



Artikel Penelitian

## Pemilihan dan Implementasi Strategi Peningkatan Kenyamanan Termal Ruang Kuliah

Lusi Susanti, Hary Fandeli

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Kecamatan Pauh, Padang, 25163, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

#### Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 11 April 2017

Revisi Akhir: 13 Juni 2017

Diterbitkan Online: 1 Juli 2017

### KATA KUNCI

Analytical Hierarchy Process  
 Predicted Mean Vote  
 Predicted Percentage Dissatisfied  
 Thermal comfort strategies  
 Thermal vote

### KORESPONDENSI

Telepon: 0751-72497

E-mail: [susantilusi@gmail.com](mailto:susantilusi@gmail.com)

### A B S T R A C T

Optimum conditions help us think and work better. Thermal comfort in lecture buildings is important to maintain students's comfort and help them concentrate on study. The fastest way to achieve expected thermal comfort inside the lecture room is using air conditioner, however, compensation on high electricity bills and degradation of the environmental quality has to be made. Therefore, the aim of this paper is to find and promote several environmental friendly strategies which can provide comfort to users in one hand, but also can reduce energy consumption in another hand. There have been several strategies in records to increase thermal comfort in buildings. To select the best and the most appropriate alternative, Analytical Hierarchy Process method was used by setting the criteria, sub-criteria, and alternatives to increase thermal comfort in lecture buildings of Andalas University. To test the selected alternative, thermal comfort inside two lecture rooms were evaluated experimentally. The comfort level was evaluated using PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) model. For all experimental conditions, PMV and PPD results and individual thermal vote results showed a good match statistically meaning that the PMV and PPD models could predict thermal condition inside the lecture rooms. Results also showed that the presence of natural vegetation in front of glass windows of the lecture rooms statistically improved thermal comfort sensations of students under natural ventilation mode and reduced thermostat setting under air conditioning mode.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Wilayah Indonesia terletak di daerah tropis yang dilintasi oleh garis khatulistiwa sehingga menimbulkan berbagai persoalan iklim yang berkaitan langsung dengan kondisi kenyamanan termal di suatu wilayah. Kenyamanan termal sangat dibutuhkan tubuh agar manusia dapat beraktifitas dengan baik, baik aktivitas di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Szokolay [1] menyebutkan kenyamanan tergantung pada variabel iklim matahari atau radiasinya, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin serta beberapa faktor individual seperti pakaian, aklimatisasi, usia dan jenis kelamin, tingkat kegemukan, tingkat kesehatan, jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi, serta warna kulit. Kondisi iklim tersebut juga berdampak pada kenyamanan termal pada gedung-gedung.

Universitas Andalas (UNAND) merupakan salah satu universitas negeri di Indonesia yang terletak di Ibukota Sumatera Barat, yaitu Kota Padang. Dalam melaksanakan fungsinya sebagai lembaga pendidikan di Indonesia, UNAND harus menyediakan fasilitas

yang nyaman agar proses perkuliahan dapat berjalan dengan baik. Berdasarkan hasil survey dan wawancara ke beberapa mahasiswa di Universitas Andalas, salah satu permasalahan lingkungan yang umumnya sering dikeluhkan oleh sebagian mahasiswa adalah kondisi gedung perkuliahan yang tidak nyaman sehingga membuat kinerja dan konsentrasi dari individu tersebut tidak optimal.

Rahmadani [2] telah melakukan penelitian mengenai evaluasi kenyamanan termal ruang perkuliahan di UNAND dengan melakukan pengukuran variabel lingkungan fisik yang menjadi faktor kenyamanan termal, yaitu temperatur udara, temperatur radiasi, kelembaban relatif, kecepatan angin, nilai insulasi pakaian dan nilai tingkat aktifitas di beberapa ruang perkuliahan yang ada di UNAND.

Berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa kondisi termal pada gedung-gedung perkuliahan di UNAND masih belum sesuai dengan kondisi standar berdasarkan ASHRAE 55-92 yaitu 23°C–26°C. Tabel 1 menggambarkan kondisi kenyamanan termal di beberapa gedung kuliah di UNAND

Tabel 1. Kondisi kenyamanan termal gedung kuliah di UNAND [2]

Ruangan	Jenis Pendingin Ruang	Temperatur Rata-Rata (°C)	Temperatur Radiasi (°C)	Kelembaban Udara (%)	Kecepatan Udara (m/s)	Sensasi Kenyamanan Termal
Ruang Rapat Teknik Industri	AC	24,73	25.15	62.48	0	Netral
RSTA A Teknik Mesin	Alami	27,37	27.53	76.56	0	Sedikit Panas
Ruangan C1.11	Alami	28,27	28.50	70.50	0	Sedikit Panas
Ruangan B2.1	Alami	28,69	28.84	64.17	0	Sedikit Panas
RSTA 1 Teknik Industri	Alami + Kipas Angin	27,97	28.42	76.55	0.5	Sedikit Panas
Ruangan G2.6	Alami	27,58	28.36	68.20	0	Sedikit Panas
Ruangan D2.5	Alami	27,58	28.78	72.37	0	Sedikit Panas

Berdasarkan kondisi termal di atas, UNAND harus melakukan upaya tertentu untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang perkuliahan. Perkembangan teknologi saat ini berperan aktif memberikan solusi untuk permasalahan kenyamanan termal. Secara umum terdapat dua cara untuk meningkatkan kenyamanan termal, yaitu secara mekanis dan secara alami. Masing-masing cara ini memiliki keunggulan dan kekurangan. Upaya secara mekanis terlihat lebih efektif dan mudah, salah satunya menggunakan *air conditioner* (AC). Namun penggunaan cara ini dalam waktu dan jumlah yang besar akan menimbulkan beberapa dampak negatif diantaranya peningkatan biaya konsumsi listrik, meningkatkan produksi gas emisi CO<sub>2</sub> ke udara dan sejumlah gangguan kesehatan akibat sirkulasi udara yang tidak baik yang dikenal juga dengan istilah *sick building syndrome*.

Alternatif lain yang memungkinkan dalam upaya peningkatan kenyamanan termal adalah dengan melihat kembali cara atau metoda yang lebih natural atau alami untuk mendapatkan kenyamanan termal di dalam bangunan. Upaya yang bisa dilakukan adalah dengan memasang ventilasi udara yang cukup, menggunakan *vertical garden*, *vertical blind*, *horizontal blind* dan *aqua blind*. Dari segi kesehatan dan penggunaan energi, cara ini tentu lebih baik dibanding cara-cara mekanis. Akan tetapi di sisi lain upaya ini juga memiliki beberapa kekurangan. Ventilasi udara hanya sebagai jalan untuk masuknya udara dari luar ke dalam ruangan. Ketika udara panas masuk ke dalam ruangan, maka kenyamanan termal di ruangan tersebut akan menurun. Pada ruangan dengan *vertical garden* akan memungkinkan terciptanya kondisi nyaman optimal terutama pada saat pagi hari. Namun ketika siang sampai dengan sore hari kondisi nyaman optimal tidak dapat dicapai karena naiknya kelembaban udara yang menjadikan temperatur di dalam ruangan juga ikut naik. Artinya pada saat siang hingga sore hari ruangan yang menggunakan konsep *vertical garden* juga akan terasa panas [3]. Selain itu *vertical garden* juga akan menimbulkan persoalan lain, yaitu kebersihan di sekitar area tanaman dan perawatan tanaman yang harus dilakukan secara berkala. Pada gedung-gedung yang tinggi, aplikasi *vertical garden* juga sulit untuk diterapkan. Sementara itu penggunaan tirai (*horizontal blind* atau *vertical blind*) akan menghambat cahaya yang akan masuk ke ruangan. Akibatnya ruangan harus menggunakan penerangan tambahan berupa lampu.

Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan ketika diterapkan pada suatu bangunan, sehingga perlu dilakukan pemilihan metode yang paling tepat agar tujuan yang diinginkan dapat tercapai. Proses pemilihan alternatif ini

mempertimbangkan beberapa faktor yang berhubungan dengan kondisi ruang perkuliahan di UNAND. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan diantaranya adalah orientasi bangunan, luas bukaan ruangan, jumlah pengguna ruangan dan sebagainya. Pengambilan keputusan untuk peningkatan kenyamanan termal harus dilakukan dengan tepat dan mempertimbangkan kriteria dan faktor yang relevan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk memilih upaya peningkatan kenyamanan termal yang tepat berdasarkan kriteria-kriteria tertentu dan alternatif yang memungkinkan.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan dan menerapkan alternatif terpilih untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang kuliah di UNAND.
2. Mengukur kondisi kenyamanan termal pada saat sebelum dan setelah penerapan alternatif terpilih.
3. Membandingkan kondisi kenyamanan termal ruang kuliah sebelum dan setelah dilakukan penerapan alternatif terpilih.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kenyamanan Termal

American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers/ASHRAE [4], mendefinisikan kenyamanan termal sebagai perasaan dimana seseorang merasa nyaman dengan keadaan temperatur lingkungannya, yang dalam konteks sensasi digambarkan sebagai kondisi dimana seseorang tidak merasakan kepanasan maupun kedinginan pada lingkungan tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu temperatur ruangan, temperatur radiasi, kelembaban udara, kecepatan angin, nilai insulasi pakaian dan tingkat metabolisme individu.

### 2.2. Skala PMV dan PPD

*Predicted Mean Vote* (PMV) merupakan skala untuk mengindikasikan rasa dingin dan hangat yang dirasakan oleh manusia. Nilai PMV menentukan rentang sensasi termal yang dirasakan orang terhadap lingkungan di sekitarnya. Indeks PMV ini berkisar dari -3 (sangat dingin) sampai dengan +3 (sangat panas). Nilai nol adalah netralitas termal, bukan kenyamanan termal. Setelah faktor lingkungan dan faktor subyektif diukur, maka untuk sensasi termal untuk tubuh secara keseluruhan dapat diprediksi dengan cara menghitung indeks PMV (Fanger dalam Aulia [5]), yang didasarkan pada keseimbangan panas dari tubuh manusia.

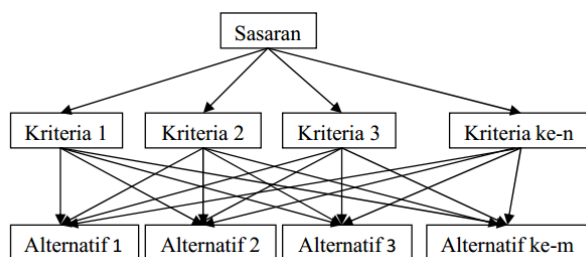
*Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) merupakan banyaknya orang (dalam persentase) yang tidak puas terhadap keadaan termal di lingkungan sekitar. Orang diasumsikan tidak puas terhadap keadaan termal apabila indeks PMV yang dirasakannya adalah -3 (sangat dingin), -2 (dingin), +2 (panas), dan +3 (sangat panas). Semakin besar persentase PPD, maka semakin banyak penghuni yang merasa tidak puas. Tabel 2 menjelaskan skala kenyamanan termal menurut ASHRAE [4].

Tabel 2. Skala Kenyamanan Termal [4]

PMV	Thermal Sensation	PPD (%)
+3	Hot	100
+2	Warm	75
+1	Slightly warm	25
0	Neutral	5
-1	Slightly cool	25
-2	Cool	75
-3	Cold	100

### 2.3. Analytical Hierarchy Process

*Analytical Hierarchy Process* (AHP) dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970-an. Metode ini merupakan salah satu model pengambilan keputusan multi kriteria yang dapat membantu kerangka berpikir manusia di mana faktor logika, pengalaman, pengetahuan, emosi, dan rasa dioptimalkan ke dalam suatu proses sistematis. AHP adalah metode pengambilan keputusan yang dikembangkan untuk pemberian prioritas beberapa alternatif ketika beberapa kriteria harus dipertimbangkan, serta mengizinkan pengambil keputusan (*decision makers*) untuk menyusun masalah yang kompleks ke dalam suatu bentuk hirarki atau serangkaian level yang terintegrasi. Umumnya AHP digunakan untuk pengambilan keputusan dalam menyelesaikan masalah-masalah dalam hal perencanaan, penentuan alternatif, penyusunan prioritas, pemilihan kebijakan, alokasi sumber daya, penentuan kebutuhan, peramalan hasil, perencanaan hasil, perencanaan sistem, pengukuran performansi, optimasi, dan pemecahan konflik [6]. Bagan struktur hirarki AHP dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Hirarki

### 2.4. Analisis Uji Beda (Komparatif)

Analisis komparatif adalah teknik analisis yang digunakan untuk melihat kecenderungan rata-rata antara dua atau lebih kelompok sampel data. Teknik ini sering digunakan untuk menguji hipotesis penelitian eksperimen. Sebelum dilakukan analisis komparatif, data yang akan diolah harus memenuhi asumsi normalitas. Jika asumsi normalitas terpenuhi maka dilakukan analisis komparatif menggunakan metode-metode statistika parametrik. Sementara itu jika asumsi normalitas tidak terpenuhi maka dilakukan


analisis komparatif menggunakan metode-metode statistika nonparametrik [7].

## 3. METODOLOGI

Tahapan penelitian ini dimulai dengan menetapkan sejumlah alternatif untuk meningkatkan kenyamanan termal yang diperoleh dari studi sejumlah literature. Dari sejumlah alternatif tersebut selanjutnya dilakukan proses pemilihan alternatif yang paling optimum dari sejumlah kriteria yang ditetapkan, melalui diskusi dan wawancara dengan pakar di bidang kenyamanan gedung. Tahapan ini dikenal juga dengan metode AHP.

Implementasi alternatif terpilih dilakukan pada salah satu ruang kuliah di UNAND. Penentuan ruangan yang akan dijadikan tempat pengambilan data dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan. Karakteristik ruangan yang dipertimbangkan adalah orientasi bangunan, kondisi pendingin ruangan, keberadaan vegetasi dan kapasitas ruangan. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka ruangan yang dipilih adalah ruang RSTA 2 di Gedung Teknik Industri (TI). Tabel 3 menunjukkan karakteristik ruangan RSTA 2 secara rinci.

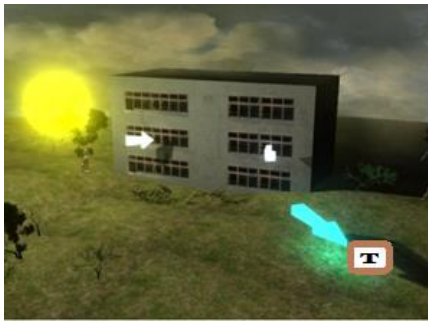
Tabel 3. Karakteristik Ruang RSTA 2

Tampak atas gedung	Orientasi gedung	Jenis ventilasi ruangan	Rincian tentang ruangan
	Tenggara - Barat Laut	Jendela kaca, ventilasi alami	Ukuran : 9,6 m x 8 m
			Jenis pendingin mekanis: 1. Kipas angin (1 unit) 2. Air conditioner (2 unit)
			Tidak ada vegetasi
			Terletak di lantai 2
			Kapasitas maksimal : 40 orang

Berikut adalah beberapa alasan dalam pemilihan RSTA 2 sebagai lokasi penelitian:

1. Ruang RSTA 2 memiliki orientasi Tenggara – Barat Laut, dimana orientasi ini merupakan arah lintasan dari cahaya matahari, sehingga menyebabkan temperatur ruang dan radiasinya akan lebih tinggi dibanding ruangan lain yang memiliki orientasi berbeda.
2. Ruang RSTA 2 terletak di lantai 2 gedung TI sehingga pada beberapa waktu cahaya matahari langsung menembus ke dalam ruangan.
3. Tidak terdapat vegetasi di sekitar gedung sehingga terasa panas dan minim pergerakan udara.

Sementara itu, lokasi ruangan RSTA 2 pada gedung TI dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Ruang RSTA 2 Pada Gedung TI

Langkah selanjutnya adalah pengumpulan data kenyamanan termal berupa temperatur udara, temperatur radiasi, kecepatan angin dan kelembaban. Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran langsung di ruang penelitian dan penyebaran kuesioner kepada pengguna ruangan tersebut. Data-data tersebut diolah dengan tahapan sebagai berikut:

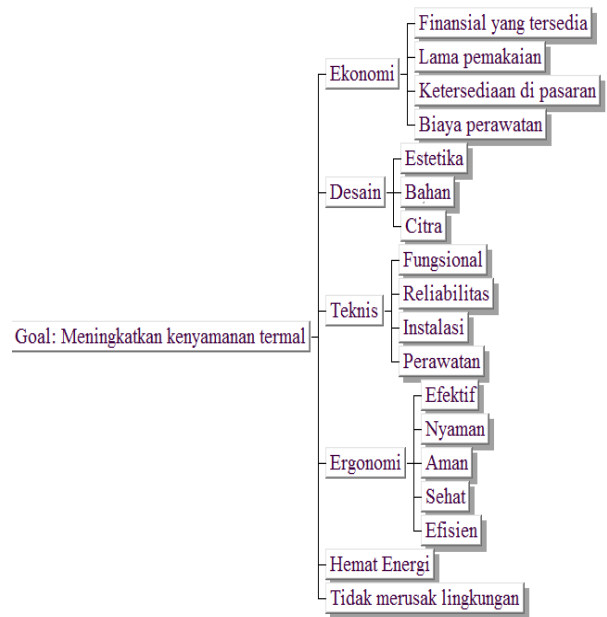
1. Menentukan alternatif pemecahan masalah untuk meningkatkan kenyamanan termal. Metode yang digunakan adalah AHP dengan bantuan *software expert choice*.
2. Menentukan nilai dari tingkat metabolisme pengguna ruangan. Aktifitas di ruang penelitian diasumsikan tetap yaitu aktifitas dengan posisi duduk, membaca sehingga tingkat metabolisme dari mahasiswa diasumsikan memiliki nilai yang sama.
3. Menentukan nilai insulasi pakaian pengguna ruangan. Pakaian yang dikenakan responden diasumsikan memiliki nilai resistensi yang sama terhadap lingkungan termal untuk masing-masing jenis kelamin.
4. Perhitungan PMV (*Predicted Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) dapat dilakukan menggunakan aplikasi *PMV\_cal.xls* yang dikembangkan oleh Hakan Nilsson dari *Department of Technology and Built Environment Laboratory of Ventilation and Air Quality, University of Gävle*.
5. Menentukan indeks PMV dan PPD melalui kuisisioner *individual vote*. Penentuan nilai ini dilakukan untuk mengetahui sebaran data. Parameter yang akan ditentukan adalah berupa *mean* dan persentase data.
6. Pengujian statistik dari hasil perhitungan PMV dan PPD. Pengujian yang dilakukan adalah uji kenormalan data dan uji beda dua sampel.
7. Membandingkan kondisi kenyamanan termal yang dirasakan saat sebelum dan setelah dilakukan penerapan alternatif pemecahan masalah yang terpilih.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

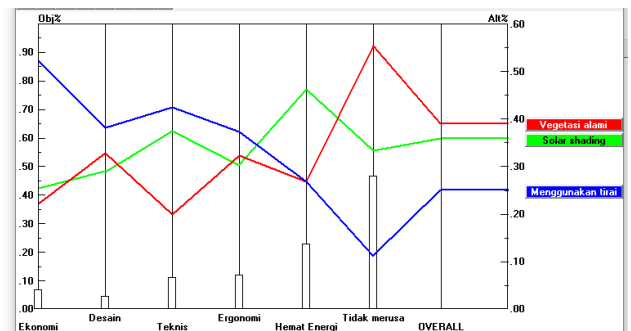
### 4.1. Pemilihan Alternatif Peningkatan Kenyamanan Termal

Pemilihan alternatif untuk meningkatkan kenyamanan termal dilakukan menggunakan metode AHP. Tahapan awal pada metode ini adalah menyusun struktur hirarki AHP yang terdiri dari kriteria, subkriteria dan alternatif. Gambar 3 merupakan struktur hirarki dalam menentukan upaya untuk peningkatan kenyamanan termal. Setelah dilakukan pengolahan data AHP menggunakan *software expert choice*, maka diperoleh hasil seperti Gambar 4. Berdasarkan gambar terlihat bahwa upaya

terbaik untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang kuliah di UNAND adalah menggunakan vegetasi alami.



Gambar 3. Struktur hirarki pemilihan metoda peningkatan kenyamanan termal



Gambar 4. Alternatif Terpilih Menggunakan Software Expert Choice

### 4.2. Data Pengukuran Kenyamanan Termal

Pengumpulan data penelitian dilakukan di ruangan kuliah RSTA 2 Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik UNAND. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 17 Oktober–11 November 2016. Jumlah hari pengamatan pada adalah 3 hari dengan waktu pengamatan tiap harinya adalah dari pukul 07.30 - 15.30 WIB. Dalam satu hari pengambilan data terdiri dari empat shift sehingga setiap shift terdiri dari dua jam. Pengambilan data hanya dilakukan ketika temperatur iklim di luar ruangan pada kondisi iklim rata-rata di Kota Padang, yaitu antara 26°C sampai 34°C. Pengukuran kenyamanan termal dilakukan pada 5 kondisi ruangan yang berbeda seperti ditampilkan pada Tabel 4. Selain itu, pengumpulan data kenyamanan termal juga dilakukan menggunakan kuesioner *individual vote* yang disebar kepada beberapa pengguna ruangan. Penilaian sensasi termal pengguna ruangan dilakukan dengan cara mengisi kuesioner yang telah disediakan. Kuesioner terdiri atas 7 pertanyaan, 1 pertanyaan mengenai jenis kelamin pengguna ruangan dan 6 pertanyaan yang menjelaskan mengenai sensasi termal yang dirasakan oleh pengguna ruangan. Total responden yang terlibat dalam penelitian ini adalah sebanyak 589 orang.

Tabel 4. Kondisi Ruangan Saat Pengukuran Kenyamanan Termal

No	Kondisi	Kondisi Alternatif Terpilih	Kondisi Pendingin Mekanis	
			Kipas Angin	Pendingin Ruang (AC)
1	Kondisi 1	Tanpa Alternatif Terpilih	On	On (20°C)
2	Kondisi 2	Tanpa Alternatif Terpilih	Off	Off
3	Kondisi 3	Menggunakan Alternatif Terpilih	On	On (20°C)
4	Kondisi 4	Menggunakan Alternatif Terpilih	Off	Off
5	Kondisi 5	Menggunakan Alternatif Terpilih	On	On (24°C)

4.3. Perhitungan Nilai PMV dan PPD

Perhitungan nilai PMV dan PPD dihitung dengan menggunakan salah satu aplikasi dari Ms. Excel yaitu PMV\_cal.xls. Aplikasi ini dikembangkan oleh Hakan Nilsson dari Department of Technology and Built Environment Laboratory of Ventilation and Air Quality, University of Gävle. Cara kerja dari aplikasi ini adalah dengan memasukkan nilai dari keenam variabel kenyamanan termal, yaitu temperatur udara, temperatur radiasi, kelembaban relatif, kecepatan angin, nilai insulasi pakaian dan nilai dari tingkat aktifitas yang dilakukan (Nilsson dalam Putri [8]).

Selain berdasarkan 6 variabel pengukuran kenyamanan termal, perhitungan nilai PMV dan PPD juga dapat diperoleh melalui perhitungan skala penilaian kenyamanan termal berdasarkan jawaban responden pada kuesioner individual vote. Penentuan nilai PMV berdasarkan individual vote adalah melalui jawaban responden pada pertanyaan kedua yaitu tentang kondisi temperatur ruangan yang dirasakan oleh responden. Perhitungan Nilai PMV melalui metode ini dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Mean = (\sum_{i=-3}^{+3} ni . i) / N \tag{1}$$

Rekapitulasi nilai PMV dan PPD pada semua kondisi penelitian dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 5 sampai dengan Gambar 8.

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai PMV dan PPD pada Semua Kondisi

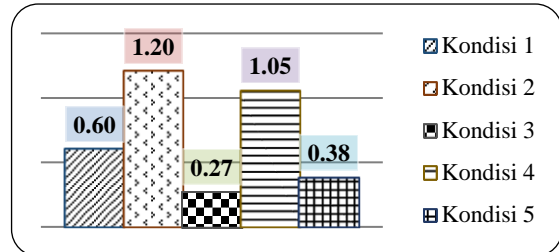
Kondisi	Pengukuran		Individual vote	
	PMV	PPD (%)	PMV	PPD (%)
1	0.60	14.12	0.47	10.37
2	1.20	35.60	1.27	29.62
3	0.27	9.00	0.23	7.13
4	1.05	28.84	1.08	23.77
5	0.38	8.75	0.33	7.72

4.4. Pengujian Kenormalan Data

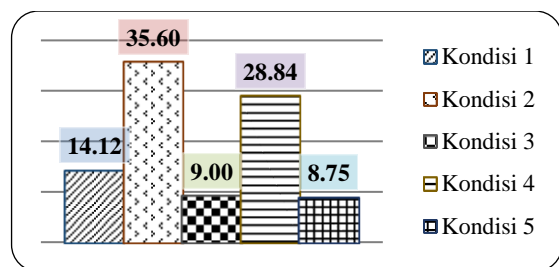
Pengujian kenormalan data dilakukan untuk mengetahui distribusi penyebaran data untuk semua shift dan hari pengamatan. Data yang digunakan untuk uji normal adalah data data hasil perhitungan PMV dan PPD dari semua metode dan semua kondisi

dalam penelitian. Proses uji normal ini menggunakan software SPSS dengan metode Shapiro-Wilk. Output dari uji normal menjelaskan hasil uji apakah apakah distribusi data tersebut diakatakan normal atau tidak. Pedoman pengambilan keputusannya adalah [9]:

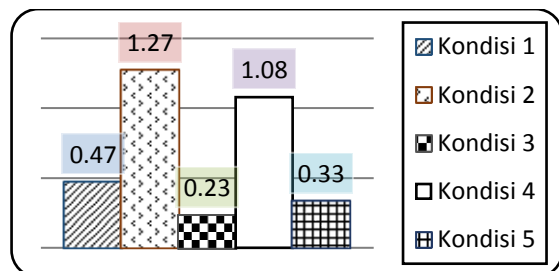
- Nilai sig. < 0,05, maka data tidak berdistribusi normal
- Nilai sig. > 0,05, maka data berdistribusi normal



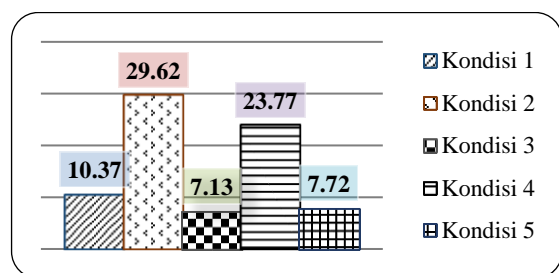
Gambar 5. Nilai PMV Pengukuran pada Semua Kondisi Penelitian



Gambar 6. Nilai PPD Pengukuran pada Semua Kondisi Penelitian



Gambar 7. Nilai PMV Individual Vote pada Semua Kondisi Penelitian



Gambar 8. Nilai PPD Individual Vote pada Semua Kondisi Penelitian

Pada Tabel 6 ditampilkan hasil pengujian kenormalan data untuk kondisi 1. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan software IBM SPSS maka diketahui bahwa data pada semua kondisi penelitian berdistribusi normal.

Tabel 6. Pengujian kenormalan data pada kondisi 1

Metode	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PMV hitung	.126	12	.200	.978	12	.976
PMV i.vote	.215	12	.131	.907	12	.194
PPD hitung	.183	12	.200	.893	12	.128
PPD i.vote	.209	12	.154	.882	12	.093

#### 4.5. Pengujian Komparasi Data

Pengujian komparasi (perbandingan) dilakukan untuk menguji hipotesis mengenai ada atau tidaknya perbedaan antar variabel atau sampel yang diteliti. Pengujian ini bisa menggunakan metode statistika parametrik maupun statistika nonparametrik. Beberapa metode pengujian komparasi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Metode Pengujian Data Komparatif

Pengujian Data Komparatif	Data berdistribusi normal	Data tidak berdistribusi normal
<i>Independent</i>	Uji tanda	Mann-Whitney U
<i>Dependent</i>	Uji tanda	Wilcoxon W

Pada pengujian dua sampel tidak saling berhubungan (*independent*), nilai PMV dan PPD yang diperoleh berdasarkan perhitungan dan berdasarkan individual vote tidak berbeda secara signifikan. Berdasarkan hasil tersebut maka disimpulkan bahwa perhitungan PMV dan PPD bisa memprediksi kondisi termal yang dirasakan oleh pengguna ruangan.

Sementara itu *dependent sample test* digunakan untuk menguji apakah ada perbedaan nilai PMV dan PPD pada kondisi sebelum dan setelah diterapkan vegetasi alami pada ruangan yang dijadikan tempat penelitian. Berikut ini ditampilkan *output* SPSS dari pengujian *dependent sample test* untuk melihat perbedaan nilai PMV dan PPD yang diperoleh sebelum dan setelah diterapkan vegetasi alami. Perbandingan dilakukan untuk 3 pasang kondisi, yaitu:

Tabel 8. Uji Wilcoxon pada kondisi 1 dan kondisi 3

		PMV vegetasi - PMV non vegetasi	PPD vegetasi - PPD non vegetasi
Z		-1.986	-2.173
Asymp. Sig. (2-tailed)		.047	.030
Monte Carlo Sig. (2-tailed)	Sig.	.042	.000
	95% confidence interval	Lower Bound	.000
		Upper Bound	.122
Monte Carlo Sig. (1-tailed)	Sig.	.042	.000
	95% confidence interval	Lower Bound	.000
		Upper Bound	.122

Tabel 9. Uji t berpasangan pada kondisi 2 dan kondisi 4

		Pair Differences		95% confidence interval of the		t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Lower	Upper				
Pair 1	PMV non vegetasi - PMV vegetasi	.17042	.24071	.04914	0.6877	.27206	3.468	23	.002
Pair 2	PPD non vegetasi - PPD vegetasi	8.05417	7.67559	1.56677	4.81305	11.29529	5.141	23	.000

1. Kondisi 1 (tanpa vegetasi) dengan Kondisi 3 (dengan vegetasi), namun sama-sama menggunakan pendingin mekanis. Pengujian menggunakan metode Wilcoxon karena data pada kondisi 3 tidak berdistribusi normal. *Output* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil pengolahan di atas maka dapat dilihat bahwa nilai sig. 2-tailed dari PMV = 0,047 < 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai PMV pada kondisi tanpa vegetasi dengan kondisi dengan menggunakan vegetasi. Sementara itu nilai sig. 2-tailed dari PPD = 0,03 < 0,05, artinya terdapat perbedaan nilai PPD yang dirasakan pengguna ruangan pada kondisi tanpa vegetasi dan pada kondisi dengan menggunakan vegetasi.

2. Kondisi 2 (tanpa vegetasi) dengan Kondisi 4 (dengan vegetasi), namun sama-sama tidak menggunakan pendingin mekanis. Pengujian menggunakan metode t-test karena data kondisi 2 dan kondisi 4 berdistribusi normal. *Output* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 9.

Hasil pengolahan di atas menunjukkan bahwa nilai sig. 2-tailed dari PMV = 0,002 < 0,05, maka dapat disimpulkan adanya perbedaan nilai PMV pada kondisi tanpa vegetasi dengan kondisi dengan menggunakan vegetasi. Hal yang sama juga berlaku untuk nilai PPD, dimana nilai sig. 2-tailed PPD = 0,00 < 0,005.

3. Kondisi 3 (Temperatur AC = 20°C) dengan Kondisi 5 (Temperatur AC = 24°C), namun sama-sama menggunakan vegetasi alami. Pengujian menggunakan metode Wilcoxon karena data pada kondisi 3 dan kondisi 5 tidak berdistribusi normal. *Output* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 10. Berdasarkan hasil pengolahan maka dapat dilihat bahwa nilai sig. 2-tailed dari PMV = 0,107 > 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai PMV pada kondisi setelan temperatur AC = 20°C dengan setelan temperatur AC = 24°C. Sementara itu nilai sig. 2-tailed dari PPD = 0,295 > 0,05 sehingga tidak ada perbedaan nilai PPD secara signifikan yang dirasakan pengguna oleh ruangan pada kedua kondisi tersebut.



Tabel 10. Uji Wilcoxon pada kondisi 3 dan kondisi 5

			PMV AC 24C - PMV AC 20C	PPD AC 24C - PPD AC 20C
Z			-1.613	-1.045
Asymp. Sig. (2-tailed)			.107	.296
Monte Carlo Sig. (2-tailed)	Sig.		.167	.292
	95% confidence interval	Lower Bound	.018	.110
		Upper Bound	.316	.474
Monte Carlo Sig. (1-tailed)	Sig.		.083	.083
	95% confidence interval	Lower Bound	.000	.000
		Upper Bound	.194	.194

## 4.6. Analisis

### 4.6.1. Pemilihan Alternatif Peningkatan Kenyamanan Termal

Metode yang digunakan dalam pemilihan alternatif untuk meningkatkan kenyamanan termal adalah metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Pada penelitian ini penentuan AHP dilakukan menggunakan bantuan *software* Expert Choice. Tujuan utama dari metode ini adalah menentukan alternatif terpilih yang tepat untuk meningkatkan kenyamanan termal ruangan kuliah berdasarkan karakteristik bangunan yang ada di UNAND. Berdasarkan tujuan ini, terdapat kriteria- kriteria dan beberapa subkriteria yang dijadikan acuan dalam memilih alternatif pemecahan masalah yang tepat. Pemilihan kriteria dan subkriteria ini didasarkan pada beberapa literatur yang mengkaji topik yang sama. Kriteria dan subkriteria tersebut kemudian divalidasi oleh 3 orang pakar di bidang arsitektur. Tujuan validasi ini adalah untuk mengetahui apakah kriteria dan subkriteria tersebut cocok dan bisa diterapkan pada ruang kuliah di UNAND. Setelah dilakukan validasi, terdapat 6 kriteria yang akan dijadikan acuan dalam memilih alternatif untuk peningkatan kenyamanan termal, yaitu ekonomi, desain, teknis, ergonomi, hemat energi dan tidak merusak lingkungan.

Berdasarkan pengolahan menggunakan *software expert choice* maka kriteria yang memberikan bobot terbesar dalam pemilihan kenyamanan termal adalah kriteria tidak merusak lingkungan, yaitu sebesar 46%. Kriteria selanjutnya secara berturut-turut adalah hemat energi (22,1%), ergonomi (11,4%), teknis (10,5%), ekonomi (6,3%) dan desain (3,8). Hal ini berarti para pakar menginginkan bahwa kriteria utama dalam pemilihan alternatif peningkatan kenyamanan termal adalah tidak merusak lingkungan. Berdasarkan kombinasi 6 kriteria tersebut, maka vegetasi alami menjadi pilihan tepat dalam meningkatkan kenyamanan termal ruangan. Dengan demikian maka alternatif yang diterapkan di ruang kuliah untuk penelitian ini adalah dengan menggunakan vegetasi alami.

### 4.6.2. Analisis Kenyamanan Termal Ruangan

Kenyamanan termal merupakan suatu sensasi termal yang dirasakan oleh tiap orang berupa perasaan yang menunjukkan keadaan dari lingkungan termal sekitar. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kenyamanan termal pada ruangan kuliah RSTA 2 JTI. Ruangan ini memiliki orientasi Barat Laut – Tenggara, sehingga setiap pagi hari pada pukul 07.00 – 10.00 cahaya matahari langsung masuk ke dalam ruangan melalui jendela. Namun kondisi ini sudah diantisipasi oleh pihak jurusan

dengan menggunakan tirai pada semua jendela yang mengarah ke arah barat laut. Rungan ini menggunakan pendingin mekanis berupa 1 unit kipas angin dan 2 unit pendingin ruangan (AC). Pada saat penelitian, penggunaan pendingin mekanis disesuaikan dengan kondisi yang telah ditetapkan pada Tabel 3. Penelitian kenyamanan termal menggunakan acuan indeks dan persentase kenyamanan termal PMV dan PPD.

Hasil pegujian statistik untuk semua kondisi penelitian, disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai PMV dan PPD yang diperoleh berdasarkan perhitungan dan *individual vote*. Hal ini berarti model perhitungan PMV dan PPD dikatakan valid sehingga bisa memprediksi kondisi kenyamanan termal yang dirasakan oleh individu di dalam ruangan penelitian.

### 4.6.3. Perbandingan Kenyamanan Termal Sebelum dan Setelah Menggunakan Vegetasi Alami

Perlakuan pada kondisi 1 dan kondisi 3 keduanya sama-sama menggunakan pendingin mekanis. Pengujian ini dilakukan menggunakan *software* SPSS dengan metode Wilcoxon. Metode ini dipilih karena sebaran data pada kondisi 3 tidak berdistribusi normal. Metode Wilcoxon merupakan salah satu metode dalam uji statistika nonparametrik. Berdasarkan hasil pengolahan data diketahui bahwa nilai sig. 2-tailed PMV adalah 0,047 (sig. 2-tailed < 0,05). Hal ini berarti terdapat perbedaan nilai PMV saat sebelum dan setelah penggunaan vegetasi alami. Sementara itu, nilai sig. 2-tailed PPD adalah sebesar 0,053. Nilai ini juga lebih kecil dari 0,05 sehingga terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai PPD yang dirasakan pengguna ruangan saat kondisi tanpa vegetasi dan pada kondisi dengan menggunakan vegetasi.

Komparasi selanjutnya adalah kondisi 2 (tanpa vegetasi) dengan kondisi 4 (dengan vegetasi), namun sama-sama tidak menggunakan pendingin mekanis. Pada kondisi ini, upaya peningkatan kenyamanan termal dilakukan secara alamiah, yaitu dengan membuka jendela dan penempatan vegetasi alami di depan jendela. Berdasarkan hasil pengolahan data di diketahui bahwa nilai sig. 2-tailed PMV adalah 0,002 (sig. 2-tailed < 0,05), yang berarti adanya perbedaan nilai PMV saat sebelum dan setelah penggunaan vegetasi alami. Pada kasus ini terjadi penurunan rata-rata nilai PMV sebesar 0,17 setelah penempatan vegetasi alami di depan jendela. Sementara itu, nilai sig. 2-tailed PPD adalah sebesar 0,00 sehingga nilai sig. 2-tailed < 0,05. Hal ini berarti terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai PPD yang dirasakan pengguna ruangan saat kondisi tanpa vegetasi maupun pada kondisi dengan menggunakan vegetasi. Penurunan nilai PPD yang terjadi setelah penggunaan vegetasi ini adalah sebesar 8,05%. Artinya sebanyak 8,05% pengguna ruangan

merasakan perubahan kondisi termal menjadi kondisi yang dapat diterima. Secara statistik, perubahan ini relatif lebih besar dibandingkan dengan perubahan pada saat menggunakan pendingin mekanis.

Pada bagian akhir penelitian dilakukan perbandingan antara kondisi 3 (temperatur AC = 20°C) dengan kondisi 5 (temperatur AC = 24°C), namun sama-sama menggunakan vegetasi alami. Perbedaan setelan temperatur dimaksudkan untuk meminimalkan penggunaan energi listrik. Berdasarkan hasil pengolahan pada Tabel 10 diketahui bahwa nilai sig. 2-tailed dari PMV = 0,107 > 0,05. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada perbedaan nilai PMV secara signifikan pada kondisi setelan temperatur AC = 20°C dengan setelan temperatur AC = 24°C. Sementara itu nilai sig. 2-tailed dari PPD = 0,296 > 0,05 sehingga tidak ada perbedaan nilai PPD secara signifikan yang dirasakan oleh pengguna ruangan pada kedua kondisi tersebut. Hasil ini memberikan gambaran bahwa penggunaan AC dengan pengaturan temperatur yang lebih tinggi bisa menjadi alternatif peningkatan kenyamanan termal jika penggunaan vegetasi alami tidak memberikan dampak yang signifikan. Penggunaan AC dengan temperatur yang lebih tinggi bisa meminimalkan penggunaan energi listrik.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Alternatif terpilih untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang kuliah di UNAND adalah dengan penggunaan vegetasi alami.
2. Pada semua kondisi penelitian, rata-rata nilai PMV dan PPD yang diperoleh berdasarkan perhitungan dan berdasarkan individual vote tidak berbeda secara signifikan. Hal ini berarti perhitungan PMV dan PPD dikatakan valid dan bisa memprediksi kondisi kenyamanan termal yang dirasakan oleh individu di dalam ruangan penelitian.
3. Penggunaan vegetasi alami pada ruangan perkuliahan di UNAND dapat meningkatkan kenyamanan termal ruangan. Hal ini dibuktikan dengan pengujian komparasi data yang memperlihatkan adanya penurunan nilai PMV mendekati nilai nol dan penurunan persentase PPD.

Sementara itu terdapat beberapa saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada beberapa ruangan yang memiliki karakteristik berbeda, sehingga bisa dilakukan perbandingan antar ruangan yang diteliti.
2. Adanya pengontrolan terhadap tingkat aktivitas responden pada saat sebelum pengambilan data penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Szokolay. *Manual of Tropical Housing and Building*. London: Longman Group, 1973.
- [2] D. Rahmadani. "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Perkuliahan Di Universitas Andalas." Tugas Akhir, Jurusan Teknik Industri Universitas Andalas, Padang, 2011.
- [3] Widiastuti. "Kenyamanan Termal Bangunan dengan Vertical Garden Berdasarkan Standar Kenyamanan Mom & Wieseborn." *Jurnal Riptek*, Vol. 8(1), pp. 2-4, 2014.

- [4] ASHRAE. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Standard 55-1992*. Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1989.
- [5] N. Aulia. "Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Sekolah SMA Negeri di Kota Padang." *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol. 12(1), pp. 12-13, 2013.
- [6] T.L. Saaty. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. United States of America: McGraww-Hill, 1980.
- [7] E. Riadi. *Statistika Penelitian (Analisis Manual dan IBM SPSS)*. Jakarta: Penerbit ANDI, 2015.
- [8] R.R. Putri. "Evaluasi Kenyamanan Termal pada Bengkel Pengolahan Logan di Kota Padang." Tugas Akhir, Jurusan Teknik Industri Universitas Andalas, Padang, 2015.
- [9] S. Santoso. *Statistik Multivariat Konsep dan Aplikasi dengan SPSS*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2010.

## NOMENKLATUR

i = Skala PMV

n = Jumlah responden yang memilih skala i

N = Total responden

## BIODATA PENULIS



Lusi Susanti, Dr.Eng

Saat ini sebagai dosen aktif di Jurusan Teknik Industri Universitas Andalas, Padang. Pernah menempuh pendidikan S2 dan S3 di Toyohashi University of Technology, Japan dan aktif dalam organisasi profesi Perhimpunan ergonomis Indonesia (PEI). Penulis dapat dihubungi melalui email: [susantilusi@gmail.com](mailto:susantilusi@gmail.com)



Hary Fandeli

Lahir di Batusangkar pada tanggal 24 Juni 1993. Menempuh pendidikan S1 Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Andalas pada tahun 2012 hingga 2017. Email: [hary.fandeli@gmail.com](mailto:hary.fandeli@gmail.com)