



## Konsep Smart Building Pada Kenyamanan Termal di Laboratorium Teknik

**Anastasia Febiyani**

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri dan Desain

Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Email: [anastasia@ittelkom-pwt.ac.id](mailto:anastasia@ittelkom-pwt.ac.id)

### Abstract

*Engineering Laboratory is a place where students can learn the theory and then practicing of machines operate. Teaching room should be made as comfortabel as possible so can improve students. Room condition whereas there are practicum machines makes the room hotter.. Inadequate room capacity makes students uncomfortabel with the conditions of the practicum. The focus in this study is to examine the thermal comfort obtained by students, measurements of temperature and humidity. The method used to calculate the temperature index by calculating the Predicted Mean Vote Index (PMV), Predicted Dissatisfied (PPD), and Heat Stress Index (HSI). Result for This calculation is then used as a reference in the improvement analysis. The results obtained from the PMV calculation are 2.11 PPD 81.67%. This calculation used as a reference in the improvement analysis.*

Keywords: Smart building, Thermal comfort, PPD, PMV

### Abstrak

Laboratorium Teknik merupakan tempat dimana mahasiswa dapat belajar secara teori maupun praktek mengoperasikan mesin. Ruangan tempat belajar mengajar ini semestinya dibuat nyaman mungkin supaya dapat meningkatkan konsentrasi mahasiswa. Kondisi ruangan yang didalamnya terdapat mesin – mesin praktikum membuat suhu di dalam ruangan menjadi lebih panas. Kapasitas ruangan yang kurang memadai membuat mahasiswa menjadi tidak nyaman dengan kondisi tempat praktikum. Fokus dalam penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kenyamanan termal berdasarkan persepsi siswa, pengukuran suhu, dan kelembaban. Metode yang digunakan untuk mengukur kenyamanan termal adalah dengan perhitungan index *Predicted Mean Vote* (PMV), *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD), dan *Heat Stress Index* (HSI). Hasil yang diperoleh dari perhitungan PMV adalah 2,11 PPD 81,67%. Perhitungan ini yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam analisis perbaikan.

Kata kunci: Smart building, Kenyamanan termal, PPD, PMV

### 1. Pendahuluan

Kenyamanan termal merupakan sebuah keadaan pikiran yang mengekspresikan kepuasan dan kenyamanan seseorang dengan lingkungannya [1] [2]. Lebih dari 90% setiap hari seseorang akan menghabiskan waktunya di dalam ruangan. Mereka membutuhkan udara yang nyaman di ruang di mana mereka bergerak dan beraktivitas [2]. Ventilasi berperan penting dalam terciptanya sebuah ruangan yang nyaman. Penilaian terhadap kualitas ventilasi ruangan diukur dalam 6 faktor kenyamanan termal yang terdiri dari 4 faktor lingkungan dan 2 faktor manusia [3].

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia yang cepat berbanding lurus dengan konstruksi bangunan. Efisiensi energi bangunan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia memiliki peranan yang sangat penting. Bangunan di negara tropis, termasuk Indonesia umumnya menggunakan energi untuk sistem udara (45-70%), sistem lampu (10-20%), lift dan eskalator (2-7%), dan peralatan elektronik (2-10%) [4]. Penggunaan energi untuk menunjang kenyamanan termal berkisar dari 50% sampai 60%. Kualitas termal bangunan dan faktor cuaca menjadi faktor penentu dominan dalam penggunaan energi [5].

Penelitian tentang termal di Indonesia telah dilakukan di ruang kelas di salah satu Universitas di Bogor. Hasil penelitian ini diperoleh kisaran suhu yang

nyaman bagi siswa adalah antara 26°C hingga 27,2°C suhu udara [6]. Studi ini juga dilakukan pada pengkondisian ruang, kenyamanan termal ruang diperlukan dalam aktivitas pengguna ruang ini. Lebar dan arah bukaan suatu ruangan dapat mempengaruhi kondisi kenyamanan ruang. Ruang yang lebih luas dan arah bukaan yang tepat membantu kondisi kenyamanan ruang [7]. Kenyamanan termal untuk daerah tropis lembab dapat dicapai dengan batas 24°C hingga 27°C dengan kelembaban udara 50% hingga 60% [8]. Arah bangunan dan ventilasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan. Arah bangunan menghadap atau kembali ke matahari berpengaruh pada kenyamanan. Jumlah ventilasi sebagai tempat pertukaran udara juga mempengaruhi kenyamanan [9].

Manusia menilai kondisi lingkungan berdasarkan rangsangan yang masuk ke dalam diri mereka melalui enam indera. Fisik, biologis, perasaan termasuk dalam termal penilaian kenyamanan. Suara, cahaya, bau, suhu, dan stimulasi juga mempengaruhi kenyamanan termal yang bisa terjadi ditangkap sekaligus dan diproses oleh otak. Otak akan memberikan penilaian relatif apakah kondisinya nyaman atau tidak. Ketidaknyamanan dalam satu faktor dapat ditutupi oleh faktor lain [3].

Tubuh manusia memiliki mekanisme ketahanan alami yang terus bekerja menjaga keseimbangan yang diperlukan antara pembangkit panas dan pembuangan disipasi panas. Tujuan dari mekanisme adalah berkeringat dan menggigil yang bertujuan untuk mempertahankan suhu tubuh normal. Suhu tubuh manusia harus dijaga sekitar 37°C agar dapat hidup dengan baik dan nyaman. Suhu tubuh manusia yang semakin meningkat adalah pertanda bahwa yang bersangkutan menderita penyakit. Perubahan kenaikan suhu tubuh 5°C atau turun 2°C dari nilai itu dapat menyebabkan kematian. Panas suhu tubuh dapat menghasilkan penurunan kinerja dan pemikiran. Suhu panas dapat mengurangi kelincihan, memperpanjang waktu reaksi, waktu pengambilan keputusan, mengganggu ketepatan kerja otak, dan mengganggu untuk distimulasi. Bekerja pada suhu tinggi mungkin berbahaya, karenanya harus disertai dengan penyesuaian waktu kerja dan membutuhkan perlindungan yang tepat. [10] Kelembaban di atas 70% dan suhu interior di atas kisaran suhu netral akan mencegah penguapan keringat dan kemudian akan menyebabkan sensasi cuaca yang menyebabkan ketidaknyamanan penghuni. Kelembapan udara yang lebih rendah dari 30% akan menyebabkan sensasi kering, yang memiliki efek buruk pada selaput lendir.

Faktor alam yang pasti mempengaruhi kenyamanan termal untuk manusia adalah suhu udara, kelembaban udara, dan pergerakan udara. Tiga faktor alami ini biasanya tersedia sebagai bagian dari lingkungan hidup seseorang dan sangat mempengaruhi termal

kenyamanan untuk dirinya sendiri. Lingkup faktor alam yang menghasilkan kenyamanan termal bagi manusia disebut zona kenyamanan. Zona nyaman adalah area di bagan bioklimatik yang menunjukkan udara yang nyaman secara termal komposisi [3].

Kondisi lingkungan dalam ruangan sangat mempengaruhi kesehatan dan produktivitas. Penelitian yang dilakukan di gedung – gedung publik menemukan adanya keluhan paling umum tentang kurang puasnya masalah kenyamanan termal yang berkaitan dengan kesehatan. Teori termoregulasi dan keseimbangan panas tubuh manusia menggunakan proses fisiologis (misalnya berkeringat, menggigil, mengatur aliran darah ke kulit) untuk menjaga keseimbangan antara panas yang dihasilkan oleh metabolisme dan panas yang hilang dari tubuh [11]. Gejala yang paling signifikan dialami oleh pengguna bangunan publik tersebut adalah mata kering, tenggorokan kering, dan sakit kepala.

Persepsi adalah proses dimana seseorang memilih, mengatur, dan menafsirkan input informasi untuk membuat seluruh gambar yang berarti. Persepsi dapat diartikan sebagai proses kategorisasi dan interpretasi yang selektif. Faktor-faktor yang mempengaruhi persepsi seseorang adalah karakteristik orang yang dirasakan dan situasional faktor [12].

Persepsi akan dibagi menjadi 2 yaitu [13]:

- a. Persepsi positif, yang menggambarkan semua pengetahuan dan tanggapan yang diajukan upaya pemanfaatan
- b. Persepsi negatif yang menggambarkan semua pengetahuan dan tanggapan yang tidak selaras dengan objek persepsi

Tubuh manusia berinteraksi dengan lingkungan termal eksternal dengan menyeimbangkan panas internal yang dihasilkan dari mencerna makanan dan aktivitasnya.

Metode penilaian yang paling kompleks adalah penentuan PMV (*Predicted Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*) terhadap lingkungan termal [3]. Model PMV Fanger dikembangkan dalam studi laboratorium dan ruang iklim tahun 1970. Model PMV menggabungkan empat variabel fisik (suhu udara, kecepatan udara, suhu rata-rata radiasi, dan kelembaban relatif) dan dua variabel pribadi (isolasi pakaian dan tingkat aktivitas) ke dalam indeks yang dapat digunakan untuk memprediksi kenyamanan termal. Skor yang sesuai dengan skala sensasi termal ASHRAE, dan mewakili sensasi termal rata-rata yang dirasakan oleh sekelompok besar orang di suatu ruang.

Era modern saat ini, banyak bangunan akan memanfaatkan teknologi komputer dan internet. Pengimplementasian teknologi dalam smart building

ini dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas manusia saat berada di ruangan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji bagaimana pengaruh lingkungan termal di laboratorium Teknik Industri Institusi Pendidikan. Indeks PMV-PPD dengan sensasi nyata penghuni digunakan untuk meneliti lingkungan termal yang dirasakan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini akan berlangsung selama 1 bulan di laboratorium teknik. Subjek penelitian difokuskan pada 25 orang setiap harinya. Subjek berusia antara 18 tahun sampai dengan 25 tahun. Bangunan tersebut mempunyai luas sekitar 96 m<sup>2</sup> dan berisi dengan mesin yang digunakan untuk praktek praktikum.

Metode ini akan mencakup empat langkah:

1. Evaluasi obyektif kenyamanan termal melalui pengukuran suhu udara, kelembaban relatif, suhu rata-rata radiasi dan kecepatan udara relatif,
2. Evaluasi obyektif dari kenyamanan termal melalui pengukuran PMV dan PPD
3. Evaluasi subyektif dari kenyamanan termal berdasarkan kuesioner
4. Implementasi smart building dari hasil kenyamanan termal

Pengukuran klimatologis di ruangan dilakukan dengan mengukur suhu udara ruangan dan kelembaban. Suhu udara (Ta) dan kelembaban udara (RH) dilakukan dengan menggunakan *Thermo-hygrometer*. Setelah hasil suhu efektif diketahui, langkah selanjutnya adalah melihat skala suhu efektif untuk melihat interval kenyamanan.

Dingin sekali - tidak nyaman (TE) = <20.5° C  
 Sejuk - nyaman (TE) = 20,5° C - 22,8° C  
 Optimal - nyaman (TE) = 22.8° C - 26.0° C  
 Panas sejuk - nyaman (TE) = 26.0° C - 27.2° C  
 Panas - tidak nyaman (TE) => 27.2° C

Indeks Kelembaban Suhu atau juga dikenal sebagai Indeks Kelembaban Panas adalah metode yang dapat digunakan untuk menilai tingkat kenyamanan di suatu daerah. Metode ini menghasilkan indeks untuk menentukan efek kondisi panas pada kenyamanan manusia yang menggabungkan suhu dan kelembaban. Indeks kenyamanan dalam kondisi nyaman berada di kisaran THI 20 -26. Penentuan THI atau indeks kenyamanan dapat ditentukan dari nilai suhu udara (OC) dan kelembaban (RH) dengan persamaan berikut:

$$THI = 0.8T_a + \frac{(RH \times T_a)}{500}$$

Selama pengukuran, suhu dan kadar air relatif dari udara ditentukan. Semua ruangan kantor diukur

dengan satu instrumen, Temperatur Kering, Temperatur Basah, RH Kelembaban Relatif. Instrumen itu diletakkan di dekat orang di ketinggian sekitar 0,6-0,8 m, agar berada di tengah tubuh manusia. Instrumen ini sepenuhnya sesuai dengan rekomendasi ISO 7726 untuk keakuratan dan waktu respons dan durasi proses sekitar 10-15 menit

Data pengukuran digunakan untuk mengukur suhu udara, kecepatan angin, kelembaban udara, suhu bola kering, suhu bola basah, dan suhu bola. Alat ukur yang digunakan untuk mendapatkan data pengukuran adalah *area heat stress monitor* dan *thermo-hygrometer*. Langkah – langkah untuk mendapatkan data pengukuran adalah sebagai berikut:

### *Area heat stress monitor*

Langkah –langkah penggunaan *area heat stress monitor* sebagai berikut:

- a. Menekan tombol °C atau °F untuk menentukan satuan suhu yang digunakan
- b. Menekan tombol *globe* untuk menentukan suhu bola
- c. Menekan tombol *dry bulb* untuk mendapatkan suhu bola kering
- d. Menekan tombol *wet bulb* untuk mendapatkan suhu bola basah
- e. Menekan *wet bulb globe thermometer* (WBGT) untuk mendapatkan indeks suhu bola basah (ISSB)
- f. Mencatat hasil yang dibaca pada *display*
- g. Mendinginkan alat selama 10 menit setiap selesai menekan salah satu tombol untuk waktu adaptasi
- h. Data suhu bola, suhu bola kering, dan suhu bola basah kemudian dicatat pada tabel

### *Thermo-hygrometer*

- a. Pastikan *display thermo-hygrometer* menyala Bagian atas menunjukkan angka untuk suhu udara (°C / °F) Bagian bawah menunjukkan angka untuk kelembaban udara (%)
- b. Letakkan *thermo-hygrometer* pada tempat yang ingin diukur kelembaban dan suhu udaranya.
- c. Tunggu tiga hingga lima menit agar sensor dapat beradaptasi
- d. Mencatat hasil yang dibaca pada *display*

Pengambilan data dilakukan pada pagi hari yang merupakan waktu praktikum mahasiswa di laboratorium. Pengambilan data suhu, kecepatan angin, dan kelembaban dicatat dengan interval waktu setiap setengah jam sekali.

Pengumpulan data variabel ruang laboratorium yaitu:

1. Luas laboratorium  
Luas ruang laboratorium diukur dengan meteran dengan mengukur panjang, lebar, dan tinggi ruang laboratorium
2. Jumlah maksimal pemakai ruangan

- Jumlah maksimal pemakai ruangan berdasarkan jumlah mesin yang tersedia
3. Peralatan yang digunakan  
Peralatan yang digunakan merupakan mesin–mesin yang menghasilkan panas di ruang laboratorium teknik
  4. Bagian dinding yang berbatasan dengan udara luar  
Dinding yang berbatasan apakah berbatasan langsung dengan lingkungan luar atau berbatasan dengan ruangan lainnya
  5. Luas dan jumlah kaca  
Luas dan jumlah kaca berpengaruh apakah sinar matahari masuk ke dalam ruangan dan berpotensi menaikkan suhu
  6. Luas elemen penyusun ruangan laboratorium
  7. Luas dan jumlah ventilasi  
Luas dan jumlah ventilasi untuk mengetahui aliran udara didalam ruangan laboratorium

### Kuisisioner

1. Kuisisioner persepsi termal  
Kuisisioner ini berisi tentang kondisi lingkungan termal, dalam hal ini adalah kenyamanan kondisi ruangan laboratorium yang dirasakan mahasiswa saat mengikuti praktikum. Kuisisioner diisi pada saat sebelum mahasiswa masuk ke jam istirahat agar tidak mengganggu proses pembelajaran dalam kuliah. Skala persepsi termal digunakan untuk memperoleh data persepsi yang dirasakan oleh mahasiswa didalam ruang laboratorium dengan skala seperti pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Skala persepsi termal

Sensasi Termal	Kondisi Aliran Udara	Kenyamanan Termal
(0) Netral	(0) Netral	(-2) Tidak Nyaman
(+1) Hangat	(+1) Cukup lemah	(-1) Cukup tidak nyaman
(+2) Panas	(+2) Cukup kuat	(0) Netral
(+3) Sangat panas	(+3) Kuat	(+1) Cukup nyaman (+2) Nyaman

Pakaian yang digunakan juga berkaitan dengan perpindahan panas yang berasal dari aktivitas manusia dan rangsangan external lain seperti suhu udara dan kelembapan udara. Aktivitas ini akan berkaitan dengan metabolisme yang diperlukan dalam melakukan suatu pekerjaan.

Jenis pakaian yang didata berupa pakaian yang digunakan sehari – hari dalam proses belajar mengajar di ruang tersebut oleh mahasiswa dan kuisisioner diisi langsung oleh mahasiswa, yang disajikan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Jenis pakaian

Jenis pakaian	Tipe	Jenis pakaian	Tipe	Jenis pakaian	Tipe
Kemeja	Tipis pendek	Celana/rok	Formal	Jaket	Tanpa lengan
	Tipis panjang		Kain		Sweater tipis
	Tebal pendek		Jeans		Lengan panjang tebal
	Normal pendek		Pendek		Lengan panjang tebal berkrak
Pakaian dalam	Bra	Sepatu	Tebal	Kaos kaki	Tebal
	Celana dalam		Tipis		Tipis
	Singlet		Boot		
	Kaos				

Pengolahan data pengukuran dan kuisisioner

Tahap pengolahan data akan dilakukan dengan rumus umum sebagai berikut :

$$M - W = (C + R + Esk) + (Cres + Eres)$$

1. Menghitung nilai persepsi termal, preferensi dan kenyamanan termal
2. Kuisisioner yang telah diisi dihitung sebagai perhitungan awal mahasiswa terhadap kondisi ruang laboratorium yang dirasakan sebelum mengarah ke perhitungan HSI.
3. Menghitung luas permukaan tubuh

Perhitungan terhadap kondisi laboratorium dan variabel yang melekat pada mahasiswa. Perhitungan data diambil berdasarkan kuisisioner yang telah diisi oleh mahasiswa.

Menghitung nilai insulan pakaian

Perhitungan nilai insulan didasarkan pada hasil kuisisioner pakaian yang digunakan mahasiswa selama proses belajar di ruang laboratorium. Standar ASHRAE 1989 menunjukkan batas nyaman untuk pakaian yang digunakan tidak boleh lebih dari 0,5 clo. Setelah perhitungan nilai insulan, kemudian dihitung nilai insulan setiap mahasiswa dan diambil nilai rata – rata sebagai input untuk perhitungan selanjutnya.

Menghitung nilai HSI

Tahap ini dilakukan perhitungan nilai HSI untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal yang terjadi dalam ruangan. Data yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya digunakan sebagai data masukan pada perhitungan ini. Data yang dibutuhkan dalam perhitungan ini adalah:

- a. Rata – rata temperatur ruangan
- b. Rata – rata kelembapan udara
- c. Rata – rata kecepatan angin
- d. Rata – rata suhu bola
- e. Rata – rata nilai insulan pakaian
- f. Suhu kenyamanan yang diinginkan
- g. Tingkat metabolisme

Data yang dihasilkan kemudian diintegrasikan ke dalam satu kerangka penyelesaian masalah untuk

kemudian dilakukan contoh perhitungan numerik. Rumus yang digunakan untuk perhitungan HSI adalah

$$HSI = \frac{E_{req}}{E_{max}} \times 100\%$$

Menghitung nilai PMV dan PPD

Menghitung nilai PMV dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$PMV = (0,303 \times e^{-0,036M} + 0,028) \times ((M-W)-H-Ec-Cres-Eres))$$

Menghitung nilai PPD dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$PPD = 100-95 \times e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)}$$

Nilai HSI, PMV dan PPD yang didapatkan merupakan kesimpulan keadaan yang ada pada ruangan tersebut saat ini sebelum diberikan perbaikan berdasarkan fakta perhitungan yang ada. Jika melampaui batas kenyamanan, maka akan ditindaklanjuti dengan perhitungan beban pendingin agar ruangan tersebut menjadi lebih nyaman.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Data persepsi termal

Data persepsi termal dilakukan pada 25 siswa yang mengambil kuliah di ruang laboratorium. Data persepsi yang dikumpulkan adalah sensasi termal saat mengajar. Data ini adalah kuesioner yang kemudian diisi langsung oleh siswa, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Pengisian kuesioner dilakukan di laboratorium selama dua hari berturut-turut pada akhir jam sebelum jam kuliah (12.00)

**Tabel 3.1** Persepsi Termal

Criteria and Value		Thermal Perception			
		Day 1		Day 2	
		Result	%	Result	%
Cold	-3	0	0%	-0,075	2,5%
Cool	-2	-0,1	5%	-0,125	6,25%
Slightly cool	-1	-0,125	12,5%	-0,175	17,5%
Neutral	0	0	30%	0	36,25%
Slightly warm	1	0,238	23,75%	0,262	26,25%
Hot	2	0,275	13,75%	0,1	5%
Too hot	3	0,45	15	0,1875	6,25%
Total		0,7375	100%	0,175	100%
Average total results		0,45			

Pengumpulan data persepsi termal diperoleh nilai rata-rata total 0,45, yang berarti bahwa kondisi yang dirasakan oleh siswa cenderung hangat.

Sensasi Kenyamanan Termal

Data kenyamanan termal juga dilakukan pada 80 siswa yang mengambil kuliah di ruang laboratorium. Data persepsi yang dikumpulkan adalah sensasi termal saat mengajar. Data ini adalah kuesioner yang kemudian diisi langsung oleh siswa.

Pengisian kuesioner pada Tabel 3.2 dilakukan di laboratorium selama dua hari berturut-turut pada akhir jam sebelum jam kuliah (12.00)

**Tabel 3.2** Sensasi Kenyamanan Termal

Criteria and Value		Thermal Comfort Perception			
		Day 1		Day 2	
		Result	%	Result	%
Very uncomfort	-2	-0,15	7,5%	-0,25	12,5%
Uncomfort	-1	-0,15	15%	-0,1	10%
Neutral	0	0	35%	0	30%
comfort	1	0,262	26,25%	0,288	28,75%
Very comfort	2	0,325	16,25%	0,378	18,75%
Total		0,2875	100%	0,313	100%
Average total results		0,3			

Pengumpulan data kenyamanan termal diperoleh nilai rata-rata total 0,3, yang berarti bahwa kondisi yang dirasakan oleh siswa cenderung nyaman.

Perhitungan PMV dan PPD

1) Perhitungan PMV

$$PMV = (0,303 \times e^{-0,036M} + 0,028) \times ((M-W)-H-Ec-Cres-Eres))$$

$$= (0,303 \times e^{-0,036 \times 100} + 0,028) \times ((100-33,45)-24,122-0,513-4,59))$$

$$= 2,11$$

Berdasarkan hasil tersebut maka kondisi yang dirasakan oleh mahasiswa adalah panas

2) Perhitungan PPD

$$PPD = 100-95 \times e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)}$$

$$PPD = 100-95 \times e^{-(0,03353 \times 2,11^4 + 0,2179 \times 2,11^2)}$$

$$PPD = 81,67\%$$

Jadi mahasiswa yang merasa tidak nyaman sekitar 81,67%

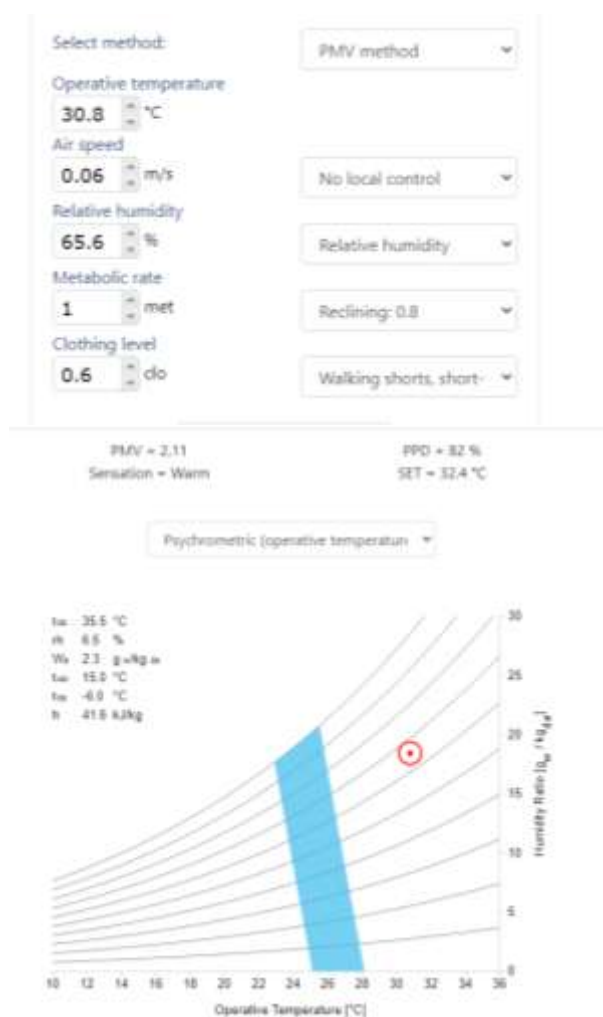
Berdasarkan nilai PMV, diperoleh hasil perhitungan sebesar 2,11 yang berarti kondisi ruangan dalam skala agak hangat ke hangat. Semakin besar nilai PMV, maka semakin panas pula ruangan tersebut. Pada standar ASHRAE (2001), mensyaratkan bahwa kondisi optimal seseorang pada nilai PMV rentang  $-0,5 < PMV < 0,5$ .

Sedangkan perhitungan diperoleh nilai HSI sebesar 59,7%. Dalam standar yang dikeluarkan oleh ASHRAE (2010), untuk skala antara 40 sampai 70% dapat diartikan potensial heat stress cukup besar dan pekerjaan mahasiswa harus dilakukan oleh mahasiswa yang kondisinya dalam keadaan baik. Hal ini didukung dengan hasil kuisisioner yang telah diisi mahasiswa bahwa mereka merasa terganggu dan tidak nyaman dengan kondisi kenyamanan termal yang sedang dirasakan saat proses praktikum. Semakin tinggi nilai HSI, maka semakin tinggi pula potensi *heat stress* yang akan dialami oleh mahasiswa.



Pada perhitungan PPD diperoleh hasil sebesar 81,36% yang berarti sebanyak 81,36% mahasiswa cenderung merasa tidak nyaman dengan kondisi termal ruangan yang ada saat ini. Hal tersebut sesuai dengan kuisioner yang sebagian besar merasa tidak nyaman dan menghendaki suhu yang lebih dingin atau sejuk. Menurut ASHRAE (2001) rentang kenyamanan optimal terjadi pada kondisi PPD yang tidak lebih dari 10%.

Perhitungan PMV dan PPD ini di perkuat dengan perhitungan menggunakan program CBE *Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55* seperti pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Perhitungan CBE *thermal comfort*

Setelah diperoleh hasil dari tahapan pengolahan data maka dilakukan analisis terhadap langkah – langkah yang dilakukan selanjutnya. Analisis tersebut dilakukan terhadap hasil pengolahan data yang meliputi analisis gambaran umum di area area laboratorium, analisis kenyamanan termal untuk kesehatan, analisis keselamatan dan kesehatan kerja, analisis keefektivan ventilasi dan pendingin, serta

analisis perlengkapan keselamatan kerja yang disajikan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Tabel analisis

<b>Analisis Temperatur udara dan kelembapan udara</b>	a. Penggunaan kaca film b. Perhitungan penggunaan kapasitas AC yang diperlukan
<b>Analisis Aliran udara</b>	Penambahan ventilasi di ruangan
<b>Analisis kenyamanan termal</b>	Berdasarkan hasil dari perhitungan PMV dan PPD yang masih jauh dari ketentuan ASHRAE (2001)
<b>Analisis pakaian</b>	a. Pengaruh insulasi pakaian terhadap kenyamanan termal b. Analisis sensitivitas dari pakaian dalam mempengaruhi nilai PMV dan PPD
<b>Analisis perbaikan dan saran</b>	Perbaikan berdasarkan level distribusi <i>surfer</i> mengenai letak penambahan AC, <i>dehumidifier / humidifier</i> , dan ventilasi udara

Masalah pemanasan, ventilasi yang tepat, dan fasilitas untuk memberikan pendinginan di dalam gedung dikelola dan dikendalikan oleh komponen yang disebut sistem HVAC. Sistem HVAC bertanggung jawab untuk memanaskan, mendinginkan, dan mengalirkan udara di dalam gedung.

Subkomponen ini bertanggung jawab untuk menjaga semua masalah yang terkait dengan pemanasan dan pendinginan di dalam gedung. Sistem ini menggunakan sensor penginderaan suhu untuk terus menilai perubahan dalam ruangan dan suhu air. Data sensor dikumpulkan dan disinkronkan dengan cloud. Berdasarkan informasi yang disimpulkan untuk setiap perubahan suhu, sistem pemanas dan pendingin mengambil tindakan pemanasan dan pendinginan yang tepat di tempat-tempat yang diperlukan. Untuk tujuan pemanasan, baik pemanasan konvensional dan mekanisme pemanasan alami diikuti. Sinar matahari digunakan di sini sebagai sumber pemanasan alami untuk kamar dan air. Hal ini merupakan cara pemanasan yang hemat biaya dan energi. Sistem pemanasan dan pendinginan terus-menerus dirasakan oleh berbagai sensor, berdasarkan pada data sensor, sistem kontrol pemanasan dan pendinginan mengatur operasinya untuk menghindari panas berlebih atau pendinginan. Dengan demikian, sistem kontrol pemanasan dan pendinginan bertanggung jawab atas masalah pemanasan dan pendinginan keseluruhan dalam sistem.

Subkomponen ini mempertahankan aliran udara dan ventilasi yang baik di dalam gedung. Sistem kontrol ventilasi udara mengontrol aliran udara di dalam

gedung, dan terdiri dari saluran udara yang menjaga aliran udara masuk dan keluar dari gedung, filter udara dan sensor. Setiap komponen terhubung melalui sensor. Menggunakan sensor, kualitas udara, suhu, dan mobilitas seseorang dinilai. Data sensor disinkronkan dengan *cloud* dan berdasarkan pengetahuan disimpulkan ventilasi mengontrol poros ventilasi, kipas, *blower*, dan lain lain.

#### 4. Kesimpulan

Data persepsi mahasiswa digunakan sebagai pengukur apakah laboratorium teknik cocok untuk digunakan sebagai ruang belajar-mengajar. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana mengevaluasi dan menganalisis tingkat kenyamanan termal dengan data persepsi parameter suhu dan kelembaban.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bisa disimpulkan bahwa kondisi kenyamanan termal di ruang laboratorium teknik cenderung kurang nyaman. Ruang yang tidak nyaman ini disebabkan karena kelembaban dan suhu ruangan yang relatif tinggi. Rekomendasi yang bisa diberikan adalah ruangan itu adalah memberikan sensor suhu sehingga ruangan dapat berubah suhu secara otomatis. Perubahan ini untuk kenyamanan mahasiswa dalam pelatihan sehingga siswa tidak merasa terlalu panas masuk ruangan.

Untuk pengembangan selanjutnya, dapat dilakukan penambahan pengaruh nilai *clo* setelah diturunkan terhadap suhu ruang dan dengan perhitungannya terhadap HSI, PMV, dan PPD. Penambahan system HVAC dengan control diberikan dengan sensor suhu, kelembapan, dan *air-flow*.

#### Daftar Rujukan

[1] ASHRAE Handbook. 2005. Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, ASHRAE. 1989. Handbook of Fundamental Chapter 8:

Physiological Principles, Comfort, and Health. ASHRAE. USA ISO 7730, 1984)

[2] Lee et al. 2000 Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. *Chemosphere* Jul;41(1-2):109-13.

[3] Satwiko, Prasasto. 2004. Fisika Bangunan 1. Publisher Andi, Yogyakarta

[4] Ariestadi, D. et al 2014, Energy Performance Criteria For Thermal Conditions In The Building Of High Education Facilities In Indonesia Analysis With Important Performance Analysis Method, *Journal of RUAS*, Vol. 12 No. 1, June 2014: ISSN 1693-3702

[5] Priatman, Jimmy. 2003. Energy Conscious Design "Concept and Building Design Strategy in Indonesia. *Journal of Architectural Dimension*, Volume 31, Number 1, Department of Architecture FTSP Petra Christian University, Surabaya,

[6]Kurnia, R., Effendy, S., Tursilowati, L. 2010. *Identification of Building Thermal Comfort (Case Study: Classrooms in IPB Banangsiang and Darmaga Campuses)*, *Journal of Agromet* 24 (1), pp. 14-22, 2010, ISSN: 0126-3633, Bogor.

[7] Rilatupa, James. 2008. Thermal Comfort Aspects of Space Conditioning, *Journal of Gadgets Science and Technology*, Vol. 18, No. 3, (Agustus 2008).

[8] Rattanongphisata, W. et al, 2014 *Strategy for energy efficient buildings in tropical climate*, *Energy Procedia* 52, p 10 – 17

[9] Susanti, L., dan Nike A. 2013. *Thermal Leisure Evaluation of Public Senior High School Room In Padang City*. (online),[http://industri.ft.unand.ac.id/Pdf/josifiles/vol\\_12\\_no\\_1\\_apri\\_1\\_2013](http://industri.ft.unand.ac.id/Pdf/josifiles/vol_12_no_1_apri_1_2013) accessed 5 June 2013

[10] Suma'mur P.K., 1996, *Corporate Hygiene and Occupational Health*. PT. Gunung Agung, Jakarta.

[11] Kukus, Y, dkk, 2009, Suhu Tubuh: Homeostatis dan efek terhadap kinerja tubuh manusia. *Jurnal Biomedik*, Vol. 1 Nomor 2, hlm 107 - 118

[12] Kotler, Phillip. 1995, *Marketing Management Analysis, Planning, Implementation & Control*. Prentice Hall Int

[13] Irwanto. 2002. *General Psychology*. Jakarta: PT. Prenhallindo