

Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kuliah

Yuswono Hadi*, Tabitha Azaria, Purnomo, Novenda K. Putrianto, Teguh Oktiarso, Yurida Ekawati, Sunday Noya

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Ma Chung
Villa Puncak Tidar No.1, Malang, Jawa Timur 65151

Article Info

Article history:

Received
12 December 2019

Accepted
30 March 2020

Keywords:

Air Conditioner
Ergonomic
Green Building
Thermal Comfort

Abstract

Bhakti Persada Building is one of the main buildings at Ma Chung University that serves as a place for the lecture process and student activities. Every room of Bhakti Persada Building has an AC that is on every day and there are very adequate windows and vents. The study aims to provide thermal comfort to the space users by measure temperature, humidity, and wind speed before and after the engineering of space facilities using SNI 6390: 2011 for temperature and humidity as well as the MENKES No.261 / MENKES / SK / 11/1998 standard for wind speed. In addition, this study was also conducted by paying attention to environmental issues, especially energy utilization, so that later it will be obtained scheduling to use of air conditioners as well as the efficiency of the use of electrical energy after the engineering of space facilities. The results of thermal comfort analysis after engineering the room facilities, obtained the time zone of the lecture room using a propeller fan is the time zone I and II for all sizes of lecture rooms while for time zone III all lecture rooms will use air conditioning because the temperature increases $\pm 0, 5^{\circ} \text{C}$, and for time zone IV lecture rooms with sizes 5 x 9 m, 6 x 9 m and 8 x 9 m the second floor will use a fan and a room size 8 x 9 m and 10 x 9 m third floor will use AC. After the engineering of space facilities, it was also found that the efficiency of the use of electrical energy in the lecture hall of the Bhakti Persada Building was 53%.

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global atau *Global warming* merupakan suatu proses dimana suhu rata-rata pada atmosfer, laut, dan daratan bumi mengalami peningkatan. Pemanasan Global disebabkan oleh tangan manusia serta aktivitas penggunaan suatu alat oleh manusia. Aktivitas ini dapat dilihat dari banyaknya penggunaan energi fosil pada kendaraan dan asap pembuangan pabrik Industri yang dapat menghasilkan gas kar-bon dioksida (CO_2), dimana nantinya gas tersebut akan terperangkap dibawah atmosfer bersamaan dengan polutan udara dan gas rumah kaca lainnya untuk me-nyerap sinar matahari dan radiasi matahari yang memantul di permukaan bumi. Biasanya radiasi ini akan lolos ke angkasa, tetapi akibat jumlah polutan yang banyak, maka akan menimbulkan kesulitan bagi polutan untuk dapat keluar dari atmosfer bumi dan hal inilah yang menyebabkan bumi menjadi lebih panas (MacMillan, 2016). Selain, itu juga penggunaan Chloro Fluro Carbon atau biasanya juga dising-kat dengan CFC yang merupakan bahan kimia bermanfaat untuk mendinginkan kulkas dan air conditioner (AC) juga dapat mengakibatkan lapisan ozon semakin menipis dan menimbulkan perubahan

iklim pada bumi (Krisnadwi, 2015). Meningkatnya rata-rata suhu di permukaan bumi memberikan efek yang sangat buruk bagi ekosistem, khususnya pada perubahan iklim, cuaca, dan pola sirkulasi laut dibela-han dunia lain (Utomo, 2017).

Isu-isu perubahan iklim lingkungan yang sedang terjadi akibat adanya pemanasan global, maka memunculkan sebuah gerakan di lingkungan kampus yang juga disebut dengan eco campus. Eco Campus adalah sebuah gerakan yang berusaha untuk mewujudkan lingkungan kampus yang nyaman untuk mengurangi dampak dari pemanasan global (Maarif, 2013). Untuk mewujudkan eco campus, maka perlu adanya tindakan-tindakan, seperti pengelolaan sampah, penggunaan energi, pemanfaatan lahan, pemanfaatan air, dan perubahan life style oleh civitas akademik (Maarif, 2013). Salah satu kampus yang sedang menuju eco campus adalah Universitas Ma Chung. Untuk mewujudkan eco campus selama tiga tahun terakhir ini Universitas Ma Chung melakukan beberapa penelitian untuk memberikan landasan empiris yang membahas tentang pengelolaan sampah padat di kampus (Salendu dan Hadi, 2018) dan upaya pengurangan penggunaan kertas di kampus (Yuwana dan Hadi, 2019; Anggraeni dan Hadi, 2018). Selain

*Corresponding author. Yuswono Hadi
Email address: yuswono@gmail.com

mewujudkan eco campus penelitian ini dilakukan untuk memberikan dasar kebijakan smart class di lingkungan kampus. Smart class adalah konsep yang memadukan teknologi digital dan pendidikan dengan memanfaatkan teknologi, seperti tablet/device (Faizin, 2017). Teknologi digital dalam bidang pendidikan dapat membantu untuk mengurangi jumlah pembuangan kertas.

Selain pengelolaan sampah dan pengurangan penggunaan kertas dikampus upaya lain untuk mewujudkan eco campus adalah dengan pemanfaatan energi ruang kuliah Gedung Bhakti Persada Universitas Ma Chung. Gedung Bhakti Persada sebagian besar digunakan setiap harinya oleh setiap civitas akademika yang berada didalamnya dengan fungsi utama sebagai tempat berlangsungnya proses perkuliahan, laboratorium, kegiatan-kegiatan mahasiswa (rapat, seminar, dan *workshop*), ruang dosen, dan proses administrasi perkuliahan. Bangunan yang mencakup tiga lantai ini didesain secara khusus dengan lingkungan Negara Indonesia yang beriklim tropis basah, dimana pada umumnya lingkungan dengan iklim tropis basah tidak memerlukan energi (listrik) yang terlalu besar dibandingkan dengan negara sub tropis yang membutuhkan lebih banyak energi untuk menyalakan pendingin di musim panas dan pemanas di musim dingin (Karyono, 2001).

Gedung Bhakti Persada berada di Kota Malang atau kota yang dikenal dengan udara sejuk justru seharusnya lebih dapat memanfaatkan energi yang berasal dari alam. Namun data juga menunjuk bahwa dalam waktu kurun 21 tahun terakhir (1997-2018), suhu permukaan kota Malang telah mengalami kenaikan lebih dari 2°C, dimana pada tahun 1997 rentang suhu rata-rata kota Malang sebesar 21°C-31°C dan pada tahun 2018 rata-rata suhu naik dalam rentang 24°C-34°C (Indo, 2018). Selain itu, pada Gedung Bhakti Persada setiap ruangnya terdapat ventilasi dan jendela yang cukup banyak dan hal ini sangat cocok dengan konsep Green Building atau bangunan yang meminimalisasi penggunaan energi, seperti lampu, Air Conditioner atau AC dengan tujuan untuk mengoptimalkan penggunaan ventilasi alami, pencahayaan alami, pengaturan denah ruangan, dan perencanaan posisi jendela terhadap arah matahari (Danusastro, 2013). Salah satu aspek atau indikator terpenting dari green building adalah kenyamanan termal atau biasa juga disebut dengan thermal comfort. *Thermal comfort* merupakan salah satu kenyamanan yang dirasakan secara fisik terhadap lingkungan disekitarnya. Salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi thermal comfort adalah suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dari lingkungan disekitar tersebut (Auliciems dan Szokolay, 2007).

Adanya kemajuan dalam bidang teknologi, maka pola kehidupan manusia pun mulai berubah. Dengan semakin meningkatnya suhu permukaan di Kota Malang, maka pola kehidupan manusia mulai lebih mendahulukan rasa nyaman dan berusaha memunculkan teknologi-teknologi yang baru untuk memberikan rasa nyaman. Gedung Bhakti Persada Universitas Ma Chung memiliki AC, jendela, dan ventilasi yang cukup banyak. Namun yang jadi permasalahan adalah bahwa tidak semua AC dalam gedung berfungsi secara maksimal bahkan tidak menurunkan suhu dalam ruangan, sehingga AC hanya digunakan sebagai alat pajang yang menyala tanpa menghasilkan rasa nyaman bagi orang yang berada didalamnya. Dengan adanya AC yang menyala tanpa memberikan efek pada orang didalamnya, maka hal ini dapat menambah masalah lingkungan khususnya dalam perubahan iklim dan suhu di Kota Malang dan pemanfaatan energi. Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan analisis thermal comfort ruang kuliah Gedung Bhakti Persada Universitas Ma Chung.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Ergonomi

Ergonomi adalah studi anatomis, fisiologi, dan psikologi dari aspek manusia dalam lingkungan bekerja (International Ergonomics Association, 2000). Hal ini berarti memiliki hubungan dengan efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan dari orang-orang di tempat bekerja, rumah, dan tempat lainnya. Secara umum ergonomi memerlukan studi dari sistem dan fakta-fakta kebutuhan manusia, mesin-mesin, dan lingkungan yang akan saling berhubungan dengan tujuan untuk memperoleh keserasian. Ergonomi juga merupakan proses sistematis yang dirancang untuk manusia sebagai pengguna melalui penerapan ilmu pengetahuan tentang manusia dengan peralatan yang akan digunakan, lingkungan dilakukannya aktivitas atau operasi, pelaksanaan tugas, dan sistem manajemen yang membimbing proses aktivitas atau operasi agar dapat berjalan secara aman dan efisien (Attwood *et al.*, 2004). Terdapat tiga tujuan ergonomi secara umum, yaitu pertama meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental dengan cara mencegah cedera, kecelakaan, dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, dan mengupayakan promosi dan kepuasan kerja, kedua meningkatkan kesejahteraan sosial melalui peningkatan kualitas kontak sosial, mengelola dan mengkoordinasikan secara tepat, dan meningkatkan jaminan sosial selama kurun waktu usia produktif maupun setelah produktif, dan yang ketiga untuk menciptakan keseimbangan rasional antara berbagai macam aspek, yakni aspek ekonomi, teknis, antropologis, dan budaya setiap sistem kerja yang dilakukan,

sehingga tercipta kualitas kerja dan kualitas hidup yang tinggi (Tarwaka *et al.*, 2004).

2.2 Kenyamanan termal

Thermal comfort atau yang bisa juga diartikan sebagai “Kenyamanan Termal” dalam KBBI “termal” yang berarti sebagai sesuatu yang berkaitan dengan panas sedangkan untuk kenyamanan yang berasal dari kata dasar “nyaman” diartikan sejuk dan enak, sehingga ketika kedua kata ini digabungkan dapat berarti kenyamanan termal sangat berkaitan erat dengan respon terhadap suhu dalam suatu lingkungan termal yang nantinya akan mempengaruhi kondisi dari subyek tersebut. Menurut Sarinda *et al.* (2017) menyatakan bahwa manusia akan menyatakan nyaman secara termal ketika yang merasakan tidak dapat menyatakan apakah ia menghendaki perubahan suhu yang lebih panas atau lebih dingin dalam suatu ruangan. Berdasarkan dari arti kenyamanan termal, maka didapat tiga aspek yang terlibat dalam kenyamanan termal, yaitu fisik, fisiologis, dan psikologis, sehingga akan memunculkan pengertian dari kenyamanan termal sebagai ekspresi tingkat kepuasan seseorang dari suatu kondisi pikir terhadap lingkungan termalnya (Sugini, 2004). Pengertian lainnya dari kenyamanan termal adalah

kondisi pikiran yang akan menyatakan kepuasan dengan lingkungan termal ketika terjadi variasi besar, baik secara fisiologis dan psikologis dari orang ke orang (ASHRAE, 2010). Beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal dari pendapat lainnya, yaitu pertama faktor lingkungan yang terdiri dari temperatur udara, kecepatan udara, kelembaban, dan radiasi, kedua faktor kondisi manusia yang terdiri dari jenis pakaian dan tingkat metabolisme dalam beraktivitas, dan ketiga faktor kontribusi yang terdiri dari makanan, minuman, aklimatisasi, bentuk tubuh, lemak sub kutan, usia, jenis kelamin, dan kesehatan (Auliciems dan Szokolay, 2007).

2.3 Standar Nasional Indonesia (SNI)

Standar Nasional Indonesia mengusulkan SNI 6390:2011 yang nantinya standar ini juga dibagi menjadi tiga zona kenyamanan termal. Tabel 2 merupakan zona kenyamanan termal berdasarkan SNI 6390: 2011. Menurut MENKES No.261/MENKES/SK/11/1998, laju ventilasi angin ruangan yang sehat sebesar 0,15-0,25 m/s dan untuk temperatur ruangan berkisar antara 18-26⁰C.

Tabel 1.

Faktor-faktor kenyamanan termal menurut para ahli

Szokolay	Fanger, Standar Amerika (ANSI/ASHRAE 55-1992), Standar Internasional (ISO 7730:1994)	Nicol dan Humphreys
Iklim	Iklim	Iklim
<ul style="list-style-type: none"> • Matahari (besarnya radiasi) • Suhu udara • Angin (kecepatan udara) • Kelembaban udara luar 	<ul style="list-style-type: none"> • Matahari (besarnya radiasi) • Suhu udara • Angin (kecepatan udara) • Kelembaban udara luar 	<ul style="list-style-type: none"> • Matahari (besarnya radiasi) • Suhu udara • Angin (kecepatan udara) • Kelembaban udara luar
Faktor Individu	Faktor Individu	Faktor Individu
<ul style="list-style-type: none"> • Pakaian • Aklimatisasi • Usia dan Jenis Kelamin • Tingkat kegemukan • Tingkat kesehatan • Jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivitas • Pakaian 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivitas • Pakaian • Adaptasi individu • Lokasi geografis
Warna kulit (suku bangsa)		

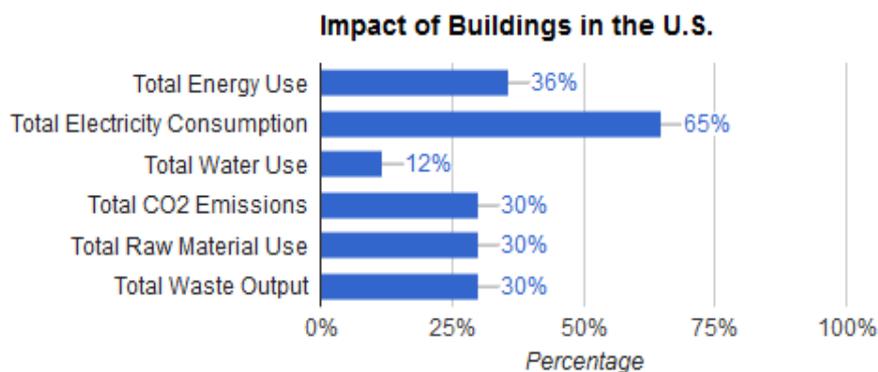
(Sumber: Talarosha, 2005)

Tabel 2.

Standar SNI 6390: 2011

Skala	Besaran Derajat Suhu	Besaran Kelembaban
Nyaman Sejuk	20,5-22,8 ⁰ C	50% -80%.
Nyaman	22,8-25,8 ⁰ C	70% -80%.
Nyaman Hangat	25,8-27,1 ⁰ C	60% -70%.

(Sumber: Badan Standard Nasional, 2011)



Gambar 1.

Dampak dari bangunan terhadap lingkungan
(Sumber: WBDG, 2018)

2.3 Green Building

Salah satu bentuk konsep bangunan yang berkelanjutan juga dikenal dengan istilah *Green building* yang berarti bangunan hijau dalam bahasa Indonesia. *Green building* adalah salah satu bentuk kepedulian manusia terhadap lingkungan dengan memanfaatkan faktor-faktor yang berasal dari lingkungan dalam mencapai kebutuhan-kebutuhan dari penggunaan bangunan tersebut. Pada umumnya *green building* sering disalahartikan sebagai sebuah bangunan yang hanya mengelola tumbuhan (Sucipto *et al.*, 2014). Namun sebenarnya *green building* adalah bangunan yang diciptakan untuk memberikan dampak positif terhadap iklim dan lingkungan alam disekitar kita yang didalam desain, konstruksi atau proses pengoperasiannya mengurangi atau menghilangkan dampak negatif (GBCI, 2018). Pembangunan infrastruktur ternyata dapat menghasilkan dampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan, masyarakat, dan ekonomi atau biasa juga disebut 3 P's (*People, Planet, Pocketbook*) (WBDG, 2018). Pembangunan infrastruktur berdampak secara langsung dan tidak langsung terhadap lingkungan dikarenakan adanya penggunaan sumber daya energi, air, bahan mentah yang berasal dari alam dan dalam proses pengoperasian bangunan nantinya akan menghasilkan limbah, seperti limbah penghuni, konstruksi, dan pembongkaran yang akan memunculkan emisi berbahaya pada atmosfer dan nantinya akan secara tidak langsung mengubah fungsi dan kemampuan lahan dalam menyerap dan menangkap air ke dalam tanah (WBDG, 2018). Gambar 1 merupakan gambar grafik akibat dari adanya pembangunan infrastruktur terhadap lingkungan (WBDG, 2018).

Akibat dampak dari pembangunan infrastruktur terhadap lingkungan, maka munculah bidang konsep yang berusaha menyeimbangkan kebutuhan-kebutuhan pada tiap-tiap daerah dengan menggunakan pendekatan terintegrasi dan

menciptakan solusi desain “win to win” (WBDG, 2018). Tujuan utama dari konsep berkelanjutan adalah untuk mengurangi serta menghindari penipisan sumber energi, air, dan bahan mentah, mencegah kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh fasilitas dan infrastruktur dalam sepanjang siklus hidup bangunan tersebut, dan menciptakan lingkungan yang aman, sehat, dan produktif (Bolin, 2016).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Observasi awal

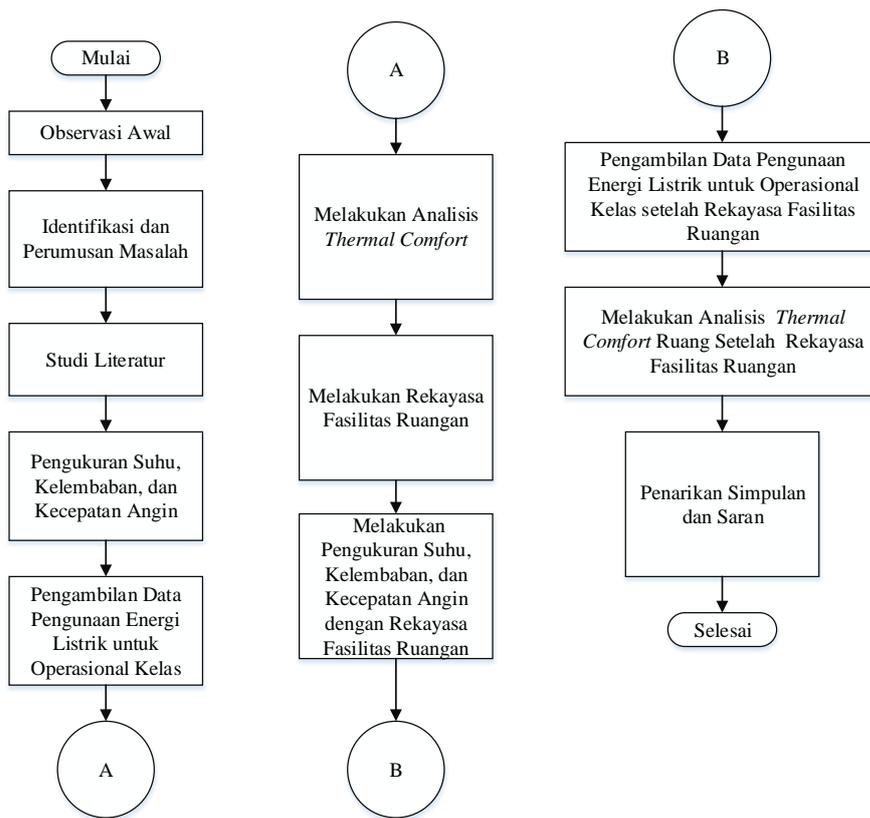
Sebelum melakukan penelitian perlu dilakukan observasi untuk melihat masalah yang terdapat dalam penggunaan ruang Gedung Bhakti Persada Universitas Ma Chung. Berdasarkan observasi tersebut didapatkan masalah bahwa tidak semua ruang perkuliahan Gedung Bhakti Persada memberikan kenyamanan secara termal terkait dengan penggunaan *Air Conditioner* (AC) dalam menurunkan suhu ruang Gedung Bhakti Persada Universitas Ma Chung dan hal ini tidak berdampak baik bagi lingkungan

3.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini berfokus pada kenyamanan termal pengguna ruang di Gedung Bhakti Persada Universitas Ma Chung dan memberikan rekomendasi untuk mendapatkan ruang perkuliahan yang nyaman dengan konsep *green building* dan langkah awal menuju *eco campus*.

3.3 Studi Literatur

Setelah ditentukan permasalahan yang akan diteliti, selanjutnya akan dilakukan pencarian studi literatur untuk mengetahui landasan dari teori-teori serta langkah-langkah yang nantinya akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 2.
Bagan langkah penelitian

3.4 Pengukuran suhu, kelembaban dan kecepatan angin

Pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan alat ukur digital berupa *thermohygrometer* sebagai alat ukur suhu dan kelembaban dan *anemometer* sebagai alat ukur kecepatan angin. Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan gambar dari alat ukur yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.
Thermohygrometer AMTAST TH95



Gambar 4.
Anemometer Benetech GM816

Untuk menganalisis kenyamanan termal dibutuhkan pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin pada ruangan yang didalamnya terdapat sekitar 20 hingga 25 orang sebagai pengguna ruangan. Nantinya ruangan yang digunakan sebagai tempat pengambilan data merupakan ruangan yang akan mewakili dimensi dari ukuran ruang serta posisi dari ruang perkuliahan tersebut pada setiap lantainya.

Proses pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dilakukan dalam empat zona pembagian waktu agar mendapatkan hasil pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin yang akurat. Pembagian waktu tersebut juga disesuaikan dengan jam operasional perkuliahan yang berlangsung di Gedung Bhakti Persada, dimana nantinya dibagi menjadi empat zona waktu yang dimulai dari pukul 07.50-09.30 WIB, 09.30-12.00 WIB, 13.00-15.30 WIB, dan 15.30-17.50 WIB.

3.5 Pengambilan data penggunaan energi untuk operasional kuliah

Selain melakukan pengukuran pada suhu, kelembaban, dan kecepatan angin, juga dibutuhkan juga pengambilan data seberapa besar energi listrik yang dikeluarkan oleh AC dan lampu. Pengambilan data ini dilakukan dengan cara AC di-*setting* pada suhu maksimal atau sebesar 16°C. Selama proses tersebut alat kWh meter yang telah terpasang dalam panel listrik akan mengukur berapa besar energi listrik yang dikeluarkan saat itu.

3.6 Analisis *thermal comfort* dan penggunaan energi listrik untuk operasional kuliah

Setelah melakukan pengukuran, maka didapatkan data suhu, kelembaban, dan kecepatan angin yang selanjutnya akan digunakan dalam proses analisis *thermal comfort*. Analisis ini dilakukan dengan pemberian kriteria berdasarkan standar SNI 6390:2011 untuk suhu dan kelembaban serta standar MENKES No.261/MENKES/SK/11/1998 untuk laju ventilasi angin ruangan yang sehat sebesar 0,15-0,25 m/s.

Selain itu juga dilakukan analisis penggunaan energi listrik yang dikeluarkan sebelum rekayasa fasilitas ruang. Dari data tersebut dilakukan perhitungan efisiensi energi listrik yang dikeluarkan dalam satu bulan dan dari data penggunaan energi tersebut, maka selanjutnya dapat dilakukan analisis perkiraan biaya operasional dari penggunaan AC dan perawatan penggunaan AC.

3.7 Rekayasa fasilitas dalam ruang kuliah

Kegiatan berikutnya adalah melakukan rekayasa fasilitas dalam ruang kuliah dengan dilakukan kembali pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dengan rekayasa ruang berupa kipas angin. Jika ruang kuliah menggunakan kipas angin, maka otomatis jendela dan ventilasi dibuka dan akan mempengaruhi intensitas cahaya untuk dapat masuk ke dalam kuliah. Rekayasa fasilitas ruangan berupa kipas angin ini dilakukan untuk dapat melihat apakah penggunaan kipas angin dapat memberikan kenyamanan secara termal sesuai standar terhadap pengguna ruang Gedung Bhakti Persada.

3.8 Pengukuran suhu, kelembaban dan kecepatan angin dengan rekayasa fasilitas ruangan

Sama seperti pengukuran dan pengambilan data pada ruang kuliah sebelum dilakukan rekayasa fasilitas dengan menggunakan alat ukur digital. Pengukuran ini dilakukan terhadap suhu, kelembaban, dan kecepatan angin, sehingga nantinya data yang diperoleh dapat dibandingkan antara ruang sebelum dan setelah rekayasa fasilitas

3.9 Pengukuran data penggunaan energi untuk operasional kuliah setelah rekayasa fasilitas ruangan

Selain melakukan pengukuran pada suhu, kelembaban, dan kecepatan angin, juga dibutuhkan pengambilan data seberapa besar energi listrik yang dikeluarkan oleh ruangan yang telah direkayasa dengan menggunakan kipas angin dan penggunaan lampu yang akan dikondisikan dengan pengguna ruang. Pengambilan data dimulai dari pukul 07.50 – 17.50 WIB dan selama proses tersebut alat kWh meter yang telah terpasang dalam panel listrik akan mengukur berapa besar energi yang dikeluarkan saat itu.

3.10 Analisis setelah rekayasa fasilitas ruangan

Analisis ini dilakukan untuk membandingkan hasil dari penggunaan ruang sebelum dan setelah dilakukan rekayasa fasilitas. Terdapat tiga hal yang dibandingkan, yaitu hasil pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin yang dianalisis dengan menggunakan standar SNI 6390:2011 dan standar MENKES No. 261/MENKES/SK/11/1998, perkiraan efisiensi energi listrik yang harus dikeluarkan oleh ruangan, dan perkiraan biaya yang harus dikeluarkan dan perawatan dari ruangan tersebut.

3.11 Penarikan kesimpulan dan saran

Setelah dilakukan analisis pada ruang kuliah Gedung Bhakti Persada sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruangan, maka akan dilakukan penarikan kesimpulan yang dapat dijadikan sebagai rekomendasi kepada pihak Universitas Ma Chung sebagai alternatif terbaik untuk mencapai kenyamanan termal dan penghematan energi listrik bagi penggunaan ruang Gedung Bhakti Persada.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gedung Bhakti Persada

Proses perkuliahan di Gedung Bhakti Persada berlangsung pada pukul 07.50 WIB sampai pukul 12.00 WIB dan dilanjutkan kembali pada pukul 13.00 WIB hingga pukul 17.50 WIB. Gedung dengan luas 100 x 26 meter ini memiliki tiga lantai yang terdiri dari lantai satu, dua, dan tiga serta *basement* sebagai tempat parkir kendaraan roda dua

dan empat serta laboratorium program studi farmasi. Lantai satu pada Gedung Bhakti Persada digunakan sebagai ruang dosen, dekan, sekretaris fakultas, dan ruang teater. Untuk lantai dua sebagian besar digunakan sebagai ruang perkuliahan, laboratorium, dan beberapa ruang dosen sedangkan lantai tiga dikhususkan sebagai ruang perkuliahan mahasiswa.

Setiap ruang dan laboratorium pada Gedung Bhakti Persada memiliki fasilitas ruang berupa *Air Conditioner* atau AC, layar proyektor atau LCD, proyektor, kursi, meja, lampu, jendela, dan ventilasi udara. Fasilitas pada ruang Gedung Bhakti Persada telah ada sejak awal gedung digunakan, sehingga mulai saat itu AC, proyektor, dan lampu akan selalu dinyalakan setiap Senin hingga Jumat dimulai pada jam perkuliahan pukul 07.50 WIB hingga 17.50 WIB.

4.2 Data penggunaan energi listrik operasional kuliah sebelum rekayasa fasilitas ruangan

Selain pengukuran pada suhu, kelembaban, dan kecepatan angin juga dilakukan pengambilan data besarnya energi listrik dari penggunaan AC (*Air Conditioner*). Pengambilan data ini dilakukan dengan cara memasang alat kWh meter pada panel listrik yang terdapat di Gedung Bhakti Persada. AC akan di *setting* pada suhu maksimal, yaitu sebesar 16°C yang akan dimulai pada pukul 07.50 hingga 12.00 WIB (zona waktu I dan II) dan dilanjutkan kembali pukul 13.00 hingga 17.50 WIB (zona waktu III dan IV), sehingga total penggunaan AC dalam sehari adalah sembilan jam. Hasil dari pengukuran nantinya akan dikalikan dengan jumlah pemakaian dalam satu bulan, sehingga didapatkan

total energi listrik yang dikeluarkan oleh AC dalam satu bulan. Setelah dilakukan pengukuran didapatkan bahwa AC dengan merek *Panasonic* mengeluarkan energi sebesar 1.660 Wh atau 1,66 kWh untuk satu AC. Dalam sebulan satu AC digunakan sebanyak 20 kali dimulai dari hari Senin sampai dengan Jumat dan terhitung dalam sebulan terdapat empat minggu. Berikut adalah perhitungan biaya yang dikeluarkan AC:

- Jumlah AC yang terdapat pada ruang kuliah lantai dua dan tiga: 29 buah
- Energi listrik yang dikeluarkan satu buah AC: 1,66 kWh
- Penggunaan satu buah AC dalam sehari selama 9 jam
- Penggunaan satu buah AC dalam sebulan sebanyak: 20 kali
- Total kWh yang dikeluarkan 1 buah AC dalam sehari: $\frac{1.660 \times 9 \text{ jam}}{1000} = 14,94 \text{ kWh}$
- Total kWh 29 buah AC dalam sehari $29 \times 14,94 = 433,26 \text{ kWh}$
 - Total kWh 29 buah AC dalam sebulan $20 \times 433,26 = 8665,2 \text{ kWh}$

4.3 Analisis *thermal comfort* sebelum rekayasa fasilitas ruangan

Menurut Sarinda *et al.* (2017) pengambilan data pengukuran suhu dan kelembaban dalam selang waktu per jam karena akan memberikan hasil yang lebih akurat serta dapat menguji adanya perubahan suhu ruang dalam waktu. Ide pengambil data dalam selang waktu per jam berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Sarinda *et al.* (2017) pada Gedung FKIP Universitas Jember.



Gambar 5.
Gedung Bhakti Persada tampak depan



Gambar 6.
Lorong ruang perkuliahan Gedung Bhakti Persada

Menurut Rilatupa (2008) data suhu dan kelembaban yang diambil dalam beberapa titik akan lebih akurat, sehingga pengambilan data diambil pada tiga titik untuk penelitian ini, yaitu pada sisi kiri, tengah, dan kanan. Setelah data suhu, kelembaban, dan kecepatan angin yang telah didapatkan, maka selanjutnya data dari sisi kiri, tengah, dan kanan akan dirata-rata untuk mendapatkan satu data untuk suhu dan kelembaban yang nantinya akan dianalisis dengan menggunakan kriteria SNI 6390:2011 dan kecepatan angin akan dianalisis menggunakan standar MENKES No.261/MENKES/SK/11/1998. Tabel 3 menyajikan analisis *thermal comfort* untuk suhu dan kelembaban ruang kuliah Gedung Bhakti Persada.

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa kotak yang ditandai dengan warna kuning. Kotak yang ditandai dengan warna kuning menandakan bahwa salah satu dari suhu atau kelembaban tidak dapat digolongkan dalam kriteria SNI 6390:2011 karena terdapat perbedaan antara besaran suhu atau kelembaban, sehingga suhu atau kelembaban pada data tersebut tidak dapat dikatakan nyaman sejuk, nyaman, maupun nyaman hangat dan masuk kedalam kriteria tidak sesuai standar. Selain itu juga pada saat pengambilan data suhu dan kelembaban dibutuhkan waktu ± 30 menit ketika AC dinyalakan untuk mendapatkan hasil pengukuran suhu dan kelembaban yang diinginkan.

Pada penelitian yang dilakukan pada Gedung FKIP Universitas Jember yang terletak di Jember didapatkan suhu rata-rata ruang tertinggi terdapat pada pukul 13.00 sebesar $29,525^{\circ}\text{C}$ sama halnya dengan suhu rata-rata tertinggi pada Gedung Bhakti Persada terdapat pada zona waktu II dan III sebesar $24,5^{\circ}\text{C}$ - $24,7^{\circ}\text{C}$. Sebelumnya suhu ruangan pada

Gedung Bhakti Persada juga pernah diukur oleh Soegiono dan Hadi (2018) dengan rata-rata suhu seluruh ruang perkuliahan yang didapatkan sebesar $24,9^{\circ}\text{C}$ dan suhu tertinggi sebesar $27,1^{\circ}\text{C}$.

Untuk besar kecepatan angin AC *Panasonic* dua PK dengan suhu *setting* 16°C sebesar 1,8 hingga 2,2 m/s melebihi standar MENKES No.261/MENKES/SK/11/1998 yang memiliki standar laju ventilasi sebesar 0,15 hingga 0,25 m/s, sehingga dapat dikatakan bahwa kecepatan angin AC *Panasonic* juga tidak sesuai dengan standar MENKES No. 261/MENKES/SK/11/1998.

4.4 Rekayasa Fasilitas Ruang Kelas

Rekayasa fasilitas ruang kuliah dilakukan untuk dapat melihat perbandingan suhu, kelembaban, dan kecepatan angin sebelum serta setelah rekayasa fasilitas ruangan. Rekayasa ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik antara penggunaan ruang kuliah sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruang yang juga disesuaikan dengan standar *thermal comfort* SNI 6390:2011 dan MENKES No.261/MENKES /SK/11/1998.

Rekayasa fasilitas ruang yang dilakukan terkait dengan pengaturan suhu, kelembaban, dan kecepatan angin, sehingga tidak terkait dengan fasilitas yang tidak menimbulkan perubahan suhu, kelembaban, dan kecepatan angin. Rekayasa fasilitas yang dilakukan pada penelitian ini adalah berupa kipas angin baling-baling yang dipasang sebanyak dua buah pada satu ruang kuliah, membuka semua jendela dan ventilasi yang terdapat dalam ruangan, serta mengoptimalkan penggunaan lampu atau penggunaan lampu hanya digunakan jika dibutuhkan.

Tabel 3.
Hasil pengukuran suhu dan kelembapan sebelum rekayasa Zona Waktu I dan II

Hari	Zona Waktu I	Zona Kenyamanan Termal	Zona Waktu II	Zona Kenyamanan Termal
	07.50-09.30	SNI 6390:2011	09.30-12.00	SNI 6390:2011
Senin	26,1°C	Nyaman Hangat	25,2°C	Nyaman
	60%	Nyaman Hangat	56%	Tidak Sesuai Standar
Selasa	24,3°C	Nyaman	25,1°C	Nyaman
	68%	Tidak Sesuai Standar	72%	Nyaman
Rabu	23,6°C	Nyaman	24,3°C	Nyaman
	66%	Tidak Sesuai Standar	66%	Tidak Sesuai Standar
Kamis	23,8°C	Nyaman	23,5°C	Nyaman
	71%	Nyaman	65%	Tidak Sesuai Standar
Jumat	24,8°C	Nyaman	25,5°C	Nyaman
	68%	Tidak Sesuai Standar	66%	Tidak Sesuai Standar

Tabel 3 (Lanjutan).
Hasil pengukuran suhu dan kelembapan sebelum rekayasa Zona Waktu III dan IV

Hari	Zona Waktu III	Zona Kenyamanan Termal	Zona Waktu IV	Zona Kenyamanan Termal
	13.00-15.30	SNI 6390:2011	15.30-17.50	SNI 6390:2011
Senin	25,0°C	Nyaman	24,9°C	Nyaman
	57%	Tidak Sesuai Standar	58%	Tidak Sesuai Standar
Selasa	23,9°C	Nyaman	23,6°C	Nyaman
	68%	Tidak Sesuai Standar	72%	Nyaman
Rabu	23,6°C	Nyaman	23,5°C	Nyaman
	62%	Tidak Sesuai Standar	61%	Tidak Sesuai Standar
Kamis	24,6°C	Nyaman	25,0°C	Nyaman
	62%	Tidak Sesuai Standar	63%	Tidak Sesuai Standar
Jumat	25,5°C	Nyaman	24,3°C	Nyaman
	69%	Tidak Sesuai Standar	53%	Tidak Sesuai Standar



Gambar 7.
Rekayasa fasilitas kelas.

4.5 Data penggunaan energi listrik setelah rekayasa ruangan.

Untuk mengukur besarnya energi listrik dari penggunaan kipas angin baling-baling yang terpasang pada ruang kuliah dilakukan dengan cara memasang alat kWh meter pada panel listrik yang terdapat di Gedung Bhakti Persada. Kipas angin pada Gedung Bhakti Persada akan di *setting* dengan volume tiga yang akan dimulai pada pukul 07.50 hingga 12.00 WIB (zona waktu I dan II) lalu kembali dilanjutkan pukul 13.00 hingga 17.50 WIB (zona waktu III dan IV). Hasil dari pengukuran nantinya akan digunakan sebagai perbandingan efisiensi penggunaan energi listrik sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruang. Setelah dilakukan pengukuran didapatkan bahwa kipas angin dengan merek *Profan* mengeluarkan energi listrik sebesar 75 Wh atau 0,075 kWh untuk satu buah kipas angin baling-baling, sehingga jika terdapat dua buah kipas angin baling-baling dalam satu kelas energi listrik yang digunakan sebesar 1,5 kWh.

4.6 Analisis perbandingan kenyamanan termal sebelum dan sesudah rekayasa fasilitas

Ada beberapa perbandingan yang akan dianalisis sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruangan, yaitu perbandingan hasil analisis suhu dan kelembaban dengan menggunakan kriteria SNI 6390:2011, serta kecepatan angin sesuai standar MENKES No. 261/MENKES/SK/11/1998 berdasarkan zona waktu dan posisi ruang, perkiraan efisiensi energi listrik yang harus dikeluarkan ruangan, dan perkiraan biaya yang harus dikeluarkan.

Data rata-rata pada tiga titik (sisi pintu, tengah, jendela) telah dianalisis dengan SNI 6390:2011 pada bagian sebelumnya. Selanjutnya dari data suhu dan kelembaban per hari tersebut kembali di rata-rata, sehingga didapatkan satu data suhu dan kelembaban dalam zona waktu. Pada bagian ini data akan diperbandingkan sebelum dan sesudah rekayasa fasilitas ruangan untuk dapat melihat kondisi ruang kuliah mana yang lebih baik dan sesuai dengan standar *thermal comfort*.

Berdasarkan Tabel 4, 5, dan 6 sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruang zona waktu I, II, dan IV pada lantai 2 dengan ukuran ruang 8 x 9 meter sisi barat bahwa penggunaan kipas angin dapat dikatakan nyaman hangat secara termal dibandingkan dengan penggunaan AC. Hal ini disebabkan karena ruang kuliah sebelum rekayasa fasilitas (penggunaan AC) tidak sesuai dengan kriteria SNI 6390:2011. Penyebab dari ketidaksesuaian dengan kriteria SNI 6390:2011 adalah bahwa kelembaban sebesar 67%, 65%, dan 61% pada ruang kuliah sebelum rekayasa kuliah (penggunaan AC) sangat rendah untuk kisaran suhu 24,5°C pada zona waktu I, 24,7°C zona waktu II,

dan 24,3°C zona waktu IV, sehingga uap air pada udara ruangan kurang dan mengakibatkan udara dalam ruang kering. Udara yang kering akan berdampak buruk bagi kesehatan pengguna ruang tersebut. Sedangkan kelembaban yang terlalu rendah dapat memicu resiko penyakit flu dan batuk lebih tinggi dikarenakan lendir yang berfungsi untuk menangkap debu-debu, bakteri, virus, dan organisme lain pada bagian lapisan mukosa di dalam hidung, rongga mulut, dan tenggorokan memproduksi lendir lebih lambat dibandingkan penguapan lendir, sehingga lapisan mukosa akan mudah sekali kering. Lapisan mukosa yang kering akan lebih mudah terserang flu, batuk, sinusitis, dan rhinitis.

Sedangkan untuk suhu dan kelembaban ruang kuliah setelah rekayasa fasilitas ruangan sesuai dengan kriteria SNI 6390:2011. Pada zona waktu I didapatkan suhu sebesar 26,7°C dan kelembaban sebesar 69%, zona waktu II suhu sebesar 26,8°C dan kelembaban sebesar 68%, dan zona waktu IV suhu sebesar 26,9°C dan kelembaban sebesar 65% masuk ke dalam kriteria SNI 6390:2011 nyaman hangat.

Berdasarkan tata letak gedung pada zona waktu I sisi barat Gedung Bhakti Persada belum terpapar sinar matahari karena matahari terbit dari timur, sehingga gedung sisi barat pada zona waktu I belum mengalami peningkatan suhu yang signifikan dan juga udara di pagi hari Kota Malang pada umumnya cukup dingin. Sedangkan untuk tata letak gedung pada zona waktu II sisi barat Gedung Bhakti Persada mulai terpapar sinar matahari karena matahari telah bergerak ke arah utara, sehingga akan dimulai peningkatan suhu. Hal ini terlihat jelas pada suhu setelah rekayasa ruangan yang mengalami peningkatan yang mulanya 26,7°C menjadi 26,8°C. Sedangkan pada zona waktu IV sisi barat Gedung Bhakti Persada mengalami penurunan suhu karena matahari mulai tenggelam ke arah sisi barat gedung, hal ini terlihat jelas pada suhu setelah rekayasa ruangan yang mengalami penurunan yang mulanya 27,2°C menjadi 26,9°C.

Berdasarkan Tabel 7, sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruang zona waktu III pada lantai 2 dengan ukuran ruang 8 x 9 meter sisi barat tidak sesuai dengan kriteria SNI 6390:2011. Penyebab dari ketidaksesuaian dengan kriteria SNI 6390:2011 adalah bahwa kelembaban sebesar 63% pada ruang sebelum rekayasa kuliah (penggunaan AC) sangat rendah untuk kisaran suhu 24,5°C, sehingga uap air pada udara ruangan kurang dan mengakibatkan udara dalam ruang kering.

Sedangkan untuk ruang kuliah setelah rekayasa fasilitas ruangan mengalami ketidaksesuaian pada suhu. Suhu pada ruang mengalami peningkatan untuk kelembaban normal sebesar 65%. Suhu sebesar 27,2°C tergolong panas dan dapat menyebabkan pengguna ruangan

berkeringat serta tidak berkonsentrasi dalam melakukan aktivitas, sehingga akan berdampak buruk terhadap kinerja. Suhu yang tinggi juga akan berdampak buruk bagi kesehatan fisik tubuh dan dapat menimbulkan hipertermia. Hipertermia adalah kondisi suhu inti tubuh yang meningkat tajam dan terjadi tiba-tiba dalam waktu singkat dan tubuh tidak mampu untuk berkeringat mendinginkan diri (Joseph, 2018). Hipertermia sendiri dapat memicu risiko penyakit lain, seperti sakit jantung, memicu kerusakan otak, dan organ vital lainnya (Megiza, 2016).

Berdasarkan tata letak gedung pada zona waktu III sisi barat Gedung Bhakti Persada mulai terpapar sinar matahari, sehingga mulai mengalami peningkatan suhu. Hal ini terlihat jelas yang pada suhu setelah rekayasa ruangan yang mengalami peningkatan yang mulanya 26,8°C menjadi 27,2°C.

Secara keseluruhan hasil analisis perbandingan sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruang dari keseluruhan zona waktu pada ukuran ruang 8 x 9 meter sisi barat lantai dua didapatkan bahwa analisis *thermal comfort* setelah rekayasa fasilitas ruang (menggunakan kipas angin) memenuhi lebih banyak kriteria SNI 6390:2011 dibandingkan dengan sebelum rekayasa fasilitas ruang (penggunaan AC) yang tidak sesuai standar kelembaban dalam kriteria SNI 6390:2011. Dapat disimpulkan penggunaan kipas angin lebih disarankan dibandingkan dengan penggunaan AC pada ukuran ruangan 8 x 9 meter sisi barat lantai dua pada zona waktu I, II, dan IV. Untuk zona waktu III disarankan untuk menggunakan AC karena suhu pada pukul 13.00 hingga 15.30 mengalami peningkatan $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$, sehingga udara dalam ruangan lebih terasa panas.

Tabel 4.Analisis *Thermal Comfort* Ruang Kuliah Gedung Bhakti Persada Zona Waktu I

Rata-rata	Sebelum Rekayasa I 07.50-09.30	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011	Setelah Rekayasa I 07.50-09.30	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011
Suhu	24,5°C	Nyaman	26,7°C	Nyaman Hangat
Kelembaban	67%	Tidak Sesuai Standar	69%	Nyaman Hangat

Tabel 5.Analisis *Thermal Comfort* Ruang Kuliah Gedung Bhakti Persada Zona Waktu II

Rata-rata	Sebelum Rekayasa II 09.30-12.00	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011	Setelah Rekayasa II 09.30-12.00	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011
Suhu	24,7°C	Nyaman	26,8°C	Nyaman Hangat
Kelembaban	65%	Tidak Sesuai Standar	68%	Nyaman Hangat

Tabel 6.Analisis *Thermal Comfort* Ruang Kuliah Gedung Bhakti Persada Zona Waktu II

Rata-rata	Sebelum Rekayasa IV 15.30-17.50	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011	Setelah Rekayasa IV 15.30-17.50	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011
Suhu	24,3°C	Nyaman	26,9°C	Nyaman Hangat
Kelembaban	61%	Tidak Sesuai Standar	65%	Nyaman Hangat

Tabel 7.Analisis *Thermal Comfort* Ruang Kuliah Gedung Bhakti Persada Zona Waktu III

Rata-rata	Sebelum Rekayasa III 13.00-15.30	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011	Setelah Rekayasa III 13.00-15.30	Zona Kenyamanan Termal SNI 6390:2011
Suhu	24,5°C	Nyaman	27,2°C	Tidak Sesuai Standar
Rata-rata	63%	Tidak Sesuai Standar	65%	Nyaman Hangat

Tabel 8.

Pergunaan Energi Listrik Sebelum Dan Setelah Rekayasa Fasilitas Ruang Per Bulan

Zona Waktu	Sebelum Rekayasa Fasilitas	Setelah Rekayasa Fasilitas	
	Air Conditioner (AC)	Kipas Angin (KA)	Air Conditioner (AC)
I	1.604,68 kWh	145 kWh	-
II	2.407 kWh	217,5 kWh	-
III	2.407 kWh	-	2407 kWh
IV	2.246,65 kWh	98 kWh	1162 kWh
Total	8.665,22 kWh	4029,5 kWh	

4.7 Efisiensi Penggunaan Energi Listrik

Dari hasil perhitungan besar energi yang dikeluarkan per hari, selanjutnya akan dikali banyaknya hari operasional penggunaan ruang kuliah selama sebulan (20 hari). Tabel 8 adalah penggunaan energi listrik sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruang dalam sebulan. Selanjutnya dari data pada tabel diatas, maka dilakukan perhitungan efisiensi penggunaan energi listrik yang dikeluarkan sebagai berikut:

$$\text{Total Efisiensi Penggunaan Energi Listrik} = \frac{x-y}{x} \times 100\%$$

Keterangan:

x: total penggunaan energi listrik sebelum rekayasa fasilitas ruang

y: total penggunaan energi listrik setelah rekayasa fasilitas ruang

Total Efisiensi Penggunaan Energi Listrik

$$= \frac{8.665,22-4029,5}{8.665,22} \times 100\% = 53\%$$

Jadi, besar efisiensi penggunaan energi listrik setelah rekayasa fasilitas ruang adalah 53%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perbandingan analisis *thermal comfort* sebelum dan setelah rekayasa fasilitas ruang yang dibagi dalam zona waktu, maka ruangan dengan ukuran 5 x 9 meter, 6 x 9 meter, 8 x 9 meter, dan 10 x 9 meter pada zona waktu I dan II akan menyalakan kipas angin baling-baling serta membuka jendela dan ventilasi ruangan. Semua ukuran ruang kelas pada zona waktu III akan menggunakan AC karena suhu akan meningkat sebesar $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Pada zona waktu IV untuk ruangan dengan ukuran 5 x 9 meter, 6 x 9 meter, dan 8 x 9 meter lantai dua akan menggunakan kipas angin, membuka jendela, dan ventilasi, sedangkan untuk ukuran ruang 8 x 9 meter dan 10 x 9 meter lantai tiga akan tetap menggunakan AC karena suhu pada lantai tiga dikategorikan tidak nyaman secara termal.

5.2 Saran

Dalam mendapatkan data suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dari semua jenis ukuran ruang kuliah dibutuhkan waktu yang lama, sehingga penelitian sebaiknya dilakukan pada saat masa perkuliahan aktif awal semester hingga akhir semester karena juga dibutuhkan pengguna ruang kuliah, yaitu mahasiswa. Selain, itu juga Alternatif rekayasa fasilitas ruang yang dapat dijadikan untuk penelitian selanjutnya adalah berapa derajat suhu AC yang nyaman bagi pengguna ruangan kuliah dan bagaimana pengaruh kipas angin baling-baling ketika dinyalakan bersamaan dengan AC terhadap kondisi kenyamanan ruang kuliah.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Anggraeni, R.D.N., & Hadi, Y. 2018. Analisis pengaruh format penulisan laporan terhadap kecepatan membaca dosen di Universitas Ma Chung pada media kertas. *Jurnal Metris*, 14 (1): 51-64.
2. ASHRAE. 2004. *Thermal Environmental Condition for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55)*. (<http://www.ditar.cl/archivos/NormasASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf>). Diakses tanggal 18 Oktober 2018.
3. ASHRAE. 2010. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ASHRAE Standard 62.1)*. (http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2016/04/ASHRAE-62_1-2010.pdf). Diakses tanggal 18 Januari 2019.
4. Attwood, D.A., Joseph M.D., & Mary E.D. 2004. *Ergonomic Solutions for Process Industries*. USA: Elsevier.
5. Auliciems, A. & Szokolay, S.V. 2007. *Thermal Comfort. Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques, 2nd revised edition*. Hongkong: PLEA.
6. Badan Standard Nasional. 2011. *SNI 6390:2011 Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*. (<https://www.scribd.com/doc/216423579/SNI-03-6390-2011-Konservasi-Energi-Sistem->

- Tata-Udara-Pada-Bangunan-Gedung). Diakses tanggal 18 Oktober 2018.
7. Bolin, R. 2016. *Sustainability of the Building Envelope*. (<https://www.wbdg.org/resources/sustainability-building-envelope>). Diakses tanggal 21 November 2018.
 8. Danusastro, Y. 2013. *Green Material untuk Green Building*. (<http://greenlistingindonesia.com/berita-150-green-material-untuk-green-building.html>). Diakses tanggal 31 Oktober 2018.
 9. De Dear, & Brager. 2002. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55, *Energy and Buildings*, 34(6): 549-561.
 10. EPA. 2016. Definition of Green Building. (<https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/about.html>). Diakses tanggal 21 November 2018.
 11. Faizin. 2017. Penerapan Smart Classroom dan Humanisme. (<https://www.jagatngopi.com/penerapan-smart-classroom-dan-humanisme/>). Diakses tanggal 26 Desember 2019.
 12. GBCI. 2018. Rating Tools. *Green Building Council Indonesia*, [online] tersedia di: <<http://www.gbciindonesia.org/greenship/rating-tools>> [diakses tanggal 21 November 2018].
 13. International Ergonomics Association. 2000. What is Ergonomic? (<https://www.iea.cc>). Diakses tanggal 18 Februari 2019.
 14. Indo, B. 2018. *Perubahan Suhu Permukaan Kota Malang dalam Periode 21 Tahun Terakhir*. (<http://suryamalang.tribunnews.com/2018/05/23/perubahan-suhu-permukaan-kota-malang-dalam-periode-21-tahun-terakhir>). Diakses tanggal 18 Januari 2019.
 15. ISO 7730-2005. 2005. *Moderate Thermal Environments: Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*. (<https://www.iso.org/standard/39155.html>). Diakses tanggal 18 Oktober 2018.
 16. Joseph, N. 2018. *Waspada Hipertermia, Kepanasan Ekstrem yang Bukan Sekadar Kegerahan*. (<https://hellosehat.com/hidup-sehat/tips-sehat/hipertermia-adalah-suhu-tubuh-panas>). Diakses tanggal 11 Juni 2019.
 17. Karyono, T.H. 2001. Wujud kota tropis di Indonesia: Suatu pendekatan iklim, lingkungan dan energi. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 29 (2): 141-146.
 18. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. 2016. *Kamus Besar Bahasa Indonesia dalam jaringan: Nyaman. KBBI*. (<https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/NYAMAN>). Diakses tanggal 18 Oktober 2018.
 19. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. 2016. *Kamus Besar Bahasa Indonesia dalam jaringan: Termal*. (<https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/termal>). Diakses tanggal 18 Oktober 2018.
 20. Kementerian Kesehatan dan Lingkungan Kerja. 2020. *Keputusan Menteri Kesehatan dan Lingkungan kerja Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Pekantoran dan Industri*. Jakarta: Kementerian Kesehatan dan Lingkungan Kerja Indonesia.
 21. Krisnadwi. 2015. *CFC sebagai Penyebab Efek Rumah Kaca*. (<https://bisakimia.com/?s=cfc>). Diakses tanggal 18 Oktober 2018.
 22. Maarif, G. 2013. *Eco Campus*. (<https://www.kompasiana.com/ghoffar/551f949b813311666e9de32b/eco-campus>). Diakses tanggal 26 Desember 2019.
 23. MacMillan, A. 2016. *Global Warming 101*. (<https://www.nrdc.org/stories/global-warming-101>). Diakses tanggal 18 Oktober 2018.
 24. Megiza, 2016. *11 Pengaruh Cuaca Terhadap Kesehatan dan Perilaku*. (<https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20160419150431-255-125036/11-pengaruh-cuaca-terhadap-kesehatan-dan-perilaku>). Diakses tanggal 11 Juni 2019.
 25. Rilatupa, J. 2008. Aspek kenyamanan termal ruang pada pengkondisian ruang dalam. *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS*, 3: 191-198.
 26. Salendu, F.N., & Hadi, Y. 2018. Analisis dan pemodelan sistem pengelolaan sampah yang ada di Universitas Ma Chung, *KURAWAL: Jurnal Teknologi, Informasi dan Industri*, 1(2): 82-88.
 27. Sarinda, A., Sudarti, & Subiki. 2017, Analisis Perubahan Suhu Ruangan Terhadap Kenyamanan Termal Di Gedung 3 FKIP Universitas Jember. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6:305-311.
 28. Soegiono, Y.Y.H., & Hadi, Y. 2018. Perhitungan dan analisis efisiensi penggunaan Air conditioner pada gedung kuliah bhakti persada Universitas Ma Chung, *SPEKTRUM INDUSTRI; Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Penerapan Teknik Industri*, 16 (2): 111-225.
 29. Sugini. 2004. Pemaknaan istilah-istilah kualitas kenyamanan termal ruang dalam kaitan dengan variabel iklim ruang. *LOGIKA*, 1:3-17.
 30. Sucipto, T.L.A., Hatmoko, T.L.A., Sumarni S., & Pujiastuti, J. 2004. Kajian penerapan green building pada gedung Bank Indonesia Surakarta. *JIPTEK*, 7(2): 17-24.
 31. Talarosha, B. 2005. Menciptakan kenyamanan termal. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 6:148-158.
 32. Tarwaka, Bakri, S.H. A, & Sudiajeng, L. 2004. *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Produktivitas*. Surakarta: Uniba Press.

33. Utomo, Y. W. 2017. *Suhu Bumi Naik 1,1 Derajat Celcius*. (<https://sains.kompas.com/read/2017/01/20/14500721/suhu.bumi.naik.1.1.derajat.celsius>). Diakses tanggal 31 Oktober 2018.
34. WBDG. 2018. *Sustainable*. (<https://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable>). Diakses tanggal 21 November 2018.
35. Yuwana, A.R.S. & Hadi, Y. 2019. Experimental design to analyze the effect of writing format on student reading comprehension on paper media using completely randomized factorial design. *JEMIS: Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 6 (2): 95-104.