40	45	

SNI 03-6386-2000-Spesifikasi Tingkat Bunyi dan Waktu Dengung dalam Bangunan Gedung dan Perumahan yang digunakan sebagai pedoman untuk melakukan proyek tugas akhir kenyamanan akustik pada ruangan kelas. Dalam SNI 03-6386-2000 tentang spesifikasi tingkat bunyi dan waktu dengung dalam bangunan gedung dan perumahan, “tingkat

bunyi yang di anjurkan” merujuk pada tingkat bunyi yang diterima ruang dari lingkungan sekaligus tingkat bunyi yang dihasilkan di dalam ruang. Dengan demikian, standar ini mencakup pengelolaan tingkat bunyi baik sumber eksternal maupun internal untuk mencapai lingkungan akustik yang nyaman dan sesuai dengan fungsi bangunan. Tingkat kenyamanan akustik pada ruangan kelas memiliki nilai adalah 35 dBA – 40 dBA [25].

2.2.4 Kenyamanan Visual

Kenyamanan Visual yang berkualitas adalah ruangan yang telah memenuhi tingkat Standar Nasional Indonesia, hal ini dapat berpengaruh dalam tingkat pencahayaan/iluminasi, warna cahaya, dan kesilauan [26]. Kenyamanan visual adalah rasa nyaman dari indra penglihatan seseorang terhadap pencahayaan ruangan yang berkualitas. Ruangan kelas adalah ruangan yang digunakan untuk kegiatan proses pembelajaran dan pengajaran wajib memberikan tingkat pencahayaan berkualitas bagi penghuni ruangan. Peningkatan pencahayaan berdampak bagi peningkatan penggunaan daya listrik, untuk itu dapat diperlakukan dengan adanya usaha dalam penghematan energi. Permasalahannya bagaimana dalam melakukan peningkatan pencahayaan dan penghematan energi. [27]

Pencahayaan yang kurang baik dapat membuat indra penglihatan menjadi tidak nyaman, sulit melihat, mata menjadi cepat lelah. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya kelelahan mental dan kerusakan mata. *Dialux* adalah *software* terbuka dan gratis yang dapat digunakan untuk melakukan perancangan atau perencanaan pada suatu pencahayaan dalam sebuah ruangan maupun luar ruangan. *Software Dialux* sendiri dapat memudahkan dalam perhitungan pencahayaan internal dan eksternal secara bersamaan dan dapat memudahkan pembuatan skenario pencahayaan serta simulasi cahaya secara alami, serta adanya laporan lengkap terkait hasil simulasi [28].

proyek tugas akhir yang dilakukan dengan cara pengukuran langsung harus memenuhi pedoman standar yang telah dibuatkan sebagai petunjuk gambaran yang membantu pengukuran yang sesuai dengan kenyamanan visual pada ruangan kelas. Salah satu pedoman standar yang dipakai adalah SNI 6197-2020-Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan [6].

Tabel 2. 4 Standar Tingkat Pencahayaan Khususnya Lembaga Pendidikan Menurut SNI 6197-2020-Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan [6].

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan Rata-Rata (E Rata-Rata) Minimum (Lux)	Renderasi Warna Minimum
Lembaga Pendidikan		
Ruang kelas	350	80
Ruang baca perpustakaan	350	80
Labolatorium	500	90
Ruang praktek komputer	500	80
Ruang labolatorium bahas	300	80
Ruang guru	300	80
Ruang olahraga	300	80
Ruang gambar	750	80
Ruang Auditorium (exhibition)	300	80
Lobby	100	80
Tangga	100	80
Kantin	200	80

SNI 6197-2020-Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan. Sistem pencahayaan yang digunakan sebagai pedoman untuk melakukan proyek tugas

akhir kenyamanan visual pada ruangan kelas. Tingkat kenyamanan visual pada ruangan kelas memiliki nilai adalah 350(lux) [6].

2.2.5 Audit Sistem Pencahayaan

Sistem pencahayaan alami dan buatan dalam sistem pencahayaan adalah salah satu faktor utama dalam sistem pencahayaan dalam bangunan dan ruangan. Sistem pencahayaan alami dapat dihasilkan dari alam, seperti matahari dan kunang-kunang. Sedangkan, sistem pencahayaan buatan berasal dari benda-benda yang dibuat untuk mengatasi kekurangan cahaya alami pada suatu ruangan, seperti lampu. Pencahayaan buatan sendiri berasal dari lampu yang menggunakan listrik untuk menghasilkan cahaya, tetapi lampu tersebut menghasilkan panas. Sehingga mengurangi efisiensi dari sistem pencahayaan [29].

Audit sistem pencahayaan adalah suatu sistem tata cahaya dan salah satu sistem yang sangat penting dalam suatu bangunan dan ruangan, proses ini berpengaruh dalam kenyamanan pencahayaan, kualitas ruangan, dan produktivitas dalam penggunaan ruangan. Audit sistem pencahayaan dapat dilakukan dengan melihat beberapa aspek, yaitu: Sistem pencahayaan alami dan sistem pencahayaan buatan. Langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam sistem audit pencahayaan untuk mendapatkan hasil yang maksimal adalah: melakukan penentuan sebuah kriteria desain pencahayaan, kriteria yang dapat dilakukan adalah menentukan kualitas dan kuantitas pencahayaan yang tepat, menentukan aliran sistem pencahayaan, dan melakukan pemilihan sistem pencahayaan [30].

Tata cara sistem audit pencahayaan dapat dilakukan dengan pengukuran pada ruangan yang di targetkan. proyek tugas akhir melakukan audit pencahayaan pada ruangan kelas. Tata cara audit sistem pencahayaan dilakukan dengan cara pengukuran pada ruangan dan mengetahui jumlah kapasitas cahaya pada ruangan tersebut, lalu hasil pengukuran disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia yang telah dibuat. Letak bangunan dan pantulan cahaya pada ruangan menjadi faktor utama dalam audit

pencahayaannya pada ruangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi yang dilihat dari sistem audit pencahayaan adalah letak geografis, jenis pemakaian ruangan, pantulan cahaya pada ruangan, dan arah pada bangunan [31].

2.2.6 *Indoor Environmental Quality (IEQ)*

Indoor Environmental Quality (IEQ) merupakan suatu kondisi di dalam bangunan yang berpengaruh penting dalam kenyamanan terhadap penghuni di dalam ruangan. Parameter yang dapat digunakan sebagai evaluasi untuk menilai IEQ adalah kenyamanan termal, kualitas udara dalam bangunan, kenyamanan visual, dan kenyamanan akustik, ergonomi, radiasi, elektromagnetik dan berbagai faktor yang berhubungan [32]

Kondisi IEQ yang buruk dapat berdampak pada kesehatan, dan produktivitas penghuni ruangan. Selain itu, IEQ juga menjadi faktor kontributor terbesar dalam konsumsi energi bangunan, sehingga perlu dilakukan penilaian terhadap IEQ pada suatu ruangan. Data yang diperlukan untuk melakukan penilaian IEQ adalah data objektif berupa kondisi lingkungan dalam ruangan dan data subjektif berupa respons penghuni terhadap kondisi lingkungan dalam ruangan. Faktor-faktor yang dapat dievaluasi oleh IEQ dapat dikategorikan sebagai kenyamanan termal, kualitas udara dan ventilasi dalam ruangan (IAQ), kenyamanan visual, serta kenyamanan akustik. Kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas penghuni dalam ruangan menjadi sangat dipengaruhi oleh hal-hal tersebut di ruang dalam ruangan mana pun. Selain itu faktor yang dialami oleh penghuni ruangan, terdapat pula faktor lain seperti tata ruang bangunan, keterhubungan penghuni bangunan dengan alam dan lokasi bangunan [33].

2.2.7 *Predicted Mean Vote (PMV)*

Predicted Mean Vote adalah metode yang dipakai dalam pengukuran dengan memperhatikan hasil respon manusia dalam penggunaan gedung atau ruangan terhadap kenyamanan termal [34]. Menurut ASHRAE 55 2017 nilai PMV dibagi menjadi 6 diantaranya +3 *hot* (panas), 2 *warm* (hangat), +1 *slightly warm* (agak hangat), 0 *neutral* (netral), -1 *slightly cool*

(agak sejuk), -2 *cool* (sejuk), dan -3 *cold* (dingin) [21]. Nilai PMV pada proyek tugas akhir kali ini di dapatkan dengan mengelompokkan suasana apa yang dirasakan pada tubuh manusia pada lingkungannya, dalam hal ini terjadi pada ruangan kelas gedung D lantai 15 Pada Universitas Multimedia Nusantara.

Tujuan dari *Predicted Mean Vote* (PMV) adalah melakukan perbandingan keberadaan kenyamanan termal pada dua ruangan kelas dan memberikan solusi terhadap desain kenyamanan termal. Cara pengelolaan pada *Predicted Mean Vote* (PMV) adalah dengan cara melakukan perbandingan data pada beberapa ruangan, melakukan pengukuran langsung kepada objek praktikum, dan memberikan kuesioner kepada pengguna ruangan [35].

