

**PERBANDINGAN KENYAMANAN TERMAL DAN KUALITAS UDARA DI RUANGAN AC DAN
TIDAK BER – AC**
**COMPARISON OF THERMAL COMFORT AND AIR QUALITY IN AIR – CONDITIONED AND NON – AIR
– CONDITIONED CLASSROOM**

Muhammad Alfi Sazali¹, Drs.Ery Djunaedy,² M. Ramdhan Kirom S. Si, M. Si³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹alfi.zali@gmail.com ²erydjunaedy@gmail.com, ³jakasantang@gmail.com

Abstrak

Kenyamanan ruangan merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan aktivitas ruangan. Untuk mewujudkan ruangan yang nyaman secara termal maka diperlukan sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*). Pada penelitian kali ini bertujuan untuk membandingkan kenyamanan termal pada Mengetahui perbandingan kenyamanan termal dan kualitas udara pada ruangan yang menggunakan pengkondisi udara (*Air Conditioner*) dan tidak menggunakan alat pengkondisi udara (*Air Conditioner*). metode yang digunakan untuk menentukan kenyamanan termal bagi pengguna ruangan adalah metode PMV. PMV (*Predicted Mean Vote*) merupakan nilai rata-rata yang menggambarkan bagaimana sensasi termal yang dirasakan penghuni terhadap ruangan yang ditempatinya. Sedangkan pada kualitas udara dilakukan pengukuran dengan mengetahui kadar CO₂ pada ruangan ber - AC dan tidak ber – AC. Penelitian ini melakukan pengukuran dan pengambilan data menggunakan alat ukur yang telah ditentukan dan dilakukan pada ruangan yang telah diidentifikasi dan klasifikasi. Data yang diambil meliputi data temperatur, kelembaban, kadar karbondioksida pada ruangan dan data survey dari setiap mahasiswa yang ada pada ruangan. Hasil penelitian menunjukkan ditemukan hubungan yang signifikan dengan analisis regresi linier antara AMV dan PMV, dimana nilai PMV memiliki nilai 1 poin lebih besar dari nilai AMV. Hal ini menunjukkan bahwa responden yang melakukan kegiatan pada ruangan-ruangan tersebut sudah terbiasa dengan kondisi ruangan dan mereka dapat mentolerir kondisi yang tergolong hangat jika dilihat pada standar. Dan diperoleh dari pengukuran CO₂ pada ruangan ber – AC dan tidak ber – AC didapatkan bahwa bahwa ruangan ber – AC memiliki konsentrasi rata – rata CO₂ sebesar 1076.54 ppm lebih tinggi dibandingkan ruangan yang tidak ber – AC memiliki konsentrasi sebesar 683.65 ppm.

Kata kunci: Kenyamanan termal, kualitas udara, PMV, HVAC.

Abstract

Comfortable is an aspect that need be considered when carrying out activities in the room. HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) systems are needed to create a thermally comfortable room. This study aims to compare thermal comfort in knowing the ratio of thermal comfort and air quality in rooms using air conditioners and not using air conditioner. The method used to determine thermal comfort for room users is the PMV method. PMV (Predicted Mean Vote) is an average value that describes how the thermal sensation felt by residents to the room they occupy. While the air quality is measured by knowing the level of CO₂ in the air-conditioned room and not air-conditioned. This study measures and retrieves data using a predetermined measuring instrument and is carried out in the identified space and classification. The data taken included data on temperature, humidity, carbondioxide levels in the room and survey data of each student in the room. The results showed a significant relations that found with linear regression analysis between AMV and PMV, where the PMV value has a value of 1 point greater than the AMV value. This shows that respondents who do activities in the rooms are familiar with the condition of the room and they can tolerate conditions that are classified as warm when viewed in the standard. And obtained from the measurement of CO₂ in air-conditioned and non-air-conditioned rooms found that the air-conditioned room has an average concentration of CO₂ of 1076.54 ppm higher than the room that is not air-conditioned has a concentration of 683.65 ppm.

Key word: Thermal comfort, air quality, PMV, HVAC.

1. Pendahuluan

Manusia cenderung melakukan lebih banyak kegiatan didalam ruangan. Oleh sebab itu, manusia membutuhkan sebuah kenyamanan, terkhusus dalam ruangan untuk melakukan aktivitas dengan baik, tenang dan nyaman. Pada umumnya, orang-orang menghabiskan waktunya (lebih dari 90%) di dalam ruangan, sehingga mereka membutuhkan udara yang nyaman dalam ruang tempat mereka beraktivitas [1].Kenyamanan merupakan bagian dari salah satu sasaran karya arsitektur, dimana kenyamanan adalah interaksi dan reaksi manusia terhadap lingkungan yang bebas dari rasa negatif dan bersifat subjektif [2]. Kenyamanan terdiri atas kenyamanan psikis dan kenyamanan fisik. Kenyamanan psikis yaitu kenyamanan kejiwaan (rasa aman, tenang, gembira, dan lain – lain) yang terukur secara subyektif. Sedangkan, kenyamanan fisik dapat terukur secara obyektif yang meliputi kenyamanan spasial, visual, auditorial dan termal.Sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) merupakan salah satu metode untuk mewujudkan ruangan yang nyaman. Salah satu perangkat yang digunakan dalam sistem HVAC adalah *Air Conditioner* (AC). AC ditujukan pada perlakuan terhadap udara untuk mengontrol secara serempak temperatur, kandungan kelembaban, kebersihan, bau, dan sirkulasi udara sesuai kebutuhan penghuninya [3].Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian mengenai perbandingan kenyamanan termal dan kualitas udara pada ruangan yang ber - AC dan tidak ber – AC. Salah satu metode untuk menentukan kenyamanan termal bagi pengguna ruangan adalah PMV. PMV (*Predicted Mean Vote*) merupakan indeks kenyamanan termal yang diperkenalkan oleh Professor Fanger dari University of Denmark [4]. PMV berfungsi untuk mengindikasikan sensasi dingin dan hangat yang dirasakan oleh manusia. Identifikasi tersebut berlandaskan pada tujuh skala sensai termal, yakni -3 (sangat dingin), -2 (dingin), -1 (sejuk), 0 (netral), +1 (hangat), +2 (panas), serta +3 (sangat panas) [5]. Selain itu dilakukan penelitian perbandingan PMV dengan AMV. Dimana AMV (*Actual mean vote*) merupakan metode survey yang menggambarkan bagaimana sensasi termal yang dirasakan langsung oleh penghuni terhadap ruangan yang ditempatinya. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai sandar kenyamanan termal yang telah ditentukan dengan kenyamanan termal pada setiap subjek. Sedangkan pada proses pengukuran kualitas udara, dilakukan dengan pengukuran kadar CO2 pada ruangan AC dan tidak AC. Pengukuran kadar CO2 dapat merepresentasikan kualitas udara pada ruangan tersebut dimana hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan kadar CO2 standar berdasarkan ASHRAE (2009).

2. Landasan Teori

2.1 Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni temperatur udara, pergerakan angin, kelembaban udara, radiasi matahari, faktor subyektif, seperti bentuk tubuh, serta usia dan jenis kelamin, *clothing level*, dan metabolisme tubuh. Adapun faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan termal dijelaskan sebagai berikut.

2.2 Tingkat Kenyamanan Termal

2.3.1 Skala Sensasi Kenyamanan Termal

Dalam kenyamanan termal terdapat tujuh titik skala. Tujuh sekala tersebut mengacu pada tujuh skala ASHRAE (*American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineer*). Tujuh skala ASHREA ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Table Error! No text of specified style in document..1 Skala sensasi kenyamanan thermal dari ASHRAE.

No	Skala ASHRAE	Skala
1	<i>Hot</i>	3
2	<i>Warm</i>	2
3	<i>Slightly warm</i>	1
4	<i>Neutral</i>	0
5	<i>Slightly cool</i>	-1
6	<i>Cool</i>	-2
7	<i>Cold</i>	-3

2.3.2 PMV (Predicted Mean Vote)

Pengukuran tingkat kenyamanan termal pada manusia menggunakan metode PMV (*predicted mean vote*). PMV merupakan nilai rata-rata yang menggambarkan bagaimana sensasi termal yang dirasakan penghuni terhadap ruangan yang ditempatinya. Sensasi termal diskalakan dengan menggunakan tujuh titik skala psiko-fisik dari ASHRAE. Secara matematis konsep ini dapat ditulis sebagai berikut [8].

$$PMV = \left[0.352e^{-0.042\left[\frac{M}{A_{Du}}\right]} + 0.032 \right] \left[\left\{ \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) \right\} - \left\{ 0.35 \left[43 - 0.061 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - P_a \right] \right\} - \left\{ 0.42 \left[\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 50 \right] \right\} - \left\{ 0.0023 \frac{M}{A_{Du}} (44 - P_a) \right\} - \left\{ 0.0014 \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) \right\} - \left\{ 3.4 \times 10^{-8} f_a [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] \right\} - \left\{ f_a h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \right] \quad (1)$$

Dimana,

PMV	=	Predicted Mean Vote
M/A _{Du}	=	Jumlah energy yang dihasilkan dari metabolisme kcal/jam m ² yang dapat diindikasikan dengan jenis aktivitas melalui suatu satuan derajat metabolisme (met).
f _{cl}	=	Perbandingan luas permukaan badan yang berpakaian dengan luas permukaan badan yang tidak berpakaian yang akan tergantung dengan tipe pakaian.
h _c	=	Efisiensi tenaga mekanis yang dihasilkan terhadap energy yang dihasilkan dari proses metabolisme w/m
I _{cl}	=	Insulin panas dari permukaan badan yang berpakaian yang akan tergantung dengan tipe pakaian. (m ² K/W)
t _a	=	Temperatur udara
p _a	=	Tekanan uap air
t _{mrt}	=	Mean radiant temperature
vr	=	Kecepatan angin

Dimana MRT (*Mean Radiant Temperature*) merupakan temperatur rata – rata dari permukaan ruangan yang mempengaruhi kenyamanan termal penghuni ruangan. Dalam penelitian ini digunakan persamaan MRT sebagai berikut.

$$T_{mrt} = \frac{T_1 A_1 + T_2 A_2 + T_3 A_3 + T_n A_n}{(A_1 + A_2 + A_3 + A_n)} \quad (2)$$

Dimana,

T _{mrt}	=	Mean radiant temperature
T _n	=	Temperatur permukaan
A _n	=	Luas bidang permukaan

Dalam menyelesaikan persamaan PMV membutuhkan program komputer karena nilai h_c dan t_{cl} saling bergantung.

2.3.3 AMV (Actual Mean Vote)

AMV (*predicted mean vote*) merupakan survey yang menggambarkan bagaimana sensasi termal yang dirasakan langsung oleh penghuni terhadap ruangan yang ditempatinya. Sensasi termal diskalakan dengan menggunakan tujuh titik skala psiko-fisik dari ASHRAE.

2.3.4 OP (Operative Temperature)

OP disebut juga sebagai Temperatur Resultan yaitu suhu tubuh yang berada dalam kesetimbangan termal dengan lingkungan tanpa adanya pemanasan metabolik atau pendinginan evaporatif [9].

$$T_O = \frac{(hr T_{mrt} + hc T_a)}{hr + hc} \quad (3)$$

Dimana,

hr	=	Koefisien perpindahan panas radiasi linier
hc	=	Koefisien perpindahan panas konvektif
T _a	=	Temperatur udara
T _{mrt}	=	Mean radiant temperature

Atau dapat menggunakan persamaan berikut bila kecepatan angin (*air speed*) kurang dari 0.2 m/s ($v > 0.2$ m/s), dengan metabolic rate antara 1 met dan 1,3 met:

$$T_O = \frac{(T_a + T_{mrt})}{2} \quad (2)$$

2.3 Kualitas Udara Dalam Ruangan

Kualitas udara dalam ruangan yang selanjutnya akan disebut KUDR adalah kondisi kandungan udara dalam ruangan yang dapat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni suatu ruangan. Ketika suatu bangunan digunakan, terkadang terjadi berbagai aktivitas manusia seperti bernafas, merokok, memasak, terjadinya pelepasan senyawa yang berupa cat, debu, kapur barus, dan dari benda-benda tertentu yang dapat mencemari udara. Kandungan polutan dalam ruangan dinyatakan dengan istilah konsentrasi. Konsentrasi berarti banyaknya polutan dihitung per satuan volume/media. Satuan yang digunakan yaitu ppm (*part per million*). Terdapat beberapa standar yang membatasi konsentrasi CO₂ yang diizinkan untuk kesehatan antara lain yaitu 500 ppm selama 8 jam (ASHRAE, 1982), < 1,500 ppm (WHO, 1987), < 800 ppm (TS, 12281) dan < 1000 ppm (ASHRAE, 1999). Banyak negara yang menetapkan standar konsentrasi CO₂ untuk ruang kelas < 1000 ppm.

3. Metode Penelitian

3.1 Pengolahan dan Analisis

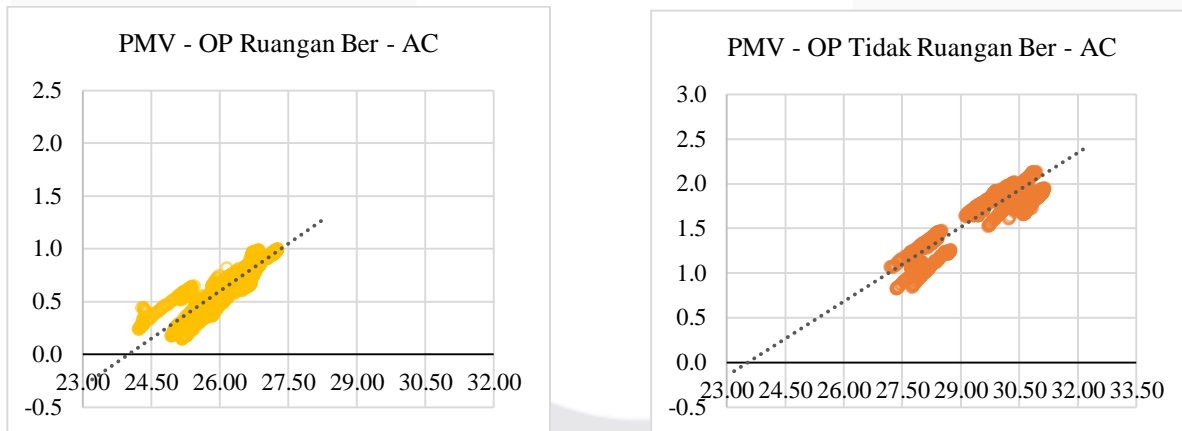
Setelah melakukan pengambilan dan pengukuran data, langkah selanjutnya adalah pengolahan data. Pengolahan data kenyamanan termal dilakukan dengan PMV (*Predicted Mean Vote*). Dalam penelitian ini, pengolahan data untuk memperoleh nilai PMV dilakukan menggunakan aplikasi *CBE Thermal Comfort Tool*. Dilakukan perbandingan antara data PMV yang telah didapat dengan data AMV dari hasil survey pada setiap ruangan. Adapun pengolahan data untuk kualitas ruangan itu sendiri menggunakan data dari alat ukur yang menghasilkan tingkat dari konsentrasi CO₂ (karbondioksida) dari setiap ruangan. Hasil tersebut selanjutnya dibandingkan dengan ruangan berdasarkan dari kondisi ruangan yang menggunakan AC dengan ruangan yang tidak menggunakan AC. Penarikan simpulan dari hasil pengolahan dan analisis data harus merujuk kepada tujuan dari penelitian. Pemberian saran dari penulis dapat dijadikan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

4. Pengolahan Analisis Data

4.1 Hasil dan Pengukuran PMV dan AMV

4.1.1 Perbandingan PMV pada Ruangan AC dan Tidak Ber – AC

Dilakukannya perbandingan PMV ruangan ber – AC dan tidak ber – AC terhadap OP untuk mengetahui tingkat PMV pada setiap titik temperatur. Dengan persamaan OP tersebut maka didapatkan hasil PMV – OP yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.



Gambar Error! No text of specified style in document..1 (a) PMV – OP ruangan AC, (b) PMV - OP ruangan tidak ber – AC.

Dari **Gambar 4.1** didapatkan hasil perbandingan PMV pada ruangan ber – AC dan tidak ber – AC seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

Tabel Error! No text of specified style in document..1 Perbandingan PMV ruangan ber - AC dab tidak ber - AC.

	Ruangan Tidak Ber - AC		Ruangan Ber – AC	
	PMV	OP	PMV	OP

MAX	2.14	31.14	1.00	27.26
MIN	0.83	27.18	0.15	24.21
AV	1.66	29.52	0.59	25.96

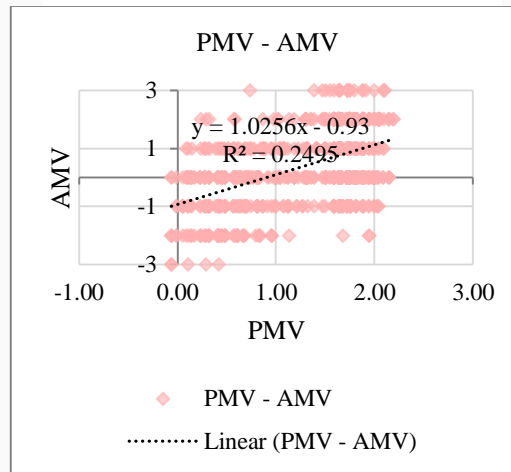
Dari **Tabel 4.1**, diketahui nilai maximal PMV pada ruangan tidak ber – AC adalah 2,14 dan nilai maximal OP adalah 31,14 °C, sedangkan nilai minimal PMV yang didapatkan yaitu 0,83 dan nilai minimal OP sebesar 27,18 °C, juga didapatkan nilai rata – rata PMV pada ruangan tidak ber – AC sebesar 1,66 dan nilai rata – rata OP adalah 29,52 °C. Sedangkan pada ruangan ber – AC diketahui nilai maksimal PMV adalah 1,00 dan nilai maximal OP 27,26 °C, lalu pada nilai minimal PMV yang diketahui adalah 0,15 dan nilai minimal OP sebesar 24,21 °C, didapatkan pula nilai rata – rata PMV pada ruangan ber – AC sebesar 0,59 dan nilai rata – rata OP 25,96 °C. Dengan ini didapatkan selisih rata – rata OP pada ruangan ber – AC dan tidak ber – AC sebesar 3,56 °C. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan tingkat kenyamanan antara ruangan ber – AC dan tidak ber – AC.

4.1.2 Perbandingan PMV dan AMV pada Setiap Ruang

Berdasarkan hasil yang didapatkan, AMV memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai PMV pada setiap ruangan yang diukur. Hal ini menunjukkan ketidaksinambungan nilai yang didapat anatar PMV dengan AMV pada masing – masing *clothing level*. Selain itu, dilakukan analisis regresi linier nilai rata – rata PMV dan AMV pada setiap ruangan seperti yang ditampilkan pada **Tabel 4.2**, dengan hasil perbandingan PMV – AMV yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**.

Tabel Error! No text of specified style in document..2 Nilai rata - rata PMV dan AMV pada setiap ruangan.

	KU3.02.10	KU3.07.07	P401	O101	N112	G201
AMV	0.91	0.94	0.63	-0.36	-0.48	-0.62
PMV	1.74	1.56	1.75	0.45	0.48	0.76

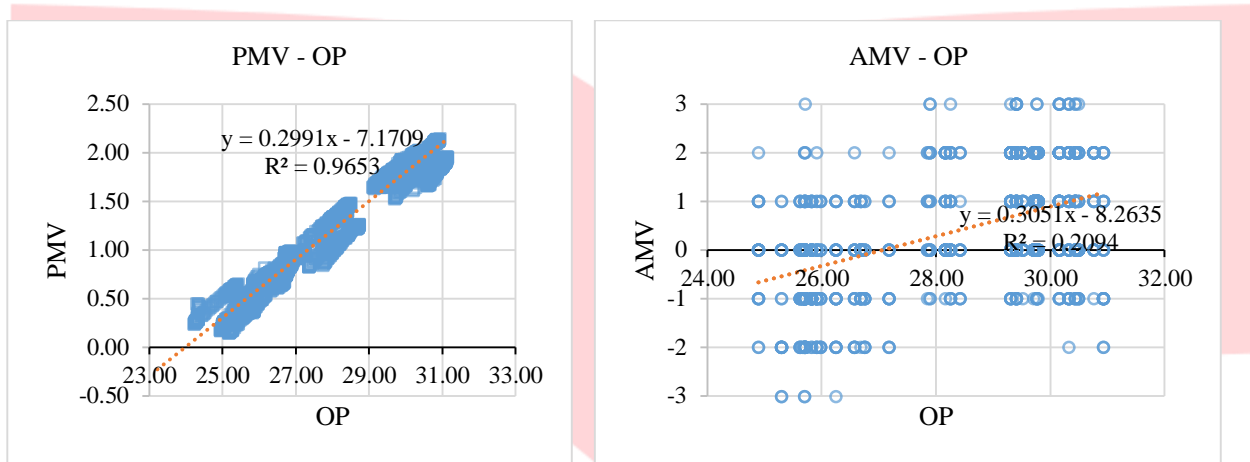


Gambar Error! No text of specified style in document..2 Regresi linier pada PMV - AMV.

Pada **Gambar 4.2** menunjukkan perbandingan nilai rata – rata PMV pada setiap waktu pengambilan data pada setiap ruangan terhadap nilai AMV pada setiap ruangan. Dengan analisis regresi linier PMV – AMV seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**, maka diketahui hubungan antara PMV dengan AMV, dimana, nilai PMV memiliki nilai 1 poin lebih besar dari nilai AMV dalam skala tujuh poin ASHRAE dengan nilai $R^2 = 0,2495$.

4.2 Perbandingan PMV dan AMV terhadap OP

Untuk mengetahui perbandingan nilai netral termal pada PMV dan AMV maka dilakukan perbandingan PMV seluruh ruangan terhadap OP, dan perbandingan AMV pada seluruh ruangan terhadap OP seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6**.

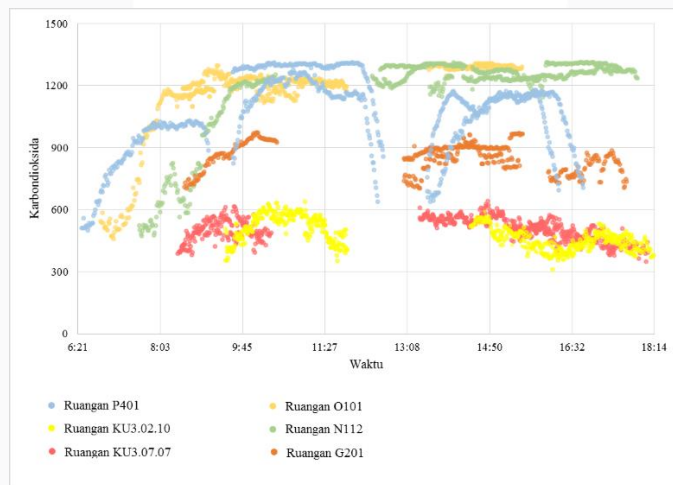


Gambar Error! No text of specified style in document..3 (a) Perbandingan PMV terhadap OP, (b) Perbandingan AMV terhadap OP.

Analisis regresi linier antara (PMV dan AMV) – OP seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4** dapat dilihat bahwa nilai netral termal dalam penelitian ini sesuai pengukuran PMV adalah 24° C ($R^2 = 0.9653$), sedangkan menurut pengukuran AMV adalah 27,1° C ($R^2 = 0.2094$). Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan antara PMV dengan sensasi termal AMV 3,1° C. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya perbandingan pada nilai netral termal antara PMV dengan AMV. Kesimpulan pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** berbanding lurus dengan hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4** dimana nilai PMV memiliki nilai 1 poin lebih besar dari nilai AMV dalam skala tujuh poin ASHRAE.

4.3 Perbandingan CO₂ (Karbon dioksida)

Pengukuran CO₂ (karbon dioksida) dilakukan pada ruangan yang memiliki AC (*Air Conditioner*) dan ruangan yang tidak memiliki AC (*Air Conditioner*) yang telah ditentukan sebelumnya. Waktu pengukuran berlangsung disesuaikan dengan jadwal perkuliahan yang ada pada setiap kelas. Dapat dilihat pada **Gambar 4.4** bahwa grafik sebaran konsentrasi CO₂ (karbon dioksida) pada setiap ruangan mengalami perbedaan. Perbedaan tersebut dikarenakan ruangan yang digunakan memiliki karakteristik yang berbeda. Karakteristik ruangan dapat berupa jenis jendela, jenis pintu yang digunakan, orientasi ruangan, dan ketinggian ruangan terhadap permukaan tanah. **Table 4.4** menunjukkan nilai konsentrasi CO₂ dari setiap ruangan pengukuran.



Gambar Error! No text of specified style in document..4 Grafik sebaran konsentrasi CO₂ (Karbon dioksida) pada setiap ruangan.

Table Error! No text of specified style in document..3 Konsentrasi CO₂ (Karbon dioksida) pada setiap ruangan.

Ruangan	Konsentrasi Minimum [ppm]	Konsentrasi Maksimum [ppm]	Konsentrasi Rata – rata Karbon dioksida
---------	---------------------------	----------------------------	---

			[ppm]
KU3.02.10	310.49	637.31	469.85
KU3.07.07	349.79	641.53	503.57
P401	498.16	1311.23	1077.53
O101	458.3	1307.02	1183.67
N112	473.05	1313.34	1195.95
G201	703.62	973.77	850.01

Table Error! No text of specified style in document..2 Konsentrasi CO₂ pada ruangan ber – AC dan tidak ber – AC.

Ruangan	Konsentrasi Minimum [ppm]	Konsentrasi Maksimum [ppm]	Konsentrasi Rata – rata Karbondioksida [ppm]
Ruangan Tidak Ber – AC	386.15	863.36	683.65
Ruangan Ber – AC	544.99	1198.04	1076.54

Berdasarkan **Table 4.6** dapat dilihat bahwa ruangan ber – AC memiliki konsentrasi rata – rata CO₂ lebih tinggi dibandingkan ruangan yang tidak ber – AC. Selain itu ruangan ber – AC juga memiliki konsentrasi rata – rata CO₂ yang sedikit melebihi nilai yang tertera pada nilai standar. Hal ini menunjukkan bahwa ruangan ber – AC masih belum layak digunakan untuk kegiatan perkuliahan.

5 Simpulan

1. Berdasarkan hasil yang diperoleh, didapatkan selisih rata – rata OP pada ruangan ber – AC dan tidak ber – AC sebesar 3,56 °C. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan tingkat kenyamanan antara ruangan ber – AC dan tidak ber – AC.
2. Dari perbandingan PMV dan AMV dengan OPM dapat diketahui bahwa perbandingan tersebut memiliki nilai 3,1° C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa adanya perbandingan pada nilai netral termal antara PMV dengan AMV.
3. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengukuran CO₂ pada ruangan ber – AC dan tidak Ber – AC didapatkan bahwa bahwa ruangan ber – AC memiliki konsentrasi rata – rata CO₂ lebih tinggi dibandingkan ruangan yang tidak ber – AC. Selain itu ruangan ber – AC juga memiliki konsentrasi rata – rata CO₂ yang sedikit melebihi nilai yang tertera pada nilai standar. Hal ini menunjukkan bahwa ruangan ber – AC masih belum layak digunakan untuk kegiatan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang pedoman penyehatan udara dalam ruang yang mensyaratkan konsentrasi CO₂ maksimal 1000 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lee, S.C. dan M.Chang. 2000. Indoor and Outdoor Air Quality Investigation at Schools in Hong Kong. PERGAMON Journal.
2. Alahuddin M. (2010). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal Pada Bangunan Hunian Tradisional Toraja. Tugas Akhir Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Bearg, D.W., 1993. Indoor Air Quality and HVAC Systems. CRC Press.
4. Henry F. dan N.H.Wong. 2004. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia, Energy and Buildings. Elsevier B.V. All rights reserved.
5. Fang, L; Wyon, DP; Clausen, G; Fanger, PO (2004). "Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance". Indoor air. 14 Suppl 7: 74–81.
6. Szokolay S.V, et. al (1973), Manual of Tropical Housing and Building, Bombay: Orient Langman.
7. ISO/FDIS 7730:2005, International Standard, Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
8. E.M. Dzialowski / Journal of Thermal Biology 30 (2005) 317–334318.
9. Spengler, J.D., Chen, Q. (2000). Indoor Air Quality Factors in Designing a Healthy Building. Annual Review of Energy and the Environment 25, 567– 600.
10. Norbäck, D., & Nordström, K. (2008). Sick building syndrome in relation to air exchange rate, CO2. International archives of occupational and environmental health.