

INVESTIGASI SETING AIR CONDITIONING (AC) PADA USAHA PENINGKATAN KENYAMANAN THERMAL DAN HEMAT ENERGI DI KELAS

Sugiono*¹, Ishardita P.Tama², Wisnu W³, Lydia D.R. Suweda⁴

Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang, 65145, Indonesia
*E-mail: sugiono_ub@ub.ac.id

Abstrak

Thermal comfort pada manusia dan energy saving menjadi sesuatu yang menarik untuk terus dikaji pada dekade terakhir ini. Salah satunya adalah pemanfaatan energi yang efektif dan efisien pada ruang kelas di Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya, Malang. Berdasarkan hasil survei awal didapatkan keluhan pengaturan suhu yang terlalu panas ataupun terlalu dingin yang dapat menyebabkan masalah pada kenyamanan. Oleh karena itu tujuan dari paper ini adalah untuk menentukan setting temperature AC ruang kelas yang terbaik bagi penggunaannya. Riset dimulai dengan studi literature tentang thermal comfort, heat transfer dan produktifitas kerja manusia. Metode Predicted Mean Vote (PMV) index dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) digunakan untuk mengevaluasi level kenyamanan penghuninya. Isian kuesioner digunakan untuk menilai seberapa besar perasaan nyaman yang dialami oleh sampel pada ruang kelas setelah menerima beberapa perubahan kondisi udara akibat setting AC yang berbeda – beda. Berdasarkan penelitian diketahui pengaturan temperatur AC terbaik adalah 26 °C untuk Kelas Kategori A, 24 °C Kategori B, 22 °C Kategori C dan D serta 26 °C untuk Kelas Kategori E. Terhitung energi yang dibutuhkan adalah 17226.3 BTU/h, 18339.9 BTU/h, 19884.5 BTU/h, 19489.3 BTU/h dan 16831.1 BTU/h. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa pengaturan temperature rata – rata dapat menurunkan kebutuhan energi lebih rendah dari kondisi existing.

Kata Kunci: Classroom, Thermal Comfort, PMV, PPD, Energy saving

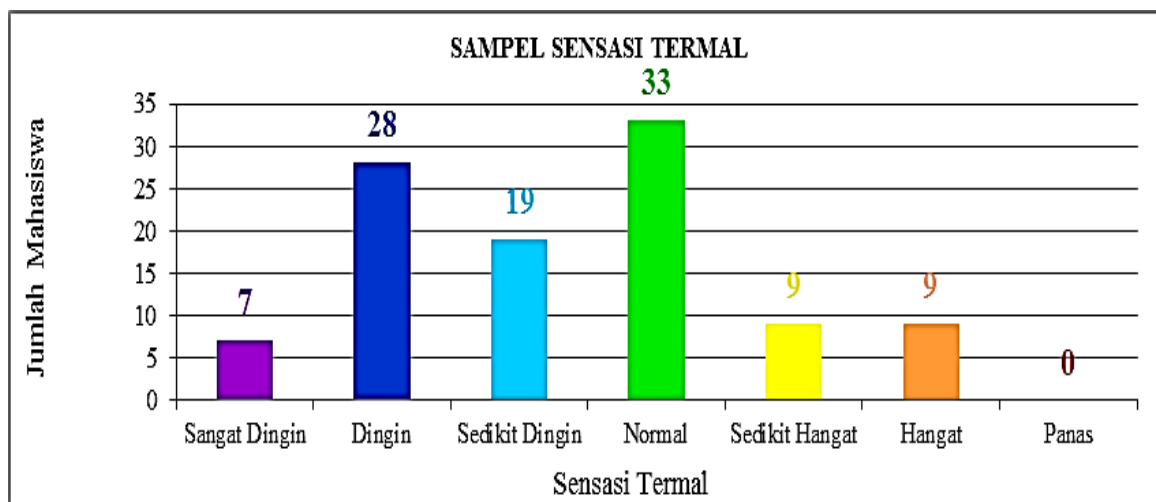
1. PENDAHULUAN

Kenyamanan panas dibutuhkan oleh tubuh manusia agar dapat beraktivitas dengan baik. Kenyamanan termal bergantung pada kondisi iklim dilokasi penelitian seperti radiasi matahari, suhu, kelembapan uadar dan kecepatan angin (Talarosha B, 2005). Di Kota Malang telah terjadi peningkatan 118suhu yang cukup signifikan. Tahun 1997 temperatur Kota Malang berkisar 23,4°C dan akhir tahun 2006 menjadi 24,2°C. Temperatur tertinggi pada musim kemarau terjadi pada bulan Oktober dan November 2006 yaitu 33,5°C. Sedangkan 2008 menjadi 33,9°C. Pada tahun 2013 sampai 2015 temperatur Kota Malang mencapai titik 34,2°C. Data ini berasal dari alat pengukur kondisi iklim di Karangploso (UB) dan Lanud Abd.Saleh. Kenaikan 118suhu di Kota Malang berdampak terhadap kenyamanan termal masyarakat yang tinggal dan beraktivitas di Kota Malang. Tidak terkecuali mahasiswa yang melakukan kegiatan perkuliahan di dalam ruang kelas, dikarenakan kenyamanan termal pada saat kegiatan belajar mengajar dapat mempengaruhi hasil belajar individu (Susanti dkk., 2013). Kenyamanan termal dan kualitas udara yang baik dapat berdampak positif pada kesehatan juga dapat meningkatkan konsentrasi dan kinerja belajar. Sedangkan keadaan termal yang kurang baik dapat menyebabkan terganggunya konsentrasi dan cepat lelah.

Dengan pentingnya kenyamanan termal, maka sebagian besar instansi menggunakan *air conditioner* (AC) untuk menangani tingginya suhu dari luar ruangan. Namun pengaturan temperature AC yang terlalu rendah justru akan memberikan dampak negative selain rasa kaku pada bagian tubuh tertentu, berkurangnya konsentrasi, mengantuk juga dapat berdampak pada konsumsi 118energi. Penggunaan energi listrik dalam pengoperasian AC dan penerangan pada suatu bangunan adalah sebesar 60% - 80% dari penggunaan energi listrik total gedung (Soegijanto, 1999).

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya memiliki 118suhu ruang kelas yang seluruhnya dilengkapi fasilitas AC untuk menunjang kenyamanan mahasiswa. Untuk melihat respon sensasi termal yang dirasakan mahasiswa terhadap keadaan di dalam ruang kelas maka disebar kuesioner awal (gambar 1). Berdasarkan hasil rekapitulasi diketahui bahwa

pengaturan 119 suhu dan kecepatan fan AC pada setiap ruang kelas berbeda - beda yaitu berkisar antara 18°C sampai 24°C. Dari 105 mahasiswa yang merupakan responden acak sebanyak 59 mahasiswa (56,19%) merasa nyaman berada di dalam ruang kelas dengan keadaan temperatur demikian, sedangkan 45 mahasiswa (42,86%) merasa kurang nyaman, dan 1 mahasiswa (0,95%) merasa tidak nyaman.



Gambar 1. Sensasi Termal yang dirasakan mahasiswa pada seting AC yang berbeda

Berdasarkan keadaan tersebut, maka selanjutnya akan dicari tingkat pengaturan suhu AC yang dapat mencakup optimal *thermal comfort* mahasiswa di dalam ruang kelas dengan menggunakan metode *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfaction* (PPD). Nilai PMV dapat menunjukkan tingkat kenyamanan termal yang dirasakan individu pada kondisi termal tertentu. Nilai PMV yang baik adalah mendekati nilai 0, dimana nilai 0 ini merepresentasikan keadaan netral (tidak terlalu dingin dan tidak terlalu panas). Sedangkan PPD dapat menunjukkan prosentase individu yang merasa kurang nyaman pada kondisi termal tertentu, semakin kecil PPD berarti prosentase individu yang tidak nyaman juga semakin kecil. Sehingga dari PMV dan PPD ini akan dilihat respon dari individu terhadap pengaturan 119 suhu AC, sehingga dapat diketahui pengaturan suhu AC yang memberikan nilai PMV dan PPD terbaik. Kemudian dapat dihitung suhu yang dibutuhkan dalam pengoperasian AC sesuai dengan rekomendasi.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental, dimana peneliti menggunakan data primer yang diambil dari penelitian eksperimen. Studi literatur dilakukan sebagai langkah pertama dalam penelitian ini. Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan secara langsung dari permasalahan yang diteliti. Terdapat beberapa cara yang digunakan untuk mengetahui kondisi permasalahan yang diteliti yaitu: *interview*, *brainstorming*, observasi, dokumentasi dan eksperimen. Selanjutnya dilakukan identifikasi masalah berdasarkan studi lapangan terhadap objek penelitian yaitu kenyamanan termal mahasiswa dalam ruang kelas di Jurusan Teknik Industri, UB. Pada tahap ini terdapat beberapa data yang dibutuhkan yaitu: kuesioner kenyamanan termal, temperatur ruangan (°C), kecepatan angin (m/s), kelembapan relatif (%), ukuran ruangan dan ukuran jendela. Selanjutnya akan dilakukan beberapa pengolahan data yaitu: rekapitulasi data kuesioner, perhitungan *clothing insulation* (clo), *metabolic rate* (met), PMV, PPD dan *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD).

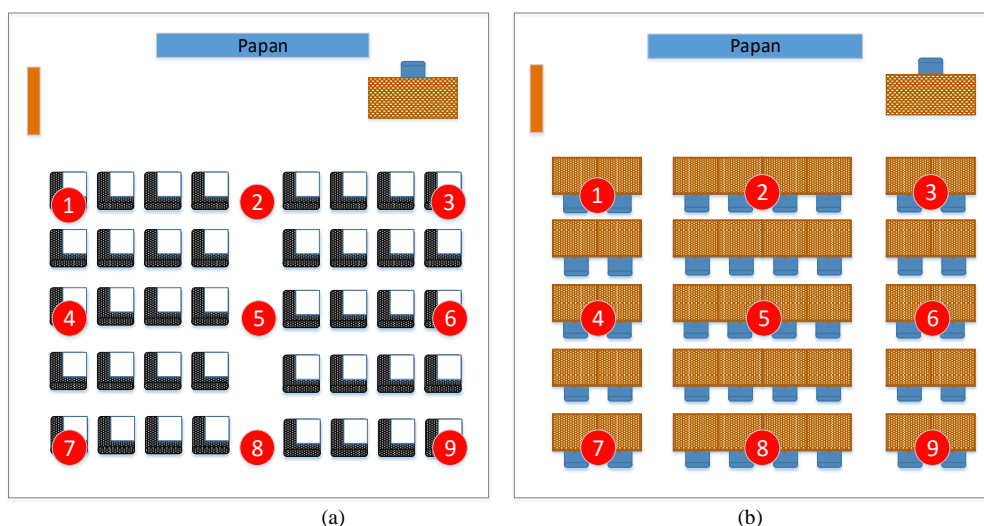
Langkah – langkah pengumpulan data disusun sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengklasifikasikan jam mata kuliah yang ditunjukkan pada tabel 1. Setiap kelas akan diambil nilai temperature luar gedung di sekitar kelas (T_e

Tabel 1. Pengelompokan jam kuliah di Teknik Industri, UB

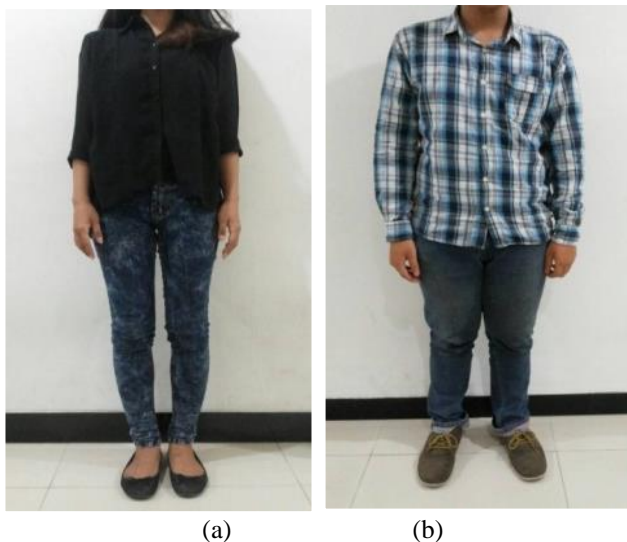
No	Kelas	Jam Kuliah	T _e (°C)
1	A	07.30 – 09.10 dan 07.30 – 10.00	29 °C
2	B	10.10 – 11.50 dan 10.10 – 12.40	30.1 °C
3	C	12.00 – 13.40, 12.00 – 14.30 dan 13.00 – 14.40	32.4 °C
4	D	13.40 – 15.20, 13.40 – 16.10, 14.40 – 16.20, 14.40 – 17.10 dan 14.45 – 17.15	31.3 °C
5	E	16.20 – 18.00	27.9 °C

2. Temperatur yang digunakan untuk diterapkan saat pengambilan data adalah 18°C, 20 °C, 22 °C, 24 °C, dan 26°C.
3. Pengukuran keadaan termal dilakukan pada 9 titik di dalam ruang kelas yang ditunjukkan pada gambar 2. Pengukuran keadaan termal dilakukan setiap 15 menit selama jam mata kuliah berlangsung. Dan pengukuran pada masing-masing titik dilakukan selama 1 menit. Dikarenakan responden dalam posisi duduk, maka pengukuran dilakukan pada ketinggian 1.1 meter dari permukaan lantai (ASHRAE, 2004).
4. Penyebaran kuesioner kenyamanan termal di akhir jam mata kuliah kepada seluruh peserta mata kuliah.

**Gambar 2. Titik Pengambilan Data pada Ruang Kelas (a) Layout A(b) Layout B**

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Batas nyaman untuk keadaan termal ruang kelas pada penelitian ini adalah dengan nilai PMV sebesar $-1 < PMV < +1$ dan nilai PPD 25%. Standar ini berlaku untuk pengukuran nilai PMV dan PPD berdasarkan pengukuran keadaan termal maupun persepsi individu berdasarkan kuesioner. Penilaian terhadap *clothing insulation* dan *metabolic rate* berdasarkan aktivitas dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pengolahan data dengan metode PMV dan PPD. Diasumsikan mahasiswa menggunakan pakaian umum perkuliahan seperti pada umumnya yang ditunjukkan pada Gambar 3. Penilaian *metabolic rate* berdasarkan kegiatan yang dilakukan mahasiswa ketika di dalam kelas yaitu duduk, mendengarkan dosen mengajar serta mencatat hal-hal yang dianggap penting terkait mata kuliah yang diajarkan. Dengan demikian menurut Stanton dkk (2005) maka nilai *metabolic rate* pada penelitian ini adalah sebesar 1.0 met atau setara dengan 58.2 W/m^2 .



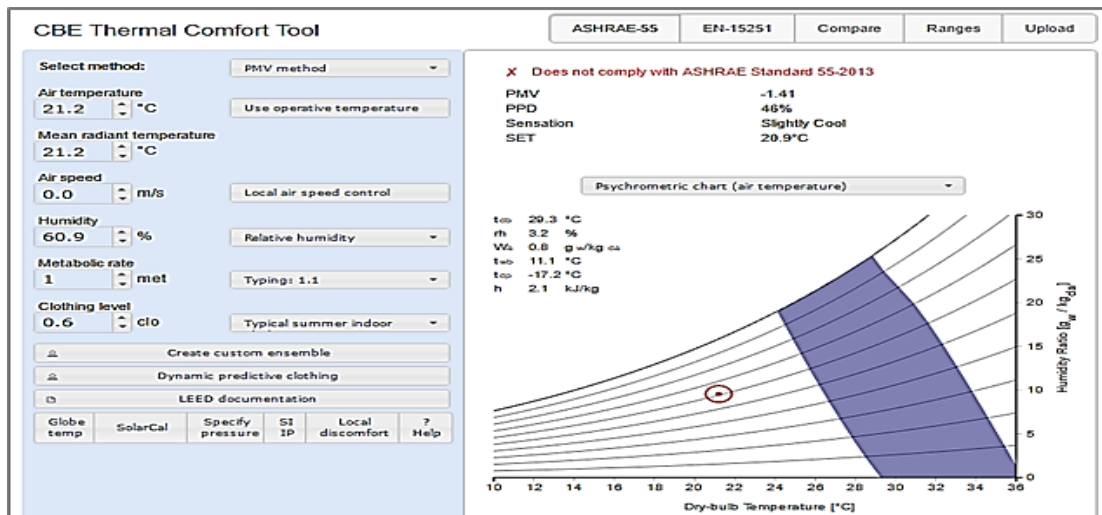
Gambar 3. Pakaian Perkuliahan, (a) Perempuan (b) Laki-laki

Perhitungan berdasarkan keadaan termal menggunakan dua cara yaitu dengan persamaan rumus PMV dan PMV *calculator*. Sebagai contoh mengukur pada titik 1 pengaturan temperatur AC 18°C untuk kelas kategori A dengan temperatur udara = 21.2°C, rata-rata temperatur radian = 21.2°C, kecepatan angin = 0.00 m/s, *Clothing insulation* = 0.60 clo dan *Metabolic rate* = 1.0 met. Berdasarkan rumus yang ditulis dalam buku karangan Stanton dkk (2005) nilai PMV dan PPD dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 PMV &= (0.303e^{-0.036M}0.028) \\
 &+ \{(M - W) - 3.05x10^{-3}x[5733 - 6.99 (M - W) - p_a] \\
 &- 0.42x[(M - W) - 58.15] - 1.7x10^{-5}M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) \\
 &- 3.96x10^{-8}f_{cl}x[(t_{cl} + 273)^4 - (MRT + 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \\
 &= (0.303 \times 2.718^{-0.036 \times 58.2}) \\
 &+ 0.028 \{(58.2 - 0) - 3.05x10^{-3}x[5733 - 6.99 (58.2 - 0) - 60.9] \\
 &- 0.42x[(58.2 - 0) - 58.15] - 1.7x10^{-5}58.2(5867 - 60.9) - 0.0014 \\
 &\times 58.2(34 - 21.2) - 3.96x10^{-8}1.109x[(37.2 + 273)^4 - (21.2 + 273)^4] \\
 &- 1.109 \times 4.1(37.2 - 21.2)\} \\
 &= -1.41
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PPD &= 100 - 95 \times e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)} \\
 &= 100 - 95 \times 2.718^{-(0,03353 \times (-1.41)^4 + 0,2179 \times (-1.41)^2)} \\
 &= 0.46 = 46\%
 \end{aligned}$$

Gambar 4 merupakan tampilan dari *thermal comfort tool* yang merupakan PMV *Calculator* yang digunakan pada pengolahan data pada titik 1 pengaturan temperatur AC 18°C untuk kelas kategori A. Berdasarkan perhitungan dengan dua cara di atas didapatkan hasil perhitungan PMV *calculator* dan persamaan adalah sama. Nilai PMV sebesar -1.41 dan nilai PPD sebesar 46%, dan titik tersebut berada pada zona sedikit dingin (*slightly cool*). Perhitungan PMV dan PPD dilakukan terhadap seluruh titik di ruang kelas.



Gambar 4. Thermal Comfort Tool pada Calculator PMV

Sebelum dilakukan perhitungan PMV dan PPD berdasarkan kuesioner, dilakukan uji validitas dan reliabilitas. Pengujian dilakukan menggunakan *software* SPSS 21. Apabila nilai *pearson correlation* ≥ 0.3 maka pertanyaan pada kuesioner tersebut dapat dikatakan valid (Blumandan Allan G., 2012). Kuesioner dikatakan reliabel ketika nilai *cronbach's alpha* ≥ 0.6 . Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kuesioner valid dan reliabel, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai PMV dan PPD dari kuesioner kenyamanan termal. Tabel 2 merupakan contoh hasil perhitungan PMV dan PPD dari kuesioner.

Tabel 2. Nilai PMV PPD Pengaturan Temperatur 18°C Berdasarkan Kuesioner

Kode	Skala Sensasi Termal							PMV	PPD
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3		
A18	7	12	6	4	0	0	0	-1.76	66%
B18	8	15	5	1	0	0	0	-2.03	79%
C18	2	8	10	11	3	0	0	-0.85	29%
D18	1	6	11	11	2	0	0	-0.77	23%
E18	8	14	10	4	0	0	0	-1.72	61%

Berdasarkan perhitungan seluruh PMV/ PPD kuesioner pada seluruh kelas, terdapat variasi sensasi termal yang dirasakan oleh mahasiswa yang membentuk suatu pola kenyamanan sesuai dengan jam mata kuliah. Kelas Kategori A dan E merasakan sensasi termal yang cenderung dingin. Hal ini dapat disebabkan oleh intensitas cahaya matahari masuk dalam kelas belum terlalu banyak. Berbeda dengan kelas kategori B, C dan D dimana sensasi termal yang dirasakan cenderung hangat karena intensitas cahaya matahari terik masuk dalam kelas sehingga berpengaruh terhadap keadaan di dalam kelas. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan keadaan kenyamanan termal optimal bagi mahasiswa berdasarkan standar ASHRAE maupun persepsi individu dari mahasiswa, maka dipilih pengaturan temperatur AC dengan kombinasi standar ASHRAE dan kuesioner yang memiliki nilai PPD terkecil. Tabel 3 menunjukkan rekomendasi pengaturan temperatur AC untuk masing-masing kategori kelas.

Tabel 3. Rekomendasi Pengaturan Temperatur AC Pada Kelas

No	Jam Mata Kuliah	Rekomendasi
1	Kelas Kategori A	26°C
2	Kelas Kategori B	24°C
3	Kelas Kategori C	22 °C
4	Kelas Kategori D	22 °C
5	Kelas Kategori E	26 °C

Kelas Kategori A dan Kelas Kategori E direkomendasikan menggunakan pengaturan temperatur AC sebesar 26°C yang akan menghasilkan temperatur ruangan sebesar 26.2°C, dengan pengaturan temperatur AC demikian akan menghasilkan nilai PPD untuk Kelas Kategori A dan E berdasarkan standar ASHRAE sebesar 10%. Sedangkan untuk Kelas Kategori B direkomendasikan menggunakan pengaturan temperatur AC 24°C yang nantinya temperatur ini akan menghasilkan temperatur ruangan sebesar 24.4°C, dimana akan dihasilkan nilai PPD berdasarkan standar ASHRAE sebesar 6%. Untuk Kelas Kategori C dan D direkomendasikan menggunakan temperatur AC sebesar 22°C. Dengan pengaturan tersebut akan didapatkan temperatur ruangan berkisar 23.2°C untuk Kelas Kategori C dan 23.5°C untuk Kelas Kategori D. Keadaan ini akan menghasilkan nilai PPD untuk Kelas Kategori C sebesar 15% berdasarkan standar ASHRAE. Dan untuk Kelas Kategori D didapatkan nilai PPD berdasarkan standar ASHRAE sebesar 11%. Rekomendasi ini merupakan hasil kombinasi nilai PPD terkecil berdasarkan standar ASHRAE

4. KESIMPULAN

1. Penelitian ini telah berhasil menunjukkan bagaimana penggunaan PMV dan PPD untuk mengevaluasi dan memperbaiki kenyamanan termal penghuni ruangan kelas. PMV didasarkan pada pengukurun temperature, mean radian temperature, kelembaban relative, kecepatan angin, metabolisme dan insulasi pakaian. Sedangkan PPD didasarkan pada persepsi panas yang dirasakan oleh pengguna ruangan kelas.
2. Dalam penelitian ini jam mata kuliah diklasifikasikan menjadi 5 kategori yaitu Kategori A, B, C, D dan E. Untuk Kelas Kategori A dan E direkomendasikan menggunakan pengaturan temperatur AC sebesar 26°C. Sedangkan untuk Kelas Kategori B direkomendasikan menggunakan pengaturan temperatur AC 24°C yang akan menghasilkan temperatur ruangan sebesar 24.4°C. Untuk Kelas Kategori C dan D direkomendasikan menggunakan temperatur AC sebesar 22°C. Akan didapatkan temperatur ruangan berkisar 23.2°C untuk Kelas Kategori C dan 23.5°C untuk Kelas Kategori D.

DAFTAR PUSTAKA

- Talarosha, B., 2005. *Menciptakan Kenyamanan Thermal dalam Bangunan*, Jurnal Sistem Teknik Industri Volume 6, No. 3.
- Susanti, Lusi dan Nike Aulia. 2013. *Evaluasi kenyamanan termal ruang sekolah SMA negeri di kota Padang*. Jurnal Optimasi Sistem Industri. 12 (1): 310-316.
- Soegijanto, 1999. *Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*. Jakarta: DekDikBud
- Adler, Rachel F dan Fich Raquel Benbunan. 2012. *Juggling on a High Wire: Multitasking Effects on Performance*. International Journal of Human-Computer Studies 70: 156-168.
- ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. 2004. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Copyright 2004 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc. 1791 Tullie Circle NE Atlanta, GA 30329, ISSN 1041-2336:1-26
- Bluman, Allan G. 2012. *Elementary Statistics: A Step by Step Approach*, Eighth Edition. USA: McGraw-Hill.
- Stanton et.al. (2005). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. CRC Press